



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



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GALAKSİ KÜMELERİNDEKİ GALAKSİ POPÜLASYONLARININ
EVİRİMİNİN İNCELENMESİ**

Oğuzhan ÇAKIR

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri

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

Aralık, 2021

İSTANBUL

Bu alışma 20.12.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri
Anabilim Dalı Astronomi ve Uzay Bilimlerinde Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

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

Prof. Dr. Yüksel KARATAř
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Ayřegöl Fulya 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 abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

- **Proje Destekleri**

Bu tez 117F311 numaralı ARDEB-1001 projesi ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Binlerce yıllık insanlık tarihi boyunca evreni anlama çabamız bugün bile sürmekte ve insanlığı daha da ileriye taşıyacak ana motivasyonlardan bir tanesidir. Ben de bu tez çalışmasıyla bu serüvende kendime yer bulma şansını yakalamış durumdayım. Bu tez çalışmasının, başlangıç noktası olduğu bilinciyle gelecek çalışmalarım için iyi bir temel olmasını temenni ederim.

Lisans eğitimimden itibaren gerek akademik gerek sosyal anlamda her türlü desteği veren, sahip olduğu bilgi ve deneyimlerini her zaman benimle paylaşarak bana bu yolda kılavuzluk eden, geleceğe dair iyi bir vizyona sahip olabilmem için her türlü çabayı sarfeden değerli danışmanım, hocam Dr. Sinan Aliş'e ne kadar teşekkür etsem azdır.

Lisans öğrenciliğimden bu yana gerek akademik gerek müzik hayatımda bana moral veren, her türlü konuda desteğini eksik etmeyen sevgili hocam Dr. F. Korhan Yelkenci'ye teşekkürü borç bilirim.

Tanıştığımız andan itibaren her türlü desteği veren, arkadaşlıklarını ve abiliklerini esirgemeyen Süleyman Fişek ve Eyüp Kaan Ülgen'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca her türlü bilimsel desteği veren Nice Gözlemevi'nden Doç. Dr. Christophe Benoist'e teşekkür ederim.

Hayata gözlerimi açtığım andan itibaren her türlü maddi ve manevi desteği veren sevgili aileme, başta annem Meryem Çakır, babam Hüseyin Çakır, abim Osman Çakır ve ablam Öznur Çakır'a en içten şükranlarımı sunarım.

Aralık, 2021

Oğuzhan ÇAKIR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xv
ÖZET	xvi
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1. GALAKSİLERİN SINIFLANDIRILMASI	4
2.1.1. Erken-Tip Galaksiler	5
2.1.2. Geç-Tip Galaksiler	5
2.2. GALAKSİ KÜMELERİ	7
2.3. GALAKSİ EVRİMİ	13
2.3.1. Morfoloji - Yoğunluk İlişkisi	13
2.3.2. Butcher - Oemler Etkisi	15
2.3.3. Kütlelerin Galaksi Evrimine Etkisi	17
3. MALZEME VE YÖNTEM	20
3.1. CFHTLS GÖRÜNTÜLERİ VE KATALOGLARI	22
3.2. CFHTLS-W1 ALANINDAKİ GALAKSİ KÜMELERİ VE ÜYE GALAKSİLERİ	25
3.3. ALAN GALAKSİLERİNİN BELİRLENMESİ	30
3.4. GALAKSİ POPÜLASYONLARININ TAYFSAL ENERJİ DAĞILIMLARINA GÖRE BELİRLENMESİ	32
3.5. GALAKSİ RENKLERİ KULLANILARAK GAUSSIAN KARIŞIM MODELİ YÖNTEMİYLE TÜRLERİN BELİRLENMESİ	32
3.6. GALAKSİ KÜTLELERİNİN BELİRLENMESİ	34
4. BULGULAR	40

4.1. GALAKSİ POPÜLASYONLARI	40
4.1.1. TAYFSAL TÜRLERİNE GÖRE	40
4.1.2. RENK AYRIMINA GÖRE	41
4.2. GEÇ-TİP GALAKSİ ORANININ KIRMIZIYA KAYMAYA BAĞLI DEĞİŞİMİ	43
4.3. GEÇ-TİP GALAKSİ ORANININ YARIÇAPA BAĞLI DEĞİŞİMİ	48
4.4. GEÇ-TİP GALAKSİ ORANININ KÜTLEYE BAĞLI DEĞİŞİMİ	51
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	54
KAYNAKLAR	61
EKLER	67
EK 1.	67
ÖZGEÇMİŞ	69

ŞEKİL LİSTESİ

	Page No
Şekil 1.1: Evrenin genişlemesine ilişkin bir illüstrasyon (©NASA).....	1
Şekil 1.2: Evrenin geniş ölçekteki kozmik ağ yapısına dair Milenyum Simülasyonu'ndan bir kesit. Buradaki her bir nokta galaksileri temsil ederken her bir düğüm noktası ise galaksi kümelerini temsil etmektedir (Springel, 2005).	2
Şekil 2.1: Hubble çatal diyagramı (Kormendy ve Bender, 1996).....	4
Şekil 2.2: Erken-tip galaksilere örnekler. Solda: E5 sınıfından bir eliptik galaksi olan NGC 4621 galaksisi yer almaktadır (©ESA/Hubble & NASA, P. Cote). Sağda: Merceksi bir galaksi olan IC 335 galaksisine ait bir görüntü gösterilmektedir (©ESA/Hubble & NASA).....	6
Şekil 2.3: Geç-tip galaksilere örnekler. Solda: Sc sınıfından bir spiral galaksi olan NGC 2008 galaksisi yer almaktadır (©ESA/Hubble & NASA, A. Bellini). Sağda: Düzensiz bir galaksi olan IC 3583 galaksisine ait bir görüntü gösterilmektedir. (©ESA/Hubble & NASA).	7
Şekil 2.4: En yakın ve en kütleli galaksi kümelerinden biri olan Coma Kümesi ($z=0.0231$) (©NASA, ESA, J. Mack, and J. Madrid et al.).	9
Şekil 2.5: Tipik bir galaksi kümesine ait şematik bir gösterim (Capozziello ve Lattanzi, 2006). .	10
Şekil 2.6: Soldan sağa sırasıyla Abell 1835 galaksi kümesine ($z = 0.25$) ait X-ışın (©Chandra X-ışın Gözlemevi / A.Mantz), görünür (©CFHT / A. von der Linden) ve milimetre (©Sunyaev Zel'dovich Dizgisi / D. Marrone) dalgalı boylarında alınmış görüntüleri gösterilmektedir (Allen ve diğ., 2011).	11
Şekil 2.7: CMB ışınımına ait bozulmamış tayf (kesikli çizgi) gösterilmektedir. Düz çizgi SZ etkisi sebebiyle bozulmaya uğramış CMB tayfını göstermektedir (Carlstrom ve diğ., 2002). CMB fotonları enerji kazandığı için tayf kısa dalgalı boylarında doğru kaymıştır.	13
Şekil 2.8: Galaksilere ait morfoloji - yoğunluk ilişkisi (Dressler, 1980)	14
Şekil 2.9: Solda: Norma Kümesi'nde bulunan ESO 137-001 adlı spiral galaksinin çarpma basıncı sebebiyle oluşan gaz kuyruğunun Hubble Uzay Teleskobu ve Chandra X-ışın Gözlemevi'nden alınan kompozit görüntüsü (©NASA, ESA, CXC.). Sağda: Birleşme aşamasında olan ve Anten Galaksileri olarak bilinen NGC4038 ve NGC4039 galaksilerine ait Hubble Uzay Teleskobu'ndan alınan görüntü. Burada kırmızı renkli bölgeler yoğun yıldız oluşum bölgelerini göstermektedir. (©NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration).	15
Şekil 2.10: Kümelerdeki mavi galaksi oranının kırmızıya kayma ile evrimi (Butcher ve Oemler, 1984).....	16

Şekil 2.11: SDSS gökyüzü taraması ile gözlenen galaksilerdeki, kırmızı popülasyon oranının ortam yoğunluğu ve kütleyle ilişkisi (Peng ve diğ., 2010). Renk kodu kırmızı galaksi oranını temsil etmektedir, renk kırmızılaştıkça kırmızı galaksi oranı da artmaktadır. Konturlar ve onları temsil eden eğriler kırmızı galaksi oranlarını göstermektedir. Görüldüğü üzere ortam yoğunluğu ve kütle arttıkça kırmızı galaksi oranı da artmaktadır.	18
Şekil 2.12: Kırmızı galaksi oranının kütleyle bağlı değişimi (Darvish ve diğ., 2016). Farklı renkler farklı kırmızıya kayma aralıklarını belirtmektedir. Kırmızı galaksi oranı bütün kırmızıya kayma aralıkları için yüksek kütle değerlerine doğru artmaktadır.	19
Şekil 3.1: CFHTLS gökyüzü taraması kapsamında gözlenen geniş ve derin alanların gökyüzündeki konumları. W geniş alanları, D ise derin alanları temsil etmektedir.	20
Şekil 3.2: CFHTLS W1 alanıyla keşisen bazı önemli gökyüzü taramaları gösterilmektedir. Bu gökyüzü haritası Aladin programı yardımıyla oluşturulmuştur.	21
Şekil 3.3: CFHTLS filtrelerinin (soluk renkli) ve SDSS gökyüzü taramasına ait (koyu renkli) geçirgenlik eğrileri ile karşılaştırılması.	23
Şekil 3.4: Coleman, Wu ve Weedman'ın (CWW, 1980) 4 galaksi türüne (E/S0, Sbc, Scd, Im) ait tayfsal enerji dağılımı ve Kinney ve diğ. (1996)'a ait SB türüne ait iki adet tayfsal enerji dağılımının karşılaştırılması.	24
Şekil 3.5: CFHTLS-W1 alanındaki galaksilerin fotometrik kırmızıya kayma ve i parlaklık dağılımları.	25
Şekil 3.6: WaZP küme bulma algoritmasına ait şematik bir görüntü (Aguena ve diğ., 2021).	26
Şekil 3.7: CFHTLS-W1 alanında, WaZP algoritması ile tespit edilen bir galaksi kümesine (ID=7938, (RA, DEC)= (30.86963, -9.81664), zphot=0.34) ait "g',r',i'" bantlarıyla oluşturulan renkli görüntü. Yeşil artı sembolü küme merkezini, mavi çember ise kümeye ait R_{200} yarıçapını temsil etmektedir.	27
Şekil 3.8: CFHTLS-W1 alanında WaZP ile tespit edilen 3284 kümeye ait zenginlik (solda) ve farklı zenginlik aralıklarına göre çizdirilmiş kırmızıya kayma dağılımları (sağda).	28
Şekil 3.9: Örnek bir ışınma gücü fonksiyonu gösterilmektedir (Schneider, 2015). Burada α ışınım gücü fonksiyonunun eğimini, M^* ise ışınım gücü fonksiyonun karakteristik parlaklığını temsil etmektedir.	29
Şekil 3.10: Küme galaksilerinin i-bandı parlaklık evrimi. Burada kırmızı kesikli yata çizgi CFHTLS taramasına ait limit parlaklığı göstermektedir.	30
Şekil 3.11: 7943 numaralı kümeye ait alan galaksilerinin nasıl seçildiğine dair örnek bir gösterim.	31
Şekil 3.12: SDSS gökyüzü taraması ile gözlenen ~ 150000 galaksiye ait (u-r) renk dağılımı ve onlara karşılık gelen Gauss dağılımları. Kesikli çizgi erken-tip galaksileri temsil ederken, düz çizgi geç-tip galaksileri temsil etmektedir (Strateva, 2001).	33
Şekil 3.13: Gaussian Karışım Modeli kullanılarak $M_u - M_r$ renk dağılımındaki iki modlu yapının belirlenmesi. $M_u - M_r \sim 1.70$ 'de (yeşil düz çizgi) iki popülasyon ayrılabilir. Siyah kesikli Gauss fonksiyonu bütün renk dağılımını, kırmızı ve mavi Gauss fonksiyonları ise sırasıyla kırmızı ve mavi olarak sınıflanan popülasyonları temsil etmektedir.	34

- Şekil 3.14:** CIGALE programı bünyesindeki yıldız oluşum geçmişlerinin farklı parametrelere göre modellenmesi ve bunun sonucu olarak herhangi bir galaksiye ait belirlenen model SFR değerinin değişimi görülmektedir (Boquien ve diğ., 2019). 35
- Şekil 3.15:** CIGALE ile hesaplanan kütle dağılımı. Burada histogramlar normalize edilmiş olup kırmızı histogram küme galaksilerine ait, mavi histogram ise alan galaksilerine ait kütle dağılımını temsil etmektedir. 36
- Şekil 3.16:** Alan galaksi örnekleminde kütlesi $\log(M_*/M_\odot) > 12$ olan iki cismin "g-r-i" birleştirilmiş görüntüleri. Soldaki görüntüde cisim W1 alanının kenar kısmında ve yıldız izlerinin (spike) içerisinde kalmaktadır. Sağ taraftaki görüntüde ise cismin aslında bir galaksi değil de merkezdeki parlak bir yıldız olduğu görülmektedir. 37
- Şekil 3.17:** Küme galaksilerine ait kütlelerin fotometrik kırmızıya kaymaya bağlı değişimi (siyah noktalar). Kırmızı yıldızlar Pozzetti ve diğ., (2010) verdiği farklı kırmızıya kaymalardaki kütle tamlık limitlerini temsil etmektedir. 39
- Şekil 4.1:** Üye galaksilerin kırmızıya kayma (zphot) dağılımları. Kırmızı ve mavi renkli histogramlar sırasıyla LEPHARE tiplerine göre erken-tip ve geç-tip galaksileri göstermektedir. 40
- Şekil 4.2:** Zenginliği 15'ten büyük olan kümelerle ait üye galaksilerin (60606 galaksi) renk-kadir diyagramı. Burada kesikli yatay çizgi GMM analizi sonucunda elde edilen renk ayrımını göstermektedir. Kırmızı ve mavi noktalar sırasıyla LEPHARE tiplerine göre erken ve geç-tip galaksileri göstermektedir. Kırmızı ve mavi boyalı alanlar, GMM sonucu belirlenen ayrıma göre kırmızı ve mavi galaksileri temsil etmektedir. Yeşil ve sarı noktalar ise renge göre kırmızı ve mavi olarak sınıflandırılan galaksilerin mutlak parlaklık adımlarına göre ortalama renklerini temsil etmektedir. 42
- Şekil 4.3:** Geç-tip galaksi oranıyla (f_{LTG}) mavi galaksi oranının (f_B) farkının kırmızıya kaymaya göre değişimi. Soldaki grafik fakir kümeleri, sağdaki grafik ise zengin kümeleri göstermektedir. Kırmızı çizgi farkların ortalamasını, mavi kesikli çizgiler de 2σ genişliğini göstermektedir. 43
- Şekil 4.4:** Zenginliği 15'ten büyük ($\lambda > 15$) kümelerle ait geç-tip galaksi oranının kırmızıya kayma ve zenginliğe bağlı değişimi. Renklendirme geç-tip galaksi oranını yansıtmakta ve mavileştikçe geç-tip galaksi oranının arttığını göstermektedir. 44
- Şekil 4.5:** Fakir (*üst panel*) ve zengin (*alt panel*) kümeler için f_{LTG} evrimi. Siyah ve mavi noktalar sırasıyla kümelerdeki ve o kümelerin çevresindeki alandaki f_{LTG} değerlerini temsil etmektedir. Her iki zenginlik sınıfı için kırmızı ve mavi çizgiler sırasıyla küme ve o kümelerin çevresindeki alana ait geç-tip galaksi oranlarına en iyi uyan fitleri göstermektedir. Kırmızı ve mavi boyalı alanlar ise fitlere ait %95 güven aralığını göstermektedir. Her iki grafik için dikey hata çubukları f_{LTG} 'ye ait standart hataları, yatay hata çubukları ise kırmızıya kayma aralıklarının genişliğini temsil etmektedir. 47
- Şekil 4.6:** Erken ve geç-tip galaksilerin R_{200} cinsinden küme merkezine uzaklıklarının birikimli dağılımı. Kırmızı çizgi erken tipleri, mavi çizgi geç tipleri temsil etmektedir. 48

- Şekil 4.7:** Küme üyesi erken ve geç-tip galaksi oranlarının iki farklı zenginlik ve yarıçap aralığı için kırmızıya kayma ile değişimi. Kırmızı ve mavi noktalar sırasıyla erken ve geç-tip galaksileri temsil etmektedir. Üst panelde fakir ($15 < \lambda \leq 30$) kümeler, alt panelde ise zengin ($\lambda > 30$) kümeler gösterilirken, grafiğin solunda ve sağında sırasıyla kümenin merkezi bölge ($R/R_{200} \leq 0.5$) ve kümenin dış kısımlarındaki ($0.5 < R/R_{200} \leq 1.0$) değişim gösterilmektedir. 49
- Şekil 4.8:** Geç-tip galaksi oranının normalize küme merkezli yarıçapa (R/R_{200}) bağlı değişimi. Farklı renkli noktalar ve çizgiler farklı kırmızıya kayma aralıklarını temsil etmektedir: kırmızı düşük, yeşil orta ve mavi yüksek kırmızıya kayma aralığı olacak şekilde. Şekilde kırmızı ve mavi boyalı alanlar sırasıyla küme üyelerinin ($R \leq R_{200}$) ve alan galaksilerinin ($2-4 R_{200}$) belirlendiği bölgeleri göstermektedir. 50
- Şekil 4.9:** Farklı kırmızıya kayma aralıkları için geç-tip galaksi oranının kütleyle bağlı değişimi. Kırmızı, mavi ve siyah noktalar sırasıyla zengin kümelerdeki, fakir kümelerdeki ve alandaki geç-tip galaksi oranını temsil etmektedir. Dikey yeşil kesikli çizgi ise kütle tamlık limitlerini göstermektedir. f_{LTG} için verilen hatalar Poisson istatistiği ile belirlenmiştir. 51
- Şekil 4.10:** Farklı kütle aralıkları için geç-tip galaksi oranının kırmızıya kaymaya bağlı değişimi. Kırmızı, mavi ve siyah noktalar sırasıyla zengin kümelerdeki, fakir kümelerdeki ve alandaki geç-tip galaksi oranını temsil etmektedir. Burada belirtilen hatalar Poisson istatistiği ile belirlenmiştir. 52
- Şekil 5.1:** Tez çalışması ile benzer yöntemle ve benzer kırmızıya kayma aralığında yapılan çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılması. 56

TABLO LİSTESİ

	Page No
Tablo 2.1: Galaksi küme ve gruplarının genel özellikleri (Bahcall, 1999)	8
Tablo 2.2: Kümelerdeki galaksilerin türlerinin dağılımı (Bahcall, 1999).	10
Tablo 3.1: CFHTLS gökyüzü taraması kapsamında gözlenen alanların boyutları, alanların merkezi koordinatları (sağaçıklık ve dikaçıklık) verilmektedir.	21
Tablo 3.2: Farklı kırmızıya kayma aralıkları için Pozzetti ve diğ. (2010) çalışmasında verilen tarif kullanılarak elde edilen kütle tamlık limitleri.	38
Tablo 4.1: LEPHARE tiplerine göre erken-tip ve geç-tip olarak sınıflandırılan küme ve alan galaksilerinin bazı temel parametrelerine ait ortalama değerler.	41
Tablo 4.2: GMM analizine göre belirlenen kırmızı ve mavi galaksi popülasyonuna ait $M_u - M_r$ istatistikleri.....	42
Tablo 4.3: Fakir ($15 < \lambda \leq 30$) ve zengin ($\lambda > 30$) kümeler için R_{200} içerisinde kalan üyeler kullanılarak $\Delta z = 0.05$ kırmızıya kayma adımları için hesaplanan geç-tip galaksi oranları. Her bir kırmızıya kayma adımı için merkezi kırmızıya kayma değeri, küme (NCL) ve galaksi (NGAL) sayıları, ortalama f_{LTG} değerleri, standart sapma ve standart hataları verilmektedir.	45
Tablo 4.4: f_{LTG} 'nin kırmızıya kayma ile evrimine (Şekil 4.5) uygulanan üstel fonksiyon fitlerinin katsayıları.	46
Tablo 4.5: Şekil 4.9'da gösterilen ilişkiye ait değerler verilmektedir.....	53
Tablo 5.1: Literatürde Butcher - Oemler etkisi üzerine yapılan çalışmaların listesi.	58

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
α	: Sağ açıklık
δ	: Dik açıklık
z	: Kırmızıya kayma
z_{phot}	: Fotometrik kırmızıya kayma
Δz	: Kırmızıya kayma adımı, aralığı
Δf_{LTG}	: Geç-tip galaksi oranları arasındaki fark
e	: Basıklık
a	: Yarı büyük eksen uzunluğu
b	: Yarı küçük eksen uzunluğu
S/N	: Sinyal / Gürültü oranı
$\text{\AA}$	: Angström
G	: Evrensel kütleçekim sabiti
K	: Kelvin
λ	: Galaksi kümesine ait zenginlik parametresi (İng. Richness)
H_0	: Hubble sabiti ($z=0$ için)
h	: İndirgenmiş Hubble sabiti ($H_0/100$)
k	: Eğrilik parametresi
Ω_m	: Evrendeki madde yoğunluğu
Ω_Λ	: Evrendeki karanlık enerji yoğunluğu
k	: Eğrilik parametresi
ρ_{cr}	: Kritik kütle yoğunluğu
R_{200}	: Galaksi kümesindeki yoğunluğun kritik kütle yoğunluğunun 200 katına eşit olduğu yarıçap
R_A	: Abell yarıçapı
f_{ETG}	: Erken-tip galaksi oranı
f_{LTG}	: Geç-tip galaksi oranı
f_B	: Mavi galaksi oranı
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)
$M_u - M_r$	: u-r renk indeksi (Mutlak parlaklıklar kullanılarak)
$u-r$	: u-r renk indeksi
m_i^*	: Işınım gücü fonksiyonuna ait karakteristik i-bandı parlaklığı
$NGAL$	: Galaksi sayısı
P_{mem}	: Üyelik olasılığı
NCL	: Küme sayısı
$M_\odot$	: Güneş kütlesi
$L_\odot$	: Güneş'in ışınım gücü
M_*	: Galaksi yıldız kütlesi (İng. stellar mass)
M_{lim}	: Limit kütle
M/L	: Kütle - parlaklık oranı (İng. Mass to light ratio)
M_{cl}	: Küme kütlesi
τ	: Yıldız oluşum zaman ölçeği

Kısaltmalar

Açıklama

Λ CDM	: Lambda Cold Dark Matter
<i>ACT</i>	: Atacama Cosmology Telescope
<i>BO</i>	: Butcher - Oemler
<i>BCD</i>	: Mavi kompakt cüce galaksi (İng. Blue compact dwarf)
<i>BCG</i>	: Parlak küme galaksisi (İng. Brightest cluster galaxy)
<i>CCD</i>	: Charged Coupled Device
<i>CFN-S</i>	: Chandra Deep Field Survey-South
<i>cD</i>	: Galaksi kümesi merkezindeki baskın galaksi (İng. Central dominant)
<i>CFHTLS</i>	: Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey
<i>CI</i>	: Güven aralığı (İng. confidence interval)
<i>CIGALE</i>	: Code Investigating GALaxy Emission
<i>CMB</i>	: Kozmik Mikrodalga Arkaplan (İng. Cosmic Microwave Background)
<i>CMD</i>	: Renk - Kadir Diyagramı (İng. Color - Magnitude Diagram)

CXC	: The Chandra X-Ray Center
D	: Derin (İng. Deep)
dE	: Cüce eliptikler (İng. Dwarf ellipticals)
Dec	: Dik açıklık
DES	: Dark Energy Survey
dSph	: Cüce sferoidler (İng. Dwarf spheroidals)
E	: Eliptik galaksiler
EIS	: ESO Imaging Survey
ESA	: European Space Agency
ESO	: European Southern Observatory
ETG	: Erken-tip galaksi (İng. Early-type galaxy)
FITS	: Flexible Image Transfer System
GMM	: Gaussian Karışım Modeli (İng. Gaussian Mixture Model)
Gyr	: Milyar yıl (İng. Gigayear)
HSC-SSP	: Hyper Suprime Cam-Strategic Survey Program
IAP	: Institut d'Astrophysique de Paris
IC	: Index Catalogue
ICM	: Küme içi ortam (İng. Intracluster medium)
ICRS	: Uluslararası Göksel Referans Sistemi (İng. International Celestial Reference System)
Im/IBm	: Düzensiz galaksiler (normal/çubuklu, İng. Irregular)
JWST	: James Webb Space Telescope
kpc	: Kiloparsek
LSST	: Vera C. Rubin Observatory Legacy Survey of Space and Time
LTG	: Geç-tip galaksi (İng. Late-type galaxy)
Mpc	: Megaparsek
Myr	: Milyon yıl (İng. Megayear)
NASA	: The National Aeronautics and Space Administration
NGC	: New General Catalogue
PDF	: Olasılık yoğunluk fonksiyonu (İng. Probability density function)
POSS	: Palomar Observatory Sky Survey
RA	: Sağ açıklık
S0/SB0	: Merceksi galaksiler (normal/çubuklu)
Sa/Sbc/Scd	: Spiral galaksiler (normal)
SB	: Starburst galaksiler
SBa/SBb/SBc	: Spiral galaksiler (çubuklu)
SDSS	: Sloan Digital Sky Survey

<i>SE</i>	: Standart hata (İng. Standart error)
<i>SED</i>	: Tayfsal Enerji Dağılımı (İng. Spectral energy distribution)
<i>SFH</i>	: Yıldız oluşum geçmişi (İng. Star formation history)
<i>SFR</i>	: Yıldız oluşum oranı (İng. Star formation rate)
<i>SPS</i>	: Yıldız popülasyon sentezi (İng. Stellar population synthesis)
<i>SPT</i>	: South Pole Telescope
<i>SRG</i>	: Spectrum-Roentgen-Gamma
<i>SSP</i>	: Tekil yıldız popülasyonu (İng. Single stellar population)
<i>STScI</i>	: Space Telescope Science Institute
<i>SZ</i>	: Sunyaev-Zel'dovich
<i>TÜBİTAK</i>	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
<i>VST</i>	: VLT Survey Telescope
<i>W</i>	: Geniş (İng. Wide)
<i>WaZP</i>	: Wavelet Z Photometric
<i>XMM-LSS</i>	: The XMM-Newton Large Scale Structure Survey
<i>XXL</i>	: The Ultimate XMM Extragalactic Survey
<i>yy</i>	: yüzyıl

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GALAKSİ KÜMELERİNDEKİ GALAKSİ POPÜLASYONLARININ EVİRİMİNİN İNCELENMESİ

Oğuzhan ÇAKIR

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sinan ALİŞ

Bu tez çalışmasında, 72 derecekarelik CFHTLS-W1 alanında tespit edilen, kırmızıya kaymaları $0.1 < z < 1.0$ aralığındaki 1216 galaksi kümesine ait galaksi popülasyonlarının evrimi incelenmiştir. SED uyumlandırma ve (u-r) rengi kullanılarak ~ 60000 üye galaksi ve ~ 210000 alan galaksisi, erken-tip/geç-tip ve kırmızı/mavi galaksi olarak sınıflandırılmış ve her bir popülasyona ait oranlar küme ve karşılık gelen alan örnekleme için hesaplanmıştır. Belirlenen popülasyonlardan geç-tip galaksi oranının kırmızıya kaymaya (Butcher-Oemler etkisi), yarıçapa (morfoloji-yoğunluk ilişkisi) ve kütleyle bağlı değişimleri incelenmiştir. Analizler ortamın galaksi evrimi üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için hem fakir hem de zengin galaksi kümeleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Ortamdan bağımsız olarak kütle arttıkça geç-tip galaksi oranının azaldığı gösterilmiştir.

Geç-tip galaksi oranının kırmızıya kayma ile evrimi üstel bir fonksiyonla temsil edilmiş ve sonuçlar iki tür galaksi kümesi için ayrı ayrı sunulmuştur. Bu çalışma, benzer yöntemlerle geç-tip galaksi oranının evrimini en çok galaksi kümesi ile inceleyen çalışma olmaktadır.

Aralık 2021, 87 sayfa.

Anahtar kelimeler: Galaksiler, galaksi evrimi, galaksi kümeleri.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATING THE EVOLUTION OF GALAXY POPULATIONS IN GALAXY CLUSTERS

Oğuzhan ÇAKIR

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Asst. Prof. Sinan ALİŞ

In this thesis, the evolution of galaxy populations in 1216 galaxy clusters that have been identified in the 72 sq. deg. CFHTLS-W1 field is investigated between $0.1 < z < 1$. ~ 60000 cluster galaxies and ~ 210000 corresponding field galaxies are classified as early-type and late-type galaxies, and red and blue galaxies by using SED-fitting and $(u-r)$ colors. The fractions of populations are computed for each galaxy cluster and corresponding field sample. The fraction of late-type galaxies as a function of redshift (i.e. Butcher - Oemler effect), as a cluster-centric radius (i.e. Morphology - Density relation) and as a function of stellar mass are investigated. The analysis is performed separately for poor and rich clusters to reveal the environmental effects on galaxy evolution. It has shown that late-type galaxy fraction decreases with increasing galaxy mass independently from the environment.

The fraction of late-type galaxies as a function of redshift is represented by a power-law function, and the results are shown for both poor and rich clusters. This work uses the largest galaxy cluster sample to derive the evolution of the late-type galaxy fraction amongst studies with similar approaches.

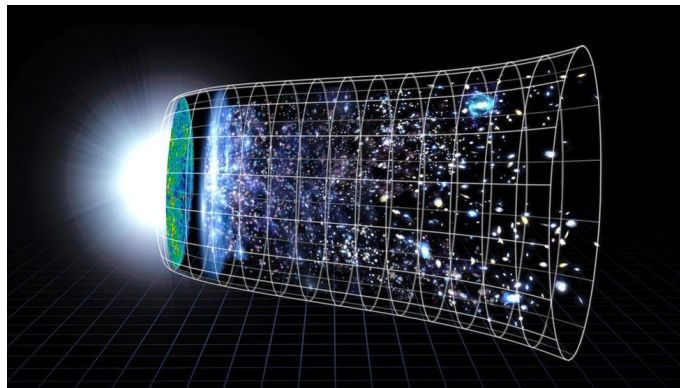
December 2021, 87 pages.

Keywords: Galaxies, galaxy evolution, galaxy clusters.

1. GİRİŞ

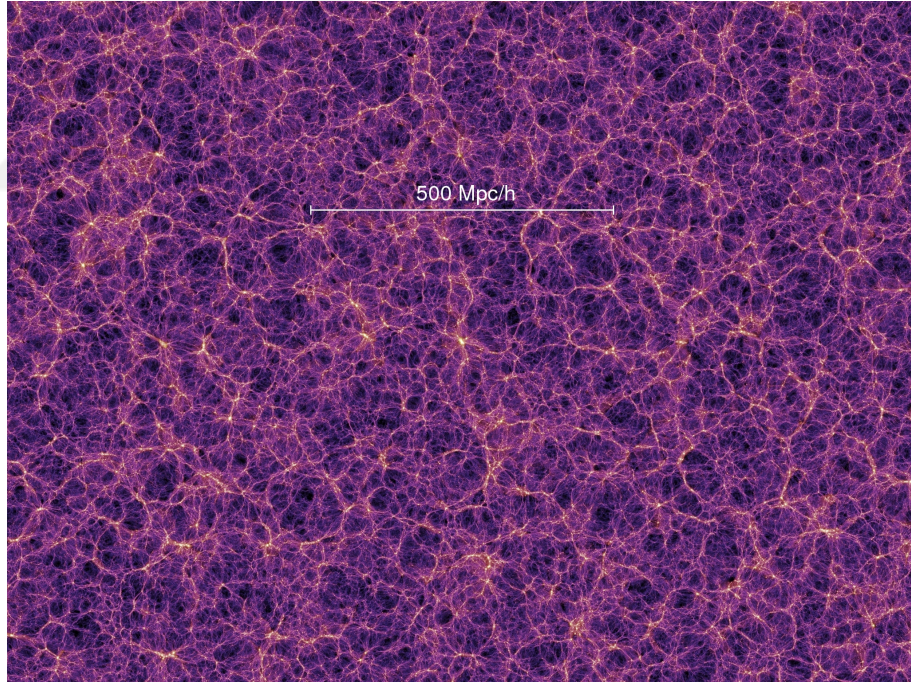
Goethe, "*Merakı olmayan, hiçbir şey öğrenemez*" demiş. İnsanoğlu da gözlerini hayata açtığı andan itibaren, sonu olmayan engin bir merak ile birlikte içinde bulunduğu dünyayı ve altında yaşadığı gökyüzünü anlamaya çalışmıştır. Bu çaba karşımıza gerek gündelik yaşama dair temel uygulamalar, gerek evrenin sınırlarına dayanan bilimsel bir tutku olarak çıkmıştır. Bu bağlamda elde ettiğimiz bilgi ise geçmişten günümüze katlanarak artmış ve artmaya da devam edecektir.

Günümüzde evren hakkında sahip olduğumuz bilginin büyük bir kısmına son yüzyıllık dönem içerisinde ulaşabildik. 20. yy başlarında evrenin sadece Samanyolu'ndan oluştuğu düşünülmekteydi. 1917 yılında Genel Görelilik Kuramını yayımlayan Albert Einstein, kendi kuramının öngörüsünün aksine evrenin durağan bir yapısı olduğu kanısındaydı ve evrenin kendi üzerine çöküşünü engellemek için alan denklemlerine " Λ " kozmolojik sabitini eklemişti. Genel Görelilik üzerine çalışan diğer bilim insanlarından Alexander Friedmann alan denklemlerini üç farklı basınç parametresi için türetmiş ve genişleyen evren fikrini öne sürmüştür. Aynı yıllarda Georges Lemaître de genişleyen evren fikrini savunmuş ve evrenin tekil bir noktadan genişlediği 'Büyük Patlama' modelini ortaya atmıştır. Teorik olarak evrenin yapısına dair tartışmalar devam ederken, astronom Edwin Hubble yaptığı gözlemler ile Samanyolu dışında birçok galaksinin var olduğunu göstermiş (1926) ve bu galaksilerin Samanyolu'ndan ve birbirilerinden uzaklaştığını göstererek (1929) evrenin genişlediğini gözlemsel olarak kanıtlamış ve süregelen tartışmalara son noktayı koymuştur.



Şekil 1.1: Evrenin genişlemesine ilişkin bir illüstrasyon (©NASA)

Hubble'ın öncülüğünde başlayan galaksi dışı astronomi çalışmaları sayesinde evreni geniş ölçekte inceleme imkanı bulmaktayız. Evrene geniş ölçekte baktığımızda galaksiler ve galaksi kümelerinin temel yapı taşlarını oluşturduğu kozmik ağ yapısı karşımıza çıkmaktadır. Şekil 1.2'de geniş ölçekli ağ yapısına dair Milenyum Simülasyonu¹ 'ndan alınmış bir kesit gösterilmektedir. Günümüzde bu ağ yapısını gözlemsel verilerle tutarlı bir şekilde öngören en iyi model Λ CDM kozmoloji modelidir. Bu modelde " Λ " evrenin genişlemesine yol açan karanlık enerjiyi temsil ederken, "CDM" ise kütleçekimsel etkileşmelerle yapıların oluşmasını sağlayan soğuk karanlık madde (İng. cold dark matter) bileşenini temsil etmektedir. Λ CDM modeli evrende hiyerarşik bir yapı oluşumunun (İng. hierarchical structure formation) yer aldığını söyler. Yani evrendeki madde topaklanma/kümelenme eğilimindedir. Galaksiler karanlık maddenin etkisi altındaki baryonik maddenin çökerek oluşmasıyla, galaksi grup ve kümeleri ise birçok galaksinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır.



Şekil 1.2: Evrenin geniş ölçekteki kozmik ağ yapısına dair Milenyum Simülasyonu'ndan bir kesit. Buradaki her bir nokta galaksileri temsil ederken her bir düğüm noktası ise galaksi kümelerini temsil etmektedir (Springel, 2005).

Galaksi kümeleri evrendeki kütleçekimsel olarak bağlı en büyük ve en kütleli yapılardır. Evrendeki madde dağılımını takip edebilmek için galaksi kümelerinin belirlenmesi büyük bir öneme sahiptir. Aynı zamanda, galaksi kümeleri yüzlerce-binlerce galaksi içerdiğinden

¹ <https://www.mpa-garching.mpg.de/galform/virgo/millennium/>

galaksi evrimini incelemek için en uygun laboratuvarlardır. Bu sebeple, günümüzde elektromanyetik tayfin farklı bölgelerinde gözlem yapan birçok gökyüzü taraması (örn. XXL², Planck³, Subaru HSC-SSP⁴) galaksi kümelerinin belirlenmesi için çalışmaktadır. Yakın zamanda aktif olacak ve daha gelişmiş kabiliyetlere sahip başta LSST⁵ ve Euclid⁶ gibi birçok yer ve uzay konumlu teleskopla yapılacak gökyüzü taramalarının amaçları arasında yine galaksi kümelerinin tespit edilmesi önemli bir yer kaplamaktadır.

Bu çalışmada, bilinen önemli gökyüzü taramalarından Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey (CFHTLS⁷) taramasında gözlenmiş W1 alanında tespit edilen galaksi kümeleri ele alınmıştır. Tez kapsamında küme ortamının galaksi evrimi üzerine etkilerini daha iyi incelemeyi amaçladığımız için zenginliği (λ) 15'ten büyük olan kümeler dikkate alınmıştır. Küme üyesi olan galaksiler tayfsal türlerine göre iki ana sınıfa ayrılmıştır. Belirlenen bu popülasyonların oranlarının, kırmızıya kaymaya, üyesi olduğu kümenin zenginliğine, küme merkezine olan uzaklıklarına ve galaksi kütlelerine göre ilişkileri incelenmiştir.

² https://irfu.cea.fr/en/Phoce/Vie_des_labos/Ast/alltec.php?id_ast=3015

³ <https://sci.esa.int/web/planck>

⁴ <https://hsc.mtk.nao.ac.jp/ssp/>

⁵ <https://www.lsst.org>

⁶ https://www.euclid-ec.org/?page_id=2581

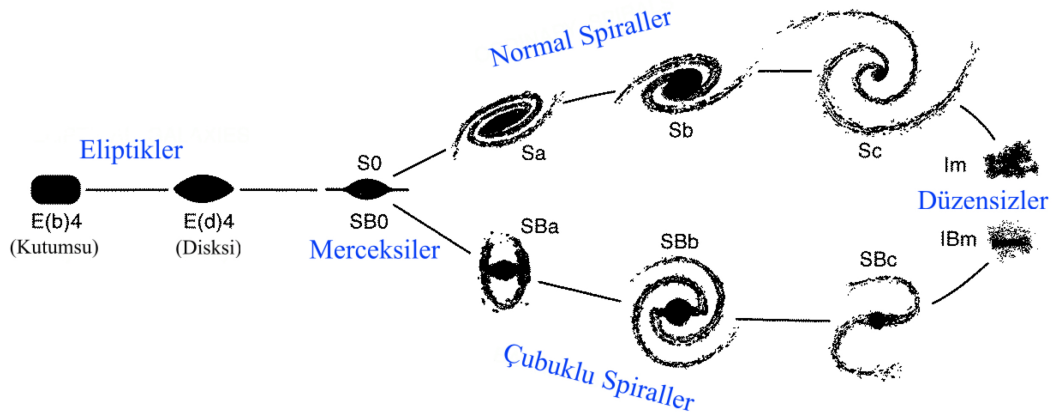
⁷ <https://www.cfht.hawaii.edu/Science/CFHLS/>

2. GENEL KISIMLAR

2.1. GALAKSİLERİN SINIFLANDIRILMASI

Edwin Hubble, 1920'li yıllarda Mount Wilson Gözlemevi'nde bulunan 2.5 metrelik teleskop ile yapmış olduğu gözlemler sayesinde o zamana kadar "bulutsu" olarak adlandırılan gök cisimlerinin aslında Samanyolu dışındaki başka galaksiler olduğunu göstermiştir. Hubble (1926), yakın bulutsuların uzaklıklarını, değişen yıldızlarını kullanarak hesaplamış ve bu bulutsuların Samanyolu dışındaki cisimler olduğunu ortaya koymuştur.

Daha sonra bu galaksileri daha detaylı bir şekilde incelemiş ve morfolojik özelliklerine göre eliptik (E), merceksi (S0) ve spiral (Sa, Sb, Sc, SBa, SBb, SBc) olarak üç ana sınıfa ayırmıştır (Hubble, 1926). Bunların dışında bu sınıflardan hiçbirine girmeyen düzensiz (Im, IBm) galaksiler de bulunmaktadır (Sparke and Gallagher, 2007). Bu sınıflama literatürde "Hubble Çatal Diyagramı (İng. Tuning Fork)" olarak bilinmektedir (bkz: Şekil 2.1.). Hubble bu sınıflandırmanın aslında evrimsel süreçlerle ilişkili olduğunu iddia etmiş, galaksilerin zaman içerisinde eliptik galaksilerden spiral galaksilere doğru evrildiğini öne sürmüştür. Buradan hareketle eliptik ve merceksi galaksileri "erken-tip", spiral galaksileri ise "geç-tip" olarak adlandırmıştır. Bugün, Hubble'ın kullandığı biçiminden bağımsız olarak, galaksiler erken ve geç tip diye ikiye ayrılmaktadır ancak bu ayırım herhangi bir yaş anlamı içermemektedir.



Şekil 2.1: Hubble çatal diyagramı (Kormendy ve Bender, 1996).

2.1.1. Erken-Tip Galaksiler

Erken-tip galaksiler, eliptik ve mercekli galaksilerden oluşmaktadır. Genel olarak gaz bakımından fakir olan bu sınıf yıldız oluşumu göstermez. Dolayısıyla kırmızı, yaşlı ve geç-tip yıldız popülasyonuna sahiplerdir. Bu galaksiler literatürde "**kırmızı ve ölü**" (İng. "red and dead") galaksiler olarak da adlandırılırlar. Genellikle, daha yoğun bölgeler olan galaksi grup ve kümelerinde bulunurlar.

Eliptik galaksiler herhangi bir spiral kol veya çubuk yapısı göstermeyen düzgün bir morfolojiye sahip galaksilerdir. Yıldız oluşumu nadir ya da hiç gözlenmediği için kırmızı, yaşlı yıldız popülasyonu açısından daha baskındırlar.

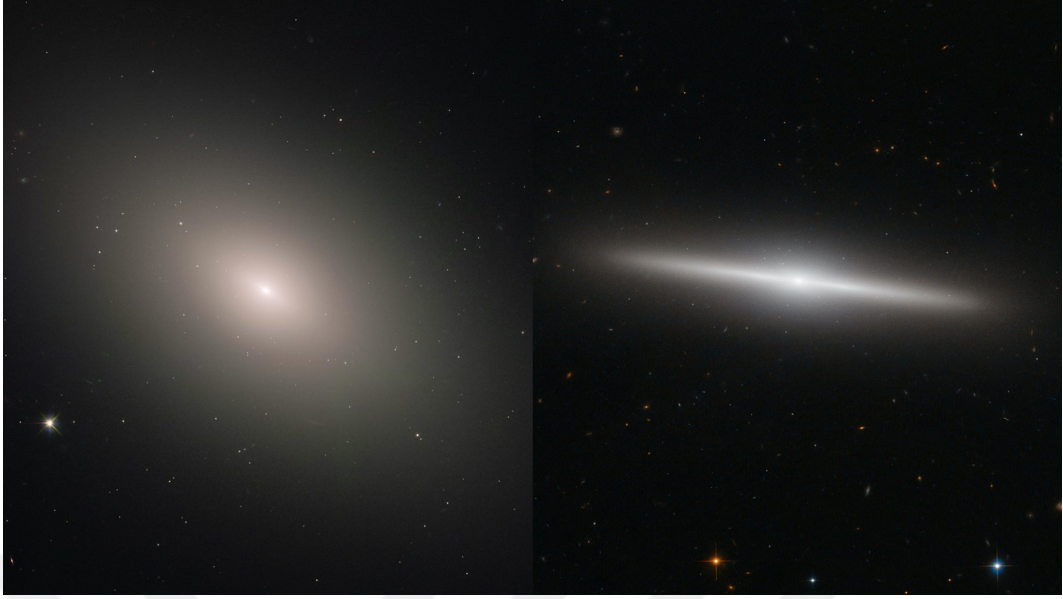
Eliptik galaksiler sahip oldukları basıklık değerlerine göre alt sınıflara ayrılmaktadırlar. Bir galaksinin basıklığı e , a ve b sırasıyla galaksiye ait yarı büyük ve yarı küçük eksen uzunlukları olmak üzere $e \equiv 1 - b/a$ bağıntısı ile hesaplanır. Eliptik galaksilere ait alt sınıflar E_n notasyonu ile gösterilmektedir. Burada $n = 10e$ değerine eşit olup, E_0 tamamen küresel bir morfolojiyi ifade ederken, E_7 yassı bir görünümü temsil etmektedir.

Bunun dışında eliptik galaksiler ışıyım güçlerine ve boyutlarına göre; normal eliptikler (E), cüce eliptikler (dE), dev eliptikler (cD), mavi kompakt cüce galaksiler (BCD) ve cüce sferoidler ($dSph$) olarak alt sınıflara ayrılabilirler (Schneider, 2015).

Mercekli galaksiler genel olarak eliptik ve spiral galaksiler arasında bir geçiş sınıfı olarak karşımıza çıkan galaksi türüdür. Spiral galaksiler gibi disk yapısına sahip olmakla birlikte herhangi bir spiral kol oluşumu göstermezken eliptik galaksilere benzer belirgin bir şişkin bölgeye sahiplerdir. Merkezi bölgelerinde çubuk yapısı bulunma durumuna göre S_0 ve SB_0 olarak alt sınıflara ayrılmaktadırlar (Schneider, 2015). Şekil 2.2'de erken-tip galaksilere ait birkaç örnek verilmektedir.

2.1.2. Geç-Tip Galaksiler

Geç-tip galaksiler spiral ve düzensiz galaksileri içermektedir. Gaz bakımından zengin olan geç-tip galaksilerde yıldız oluşumu devam etmektedir. Dolayısıyla yıldız popülasyonu hem genç hem de yaşlı yıldızlardan oluşmaktadır. Işıyımına en büyük katkısı genç, sıcak ve



Şekil 2.2: Erken-tip galaksilere örnekler. **Solda:** E5 sınıfından bir eliptik galaksi olan NGC 4621 galaksisi yer almaktadır (©ESA/Hubble & NASA, P. Cote). **Sağda:** Merceksi bir galaksi olan IC 335 galaksisine ait bir görüntü gösterilmektedir (©ESA/Hubble & NASA).

mavi renkli yıldızlar sağladığından, geç-tip galaksiler genellikle mavi galaksilerdir. Geç-tip galaksiler genellikle az yoğun ortamlarda daha sık görülmektedirler.

Spiral galaksiler, isimlerinden de anlaşılacağı üzere temel anlamda spiral kollar barındıran galaksilerdir. Bununla beraber disk ve merkezinde şişkin bölge (İng. bulge) yapılarını da içerirler. Merkezlerinde bar yapının bulunmasına göre normal ve çubuklu spiraller olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadırlar. Bu sınıflar da kendi içlerinde şişkin bölgenin parlaklığının disk parlaklığına oranı, spiral kolların durumu ve spiral kollardaki yıldız dağılımına göre a, b, c, d harfleri ile ifade edilen alt sınıflara ayrılırlar. Örneğin Sa sınıfından bir spiral galaksinin kolları Sc sınıfı bir spiral galaksinin kollarına göre birbirlerine daha yakın ve sıkıdır (Schneider, 2015).

Spiral galaksilerdeki kollar oluşturdıkları yoğunluk dalgalanmaları sebebiyle, hareketleri sırasında galaksideki gazı sıkıştırarak yeni, sıcak ve mavi renkli yıldızların oluşmasına neden olurlar.

Düzensiz galaksiler, diğer galaksi türlerine göre herhangi bir belirgin şekle sahip olmayan galaksilerdir. Düzensiz galaksilerin zaman içerisinde kütleçekimsel kararsızlıklar sebebiyle bugünkü hallerini aldıkları düşünülmektedir. Düzensiz galaksiler en çok yıldız oluşumu



Şekil 2.3: Geç-tip galaksilere örnekler. **Solda:** Sc sınıfından bir spiral galaksi olan NGC 2008 galaksisi yer almaktadır (©ESA/Hubble & NASA, A. Bellini). **Sağda:** Düzensiz bir galaksi olan IC 3583 galaksisine ait bir görüntü gösterilmektedir. (©ESA/Hubble & NASA).

görülen galaksilerdendir (Schneider, 2015). Şekil 2.3'te geç-tip galaksilere ait birkaç örnek verilmektedir.

2.2. GALAKSİ KÜMELERİ

Galaksiler, evrende homojen bir şekilde dağılmaz, bunun yerine galaksi grup ve kümelerinde toplanma eğilimi göstermektedirler. Galaksi kümeleri, evrendeki kütleçekimsel olarak bağlı en büyük yapılardır. Kozmolojik önemlerinin (Voit, 2005) yanısıra ev sahipliği yaptığı yüzlerce, hatta binlerce galaksi sebebiyle galaksi evrimini incelemek için ideal ortamlardır.

Galaksi küme çalışmaları, galaksi dışı astronomi çalışmalarıyla başlamış ve önemli bir çalışma alanı olmuştur. Bu alandaki önemli bilim insanlarından biri olan George Ogden Abell, Palomar Gözlemevi'nde çalıştığı dönemde POSS (Palomar Observatory Sky Survey) gökyüzü taraması kapsamında alınan görüntülerdeki galaksi yoğunlaşmalarını tespit ederek, 2712 galaksi kümesinden oluşan Abell Kataloğu'nu yayımlamış ve galaksi kümelerine ait ilk fiziksel tanımlamaları yapmıştır (Abell, 1958). Galaksi kümesi, $1.5h^{-1}$ Mpc yarıçap (Abell yarıçapı; R_A) içerisinde elliden fazla galaksi bulunduran yapılar olarak tanımlanmıştır. Bu sayı elliden az ise galaksi grubu olarak tanımlanmaktadır. Tablo 2.1'de galaksi küme

ve gruplarına ait literatürden derlenen temel özellikler verilmektedir. Buna ek olarak Abell, galaksi kümelerini içerdikleri galaksi sayısına göre atadığı zenginlik (İng. richness) parametresine göre sınıflamıştır. Zenginlik sınıfı 0, galaksi sayısı elliden küçük olan yapıları temsil ederken, zenginlik sınıfı 5 en büyük galaksi kümelerini (galaksi sayısı > 300) temsil etmektedir (Schneider, 2015).

Tablo 2.1: Galaksi küme ve gruplarının genel özellikleri (Bahcall, 1999)

Özellik	Kümeler	Gruplar
Zenginlik	30 - 300 galaksi	3 - 30 galaksi
Yarıçap	$(1 - 2) h^{-1} \text{ Mpc}$	$(0.1 - 1) h^{-1} \text{ Mpc}$
Radyal hız dağılımı	$400 - 1400 \text{ km s}^{-1}$	$100 - 500 \text{ km s}^{-1}$
Radyal hız dağılımı (medyan)	$\sim 750 \text{ km s}^{-1}$	$\sim 250 \text{ km s}^{-1}$
Kütle ($\leq 1.5 h^{-1} \text{ Mpc}$)	$(10^{14} - 2 \times 10^{15}) h^{-1} M_{\odot}$	$(10^{12.5} - 10^{14}) h^{-1} M_{\odot}$
Parlaklık ($\leq 1.5 h^{-1} \text{ Mpc}$)	$(6 \times 10^{11} - 6 \times 10^{12}) h^{-2} L_{\odot}$	$(10^{10.5} - 10^{12}) h^{-2} L_{\odot}$
$\langle M/L \rangle$	$\sim 300 h M_{\odot}/L_{\odot}$	$\sim 200 h M_{\odot}/L_{\odot}$
X-ışın sıcaklığı	2 - 14 keV	$\lesssim 2 \text{ keV}$
X-ışın parlaklığı	$(10^{42.5} - 10^{45}) h^{-2} \text{ erg s}^{-1}$	$\lesssim 10^{43} h^{-2} \text{ erg s}^{-1}$
Küme sayı yoğunluğu	$(10^{-5} - 10^{-6}) h^3 \text{ Mpc}^{-3}$	$(10^{-3} - 10^{-5}) h^3 \text{ Mpc}^{-3}$
Küme korelasyon ölçeği	$(22 \pm 4) h^{-1} \text{ Mpc} (R \geq 1)$	$(13 \pm 2) h^{-1} \text{ Mpc}$
Küme ve gruplardaki galaksilerin oranı	$\sim \%5$	$\sim \%55$

Zwicky (1933), Şekil 2.4'te merkezi bölgesi gösterilmekte olan Coma Kümesi'ndeki galaksilerin radyal hızlarını ölçmüş ve ortalama $\sim 1000 \text{ km s}^{-1}$ olarak hesaplamıştır. Buna ek olarak, küme kütlesini galaksi parlaklıkları üzerinden hesaplamış ve bulduğu sonuçları karşılaştırarak galaksi kümelerinin kütlesinin görünenden daha fazla olması gerektiğini ortaya koymuştur. Böylece galaksi kümelerinin isimlerinin aksine, aslında karanlık madde baskın yapılar olduğu anlaşılmıştır. Galaksi kümelerinin kütlece

- %4'ü galaksilerden,
- %16'sı küme içi gazdan,
- $\sim \%0.1$ 'i rölativistik parçalar ve manyetik alanlardan,
- %80'i ise karanlık maddeden



Şekil 2.4: En yakın ve en kütleli galaksi kümelerinden biri olan Coma Kümesi ($z=0.0231$) (©NASA, ESA, J. Mack, and J. Madrid et al.).

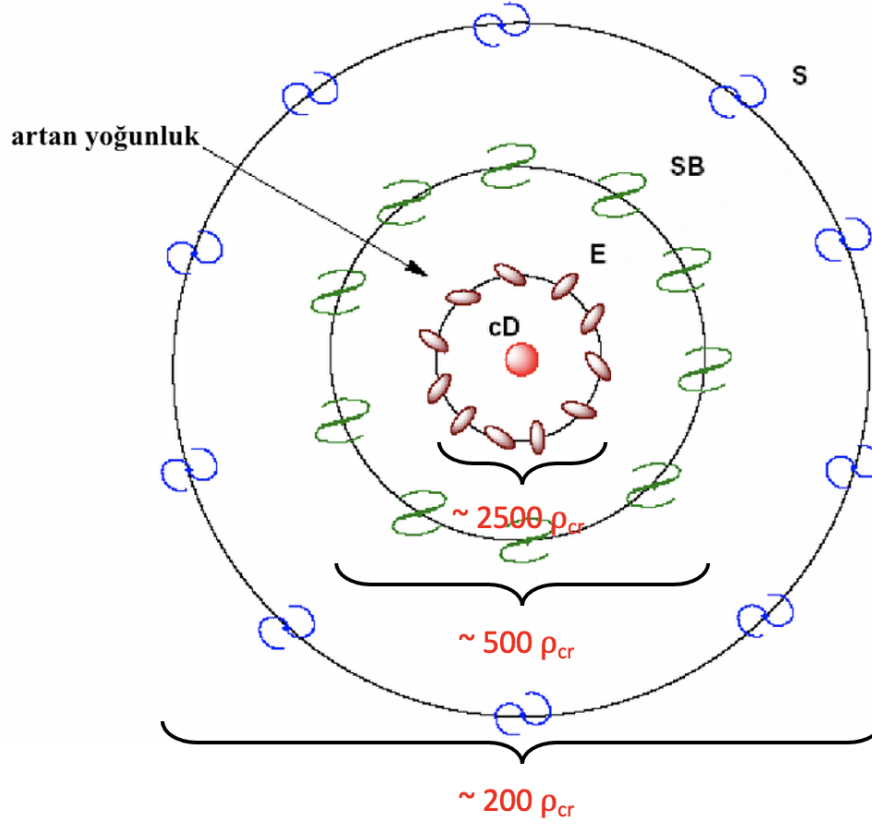
oluşmaktadır.

Galaksi kümeleri çok sayıda galaksi içermesi sebebiyle evrendeki en yoğun yapılardan biridir. Kümelerdeki yoğunluk, evrendeki kritik kütle yoğunluğuna (ρ_{cr}) göre karakterize edilmektedir. ρ_{cr} , Friedmann denkleminin düz uzay varsayımı ($k = 0$) altındaki özel çözümüdür ve Denklem 2.1’de verilmektedir. Kümenin dinamik dengeye ulaştığı yarıçap, yoğunluğun kritik kütle yoğunluğunun ~ 200 katına ulaştığı yarıçap, R_{200} , olarak kabul edilmektedir (White, 2001; Evrard ve diğ., 2002). Kümenin iç kısımlarına doğru ise yoğunluk, kritik kütle yoğunluğunun $\sim 500, 1500, 2500$ katı olacak şekilde temsil edilebilmektedir (Allen ve diğ., 2002; Ettori ve diğ., 2003; Allen ve diğ., 2008).

$$\rho_{cr} = \frac{3H_0^2}{8\pi G} = 1.88 \times 10^{-29} \text{ h}^2 \text{ g cm}^{-3} \quad (2.1)$$

Kümelerin galaktik içeriği yoğunluğa bağlı olarak değişmektedir. Şekil 2.5’te tipik bir galaksi kümesine ait galaktik içerik gösterilmektedir. Kümenin merkezi bölgesi daha çok erken-tip galaksilerce baskınken, kümelerin dış kısımlarına doğru geç-tip galaksi oranı artmaktadır. Tablo 2.2’de galaksi kümelerinin galaktik içeriğine dair oranlar verilmektedir. Görüldüğü üzere zengin kümelerdeki ana popülasyon erken-tip galaksiler olurken, fakir kümeler veya küme dışı alanda geç-tip galaksi popülasyonu daha baskındır (bkz: Morfoloji

- Yoğunluk İlişkisi).



Şekil 2.5: Tipik bir galaksi kümesine ait şematik bir gösterim (Capozziello ve Lattenzi, 2006).

Tablo 2.2: Kümelerdeki galaksilerin türlerinin dağılımı (Bahcall, 1999).

Küme Türü	E	S0	Sp	(E+S0)/Sp
Düzenli kümeler (cD)	%35	%45	%20	4.0
Ara kümeler (spiralce fakir)	%20	%50	%30	2.3
Düzensiz kümeler (spiralce zengin)	%15	%35	%50	1.0
Alan	%10	%20	%70	0.5

Galaksi kümelerinin tespit edilmesi evrendeki madde yoğunluğunun (Ω_m) ve bu maddenin dağılımının belirlenmesi için önemlidir. Galaksi kümelerindeki bileşenlerin (galaksiler, küme içi gaz, rölativistik parçacıklar) gözlemsel olarak elektromanyetik tayfın farklı bölgelerinde (görünür bölge, X-ışın bölgesi, milimetre dalgaboyu gibi) ışıma yapmasından dolayı kümeler, farklı yöntemlerle belirlenebilmektedirler. Şekil 2.6'da Abell 1835 galaksi kümesine ait çoklu dalgaboyunda alınan görüntüler gösterilmektedir.

Galaksi kümelerini görünür bölgede incelediğimizde, gözlenen ışıının büyük çoğunluğu



Şekil 2.6: Soldan sağa sırasıyla Abell 1835 galaksi kümesine ($z = 0.25$) ait X-ışın (©Chandra X-ışın Gözlemevi / A.Mantz), görünür (©CFHT / A. von der Linden) ve milimetre (©Sunyaev Zel'dovich Dizgisi / D. Marrone) dalgaboylarında alınmış görüntüleri gösterilmektedir (Allen ve diğ., 2011).

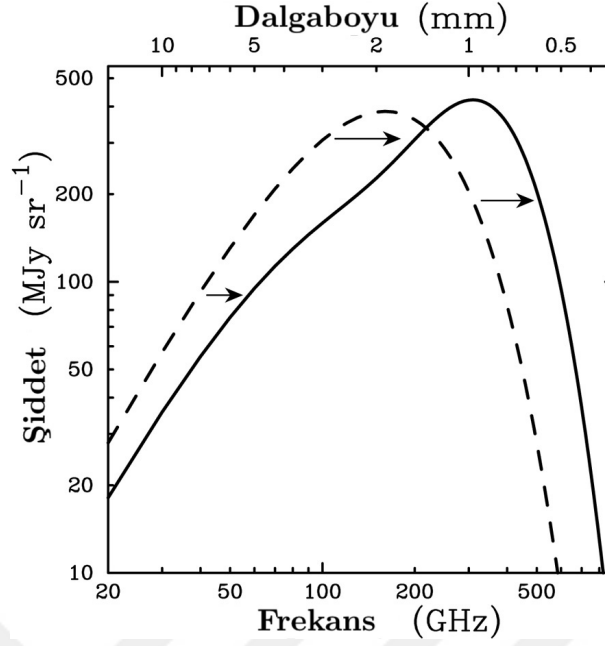
üye galaksilerden gelmektedir. Galaksi kümeleri genel olarak erken-tip galaksilerce baskın olduğundan, ışıınımına en büyük katkı merkezdeki büyük, parlak erken-tip galaksilerden gelir. Günümüzde birçok gökyüzü taraması özellikle merkezdeki erken-tip galaksi yoğunlaşmalarını kullanarak galaksi kümelerini belirlemektedir (HSC-SSP Camira ve SDSS redMaPPer algoritmaları gibi). Görsel bölgede yürütülen görüntüleme gökyüzü taramalarında ayrıca galaksilerin belirli bir bölgede yoğunlaşması sayesinde de kümeler belirlenebilmektedir. Bu tür çalışmalar, galaksi kümesindeki üye galaksiler hakkında herhangi bir varsayım yapmazlar ve sadece galaksi yoğunlaşmasını temel alırlar. ESO Imaging Survey (EIS), CFHTLS, DES taramalarında belirlenmiş; LSST ve Euclid taramalarında belirlenecek galaksi kümeleri ağırlıklı olarak bu yöntemle dayanmaktadır.

Galaksi kümeleri karanlık maddenin en yoğun bulunduğu yapılardır. Kümelerde ışıınım yapmayan kütleli ışınım yapan kütle oranı $M/L \sim 300$ 'dür. Kütlece kümenin %80'ini oluşturan karanlık madde bileşeni sadece kütleçekimsel olarak etkileşmekte ve doğrudan gözlenememektedir. Sahip olduğu kütle sebebiyle çevresindeki uzayı bükecek kadar yeterli kütleçekimi yaratmaktadır. Başka kaynaklardan gelen ışık, bu eğri uzaydan geçerken bükülecektir. "Kütleçekimsel merceklenme" adı verilen bu olay sayesinde, daha uzak ve daha sönük galaksiler gözlenebilmektedir. Karanlık madde ayrıca kümedeki üye galaksilerin sistematik olarak benzer bir hizalanmaya sahip olmalarını sağlar. Bu etki "zayıf merceklenme" olarak adlandırılır ve yüksek çözünürlüklü görüntülerin istatistik analizleriyle belirlenebilir. Zayıf merceklenme, kümenin dinamik veya toplam kütlelerinin doğrudan belirlenebilmesini sağladığı için çok değerlidir ancak uygulanması kolay değildir. Günümüzde Subaru HSC-SSP gökyüzü taraması, VST Teleskobuna bağlı OmegaCam

kamerası ve Hubble Uzay Teleskobu ile uygulanabilmektedir. Yakın gelecekte fırlatılacak Avrupa Uzay Ajansı'nın Euclid uzay teleskobu galaksi kümelerinin kütlelerini zayıf merceklenme yöntemiyle belirleyecektir.

Galaksi kümelerinin kütlece $\sim 16\%$ 'sı küme içi gazdan (İng. ICM) oluşmaktadır. Küme içi gaz, galaksilerin kendi aralarında ve küme içi ortamla etkileşimleri sonucu ısınmaktadır ve sıcaklığı 10^7 K'e ulaşabilmektedir. Bu sıcaklığa ulaşan gaz iyonize olmaktadır ve serbest elektron bakımından zengindir. Yüksek enerjili elektronlar atomlar arasında serbestçe hareket ederken, atom çekirdekleri ile etkileşir ve ısınım yaparak enerji kaybeder. Bu süreç "ısısal frenleme ışıması" (İng. thermal Bremsstrahlung radiation) olarak bilinmektedir ve ışıma X-ışın bölgesindedir. Dolayısıyla galaksi kümeleri X-ışın bölgesinde parlak ve yaygın kaynaklardır. Bu doğaları sebebiyle X-ışın gözlemleri ile rahatça tespit edilebilmektedirler. Geçmişte ROSAT uydusu ile yürütülen tüm gökyüzü taramasının yanında, XMM-Newton, Chandra ve Suzaku uyduları ile yürütülmüş birçok galaksi kümesi taraması (XMM-LSS, CDFN-S, XXL gibi) bulunmaktadır. Günümüzde gözlemleri devam eden SRG uydusunun eROSITA detektörü yerel evrende kütlesi $10^{14} M_{\odot}$ 'dan büyük olan 100bin galaksi kümesi belirleyecektir.

Evrenimiz, Büyük Patlama'dan arda kalan "Kozmik Mikrodalga Arkaplan (İng. Cosmic Microwave Background)" ışıınımı ile doludur. CMB ışıınımı çok düşük enerjili fotonlardan oluşmakta ve sıcaklığı 2.73 K'e karşılık gelmektedir. CMB ışıınımı, evrende karacisim ışıınmasına en yakın ışıınımdır. Galaksi kümelerini dolduran sıcak küme içi gazdaki yüksek enerjili elektronlar, düşük enerjili CMB fotonlarına "Ters Compton Saçılması" olayı ile enerji aktararak CMB fotonlarının enerjilerinin artmasına yol açar. Bu durum karacisim tayfında bozulmalara neden olur ve Şekil 2.7'de gösterilmektedir. Bu olay "Sunyaev-Zel'dovich etkisi" (SZ etkisi) olarak bilinmektedir ve CMB tayfındaki bozulmaları ölçerek galaksi kümeleri belirlenmektedir. Günümüzde Planck uydusu verileriyle SZ etkisi ile keşfedilen yüzlerce küme bulunmaktadır. Ayrıca Şili, Antartika ve Fransa'da konuşlanmış SPT, ACT ve NIKA2 radyo teleskopları da SZ etkisinin gözlenmesi için çalışmaktadır.



Şekil 2.7: CMB ışınlamına ait bozulmamış tayf (kesikli çizgi) gösterilmektedir. Düz çizgi SZ etkisi sebebiyle bozulmaya uğramış CMB tayfını göstermektedir (Carlstrom ve diğ., 2002). CMB fotonları enerji kazandığı için tayf kısa dalgaboylarında doğru kaymıştır.

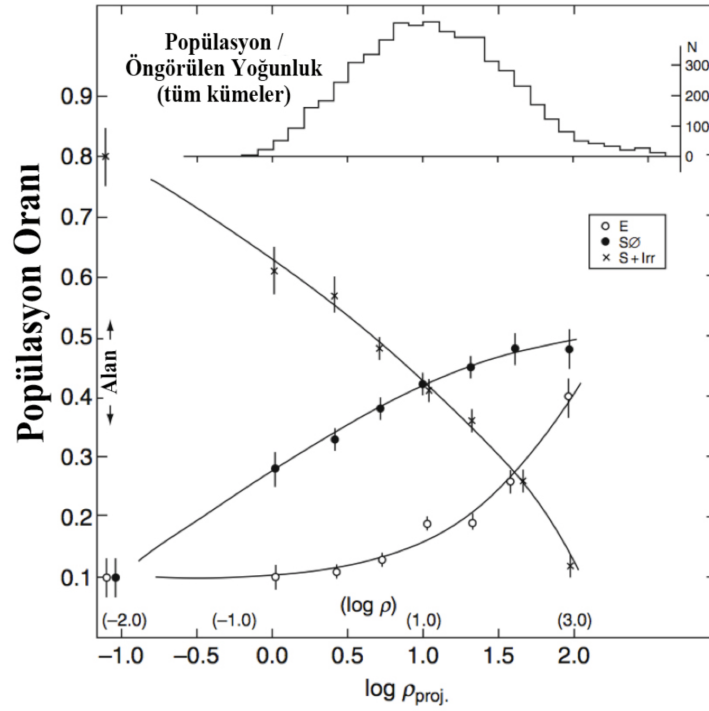
2.3. GALAKSİ EVRİMİ

20. yüzyıldan itibaren galaksilerin yapıları araştırılmaya başlanmış ve farklı morfolojilerden galaksiler olduğu görülmüştür. Günümüzde bu farklı morfolojilerin arasındaki geçişin nasıl olduğu halen araştırılmaktadır. Güncel çalışmalar ışığında galaksi morfolojisinin temel olarak bünyesel ve çevresel süreçlerden (İng. nature - nurture); ortam yoğunluğu, birleşme/etkileşme geçmişi, kütleçekimsel kararsızlıklar, yıldız oluşum aktivitesi, nükleer etkinlikler vb. gibi etkenlerden etkilendiği görülmektedir (Kormendy ve Kennicutt, 2004). Dolayısıyla, galaksi evrimini etkileyen süreçleri birbirinden ayırmak çok zor olup, galaksi evrimi çalışmalarının temelinde yatan ana problemidir. Galaksi evriminin daha iyi anlaşılabilmesi için geniş kırmızıya kayma aralıklarında ve farklı ortam yoğunluklarında (alan, grup, küme) fazla sayıda galaksinin çoklu dalgaboyu gözlemleri ile araştırılması gerekmektedir.

2.3.1. Morfoloji - Yoğunluk İlişkisi

Dressler 1980 yılında yapmış olduğu çalışmada, galaksilerin morfolojileri ile bulundukları ortamlar arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Ortam yoğunluğu arttıkça erken-tip galaksilerin, özellikle eliptiklerin, sayısının arttığını ve geç-tip galaksilerin sayısının

düşüğünü göstermiştir (bkz: Şekil 2.8). Buna göre grup/küme gibi yoğun ortamlarda eliptik galaksilerin sayıları diğer galaksilere nazaran daha fazladır. Bu ilişki daha sonra literatürde "Morfoloji - Yoğunluk İlişkisi" olarak yerini almıştır. Kümede bu durumu incelersek, karşımıza yine bir popülasyon gradyenti çıkmaktadır. Küme üyesi spiral galaksilerin oranı küme merkezine olan uzaklığa bağlıdır; küme eteklerine doğru gidildikçe artmaktadır, fakat alanla karşılaştırıldığında bu oran alandaki karşılığına göre daha düşüktür (Bahcall, 1999). Bu farkı yaratan önemli faktörlerden biri çevrenin galaksi evrimi üzerindeki rolüdür.



Şekil 2.8: Galaksilere ait morfoloji - yoğunluk ilişkisi (Dressler, 1980)

Galaksi evriminde çevrenin etkisi birkaç şekilde karşımıza çıkmaktadır:

- çarpma basıncı soyulması (İng. ram pressure stripping),
- galaksi birleşmeleri (İng. merging),
- gelgit etkisi (İng. tidal stripping)
- galaksi etkileşmesi/tacizi (İng. galaxy harassment).

Çarpma basıncı soyulması, kümeye doğru düşen gaz bakımından zengin spiral bir galaksinin gazını, kümeyi dolduran yaygın, sıcak ($\sim 10^7$ K) küme içi gaz/ortam (İng. intracluster

medium, ICM) sebebiyle yitirmesidir (bkz: Şekil 2.9). Diğer yandan galaksiler arasındaki gelgit etkisi, galaksi tacizi birbirleriyle etkileşen galaksilerin gazlarını yitirmelerine ve aynı zamanda morfolojilerinde bozulmalara neden olmaktadır. Özellikle galaksi birleşmeleri erken-tip galaksilerin oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır; eliptik galaksi oluşum senaryolarından birisi iki spiral galaksinin birleşmesidir. Bütün bunlar göz önüne alındığında çevrenin galaksi evrimi üzerindeki etkisi kaçınılmazdır (Boselli ve Gavazzi, 2006).



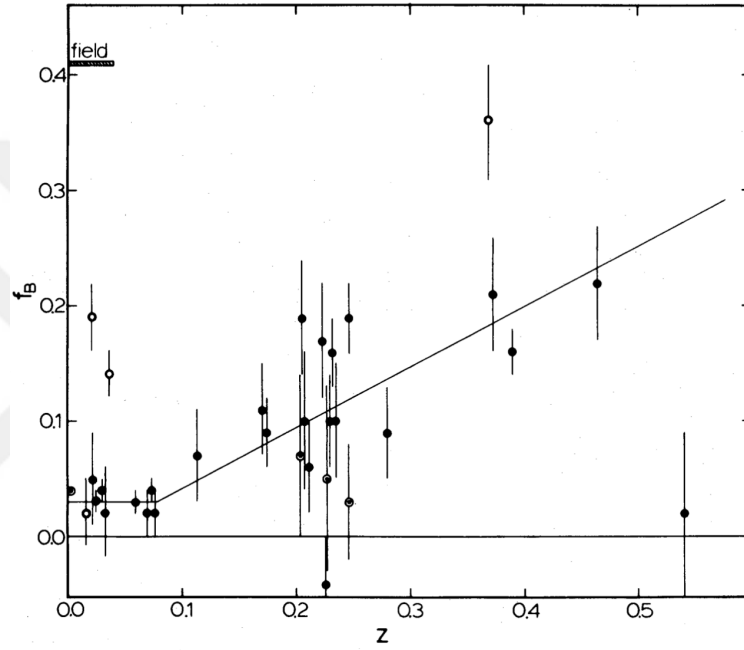
Şekil 2.9: *Solda:* Norma Kümesi’nde bulunan ESO 137-001 adlı spiral galaksinin çarpma basıncı sebebiyle oluşan gaz kuyruğunun Hubble Uzay Teleskobu ve Chandra X-ışın Gözlemevi’nden alınan kompozit görüntüsü (©NASA, ESA, CXC.). *Sağda:* Birleşme aşamasında olan ve Anten Galaksileri olarak bilinen NGC4038 ve NGC4039 galaksilerine ait Hubble Uzay Teleskobu’ndan alınan görüntü. Burada kırmızı renkli bölgeler yoğun yıldız oluşum bölgelerini göstermektedir. (©NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration).

2.3.2. Butcher - Oemler Etkisi

Morfoloji - yoğunluk ilişkisine galaksi kümelerinin özellikle merkezi bölgeleri erken-tip galaksilerce baskındır (Dressler, 1980). Morfolojilerin yanısıra galaksilerin renkleri de karakterizasyon için kullanışlı bir fiziksel özelliktir: erken-tip galaksiler sahip oldukları yaşlı yıldız popülasyonu sebebiyle kırmızı renge sahipken, geç-tip galaksiler ise mavi renge sahiptir. Yakın galaksi kümelerinde mavi galaksi oranı azdır, örneğin Koma Kümesi’ndeki spiral/mavi galaksi oranı %10 civarındadır (Schneider, 2015).

Butcher ve Oemler 1984 yılında yaptıkları çalışmada geniş bir kırmızıya kayma aralığı

($0 < z < 0.5$) için 33 galaksi kümesini fotometrik olarak incelediklerinde yüksek kırmızıya kaymalardaki galaksi kümelerinin merkezlerinde, yerel evrendeki benzerlerine nazaran daha fazla mavi galaksi olduğunu ortaya koymuşlardır. Şekil 2.10'da Butcher ve Oemler'in buldukları ilişki gösterilmektedir. Bu ilişki literatürde "Butcher-Oemler Etkisi" olarak bilinmektedir (Butcher ve Oemler, 1978; 1984). Daha sonraki çalışmalar ile bu ilişkinin $z \sim 1.5$ 'e kadar devam ettiği görülmüştür (Rakos ve Schombert, 1995; Wagner ve diğ., 2017; Jian ve diğ., 2018; Pintos-Castro ve diğ., 2019).

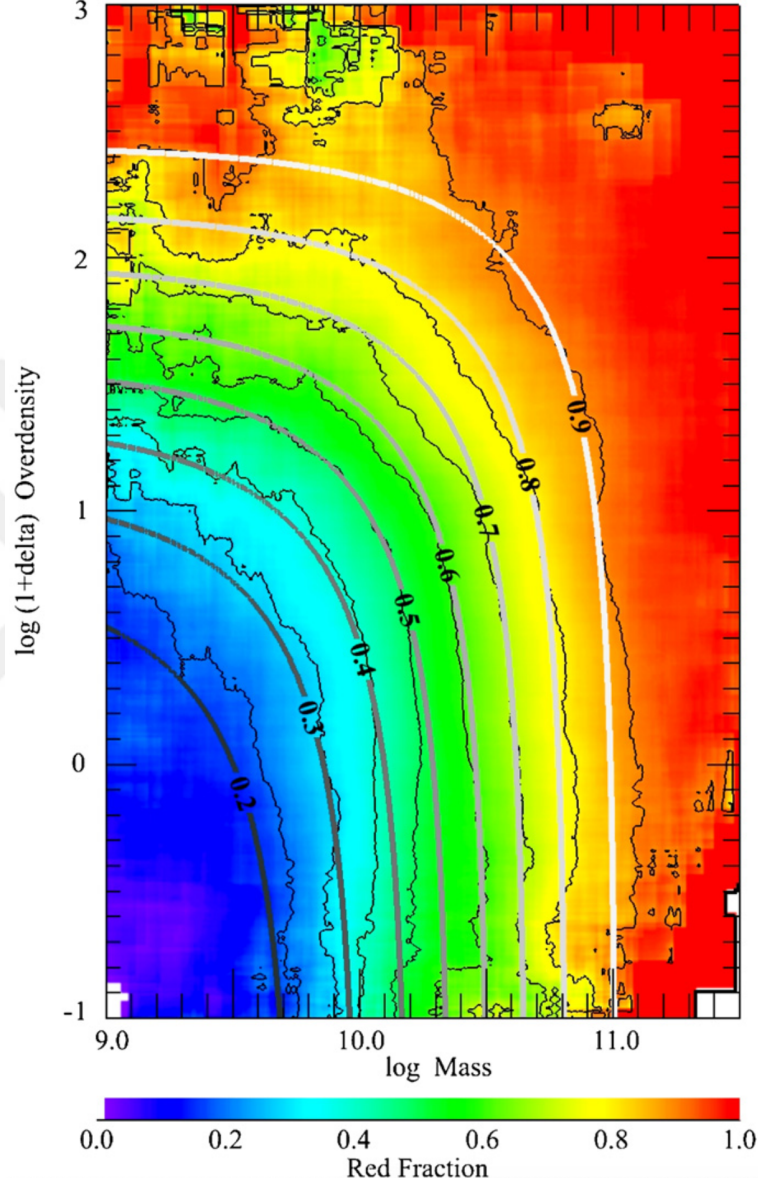


Şekil 2.10: Kümelerdeki mavi galaksi oranının kırmızıya kayma ile evrimi (Butcher ve Oemler, 1984).

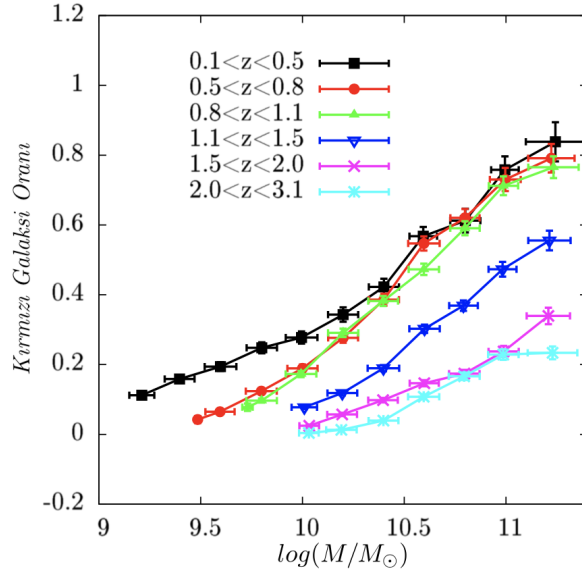
Spektroskopik çalışmalarla da Butcher-Oemler etkisini destekleyen sonuçlar elde edilmiş ve yüksek kırmızıya kaymalarda daha fazla mavi galaksi olduğu tespit edilmiştir. Mavi galaksilerin dışında tayflarında salma çizgileri barındıran galaksiler ve E+A olarak sınıflandırılan galaksiler olduğu da gözlenmiştir. Yüksek kırmızıya kaymalardaki mavi galaksilerin bozuk morfolojilere sahip oldukları bilinmekle birlikte, salma çizgisi gösteren galaksilerin kökeni birleşme kaynaklı yıldız oluşumu patlamaları ile açıklanmaktadır. Diğer yandan E+A galaksileri, tayflarında tipik bir eliptik galaksi tayfı (E) ile A tayfsal tipi yıldız tayfındaki bazı özellikleri barındırdıkları için "E+A" olarak isimlendirilmiştir. Bu galaksilerin yıldız oluşumu patlaması geçirmiş ve yıldız oluşumunu yakın bir zamanda (~ 1 Gyr) durdurmuş olan galaksiler (İng. post-starburst) olduğu düşünülmektedir (Couch ve Sharples, 1987).

2.3.3. Kütlenin Galaksi Evrimine Etkisi

Morfoloji - yoğunluk ilişkisine göre galaksinin bulunduğu ortamın, galaksi evrimi üzerine önemli etkileri olsa da galaksi evrimi sadece çevreye bağlı değildir. Galaksinin sahip olduğu bünyesel/yapısal (İng. intrinsic, internal) özellikleri de evrimi üzerinde büyük bir öneme sahiptir. Literatürde, galaksinin yıldız oluşumunu durdurmaya (İng. quenching) yönelik iki ana mekanizma önerilmiştir; kütleyle bağlı (İng. mass quenching) ve çevreye bağlı süreçler (İng. environmental quenching) (Peng ve diğ., 2010, bkz: Şekil 2.11). Genel olarak, kütleli galaksiler kırmızı renge sahip, düşük (ya da hiç) yıldız oluşumu gösteren ve genellikle erken-tip morfolojilere sahiplerdir (Kauffmann ve ark., 2004; Baldry ve diğ., 2006; Peng ve diğ., 2010; Darvish ve diğ., 2016). Şekil 2.12’de kırmızı galaksi oranının kütleyle bağlı değişimi gösterilmektedir. Diğer bir deyişle, kütleli galaksiler bulundukları ortamdan bağımsız bir şekilde yıldız oluşum aktivitelerini durdurmaktadırlar. Dolayısıyla galaksi kütesinin evrim üzerindeki etkisini incelemek çevresel etkilerle birlikte galaksi evriminin bir bütün halinde anlaşılabilmesi için büyük bir önem taşır.



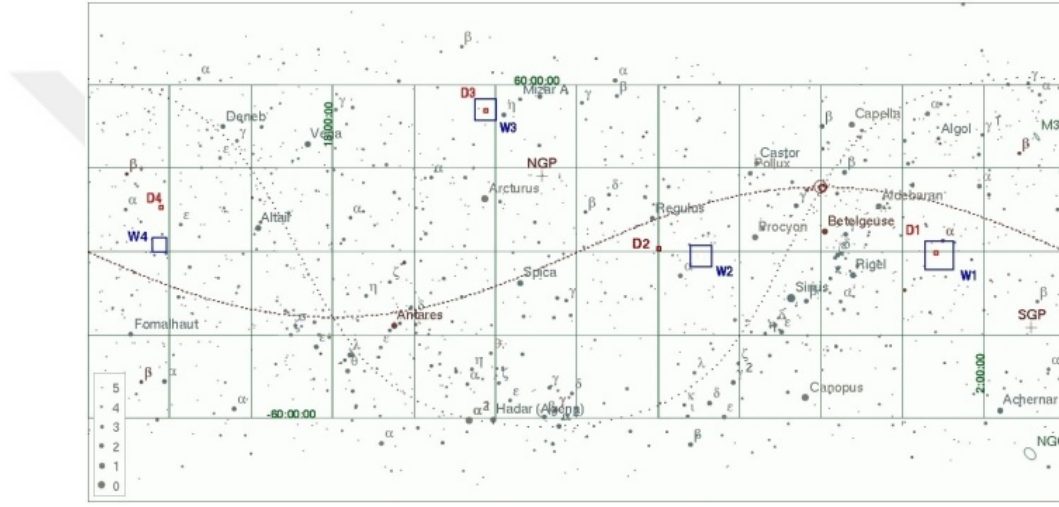
Şekil 2.11: SDSS gökyüzü taraması ile gözlenen galaksilerdeki, kırmızı popülasyon oranının ortam yoğunluğu ve kütleyle ilişkisi (Peng ve diğ., 2010). Renk kodu kırmızı galaksi oranını temsil etmektedir, renk kırmızılaştıkça kırmızı galaksi oranı da artmaktadır. Konturlar ve onları temsil eden eğriler kırmızı galaksi oranlarını göstermektedir. Görüldüğü üzere ortam yoğunluğu ve kütle arttıkça kırmızı galaksi oranı da artmaktadır.



Şekil 2.12: Kırmızı galaksi oranının kütleyle bağlı değişimi (Darvish ve diğ., 2016). Farklı renkler farklı kırmızıya kayma aralıklarını belirtmektedir. Kırmızı galaksi oranı bütün kırmızıya kayma aralıkları için yüksek kütle değerlerine doğru artmaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında Hawaii’de bulunan 3.6 metrelik Kanada - Fransa - Hawaii Teleskobu (İng. Canada - France - Hawaii Telescope, CFHT) ve bünyesindeki MegaCam kamerası ile 2003 - 2009 arasında 5 yıl (toplam 450 gece) boyunca yürütülen CFHTLS (CFHT Legacy Survey) gökyüzü taraması verilerinden yararlanılmıştır.



Şekil 3.1: CFHTLS gökyüzü taraması kapsamında gözlenen geniş ve derin alanların gökyüzündeki konumları. W geniş alanları, D ise derin alanları temsil etmektedir.

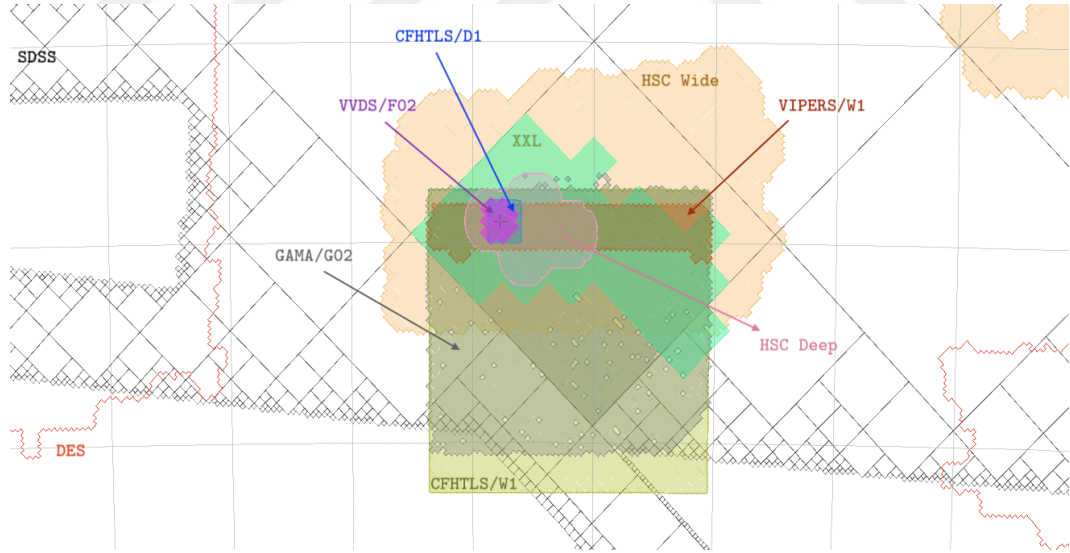
CFHTLS gökyüzü taraması 5 banttaki (u^* , g' , r' , i' , z') görüntüler, galaksi ve fotometrik kırmızıya kayma kataloglarından oluşmaktadır. Proje toplam 173 derece karelik bir alanda yürütülüp, 4 geniş (İng. wide, W) ve 4 derin (İng. deep, D) alandan oluşmaktadır. Gözlenen alanların gökyüzündeki konumları Şekil 3.1’de, kapladıkları alan ve merkezi koordinat bilgileri ise Tablo 3.1’de verilmektedir. Derin alan taraması, geniş alan taramasına göre yaklaşık 1 kadir daha derine gitmektedir. Derin alan taramalarından D1 ve D3 alanları W1 ve W3 alanlar içerisinde yer almaktadır.

Günümüze kadar CFHTLS verileriyle evrenin geometrisi (Astier ve diğ., 2006), galaksi kümelerinin uzaklığı (Olsen ve diğ., 2007), yüksek kırmızıya kaymalardaki galaksi kümelerinin özellikleri (Wen ve Han, 2011), galaksi morfolojileri (Nuijten ve diğ., 2005), Tip-Ia süpernova patlamaları (Sullivan ve diğ., 2006), galaksilerdeki yıldız oluşumu (Tresse ve diğ., 2007) ve evrenin geniş ölçekli yapısı (Ilbert ve diğ., 2006) gibi çeşitli

konularda çalışmalar yürütülmüştür. Oldukça derin ve homojen bir gökyüzü taraması olması nedeniyle CFHTLS, kendinden sonraki birçok gökyüzü taramasına öncü olmuştur. Farklı dalgaboylarında veya tayfsal olarak tasarlanan diğer tarama projeleri CFHTLS görüntülerini ve fotometrik verilerini temel almıştır. CFHTLS W1 alanıyla örtüşen bu tarama projeleri Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Şekil 3.2’de gökyüzü tarama projelerine ait alanlar Aladin⁸ programı yardımıyla oluşturulmuştur.

Tablo 3.1: CFHTLS gökyüzü taraması kapsamında gözlenen alanların boyutları, alanların merkezi koordinatları (sağaçıklık ve dikaçıklık) verilmektedir.

CFHTLS Alanları	Alan	RA (hms)	DEC (° ' ")
W1 Alanı	8° × 9°	02 18 00	-07 00 00
W2 Alanı	5° × 5°	08 54 00	-04 15 00
W3 Alanı	7° × 7°	14 17 54	+54 30 31
W4 Alanı	1° × 25°	22 13 18	+01 19 00
D1 Alanı	1° × 1°	02 26 00	-04 30 00
D2 Alanı	1° × 1°	10 00 20	+02 12 21
D3 Alanı	1° × 1°	14 17 54	+52 30 31
D4 Alanı	1° × 1°	22 15 31	-17 44 05



Şekil 3.2: CFHTLS W1 alanıyla keşisen bazı önemli gökyüzü taramaları gösterilmektedir. Bu gökyüzü haritası Aladin programı yardımıyla oluşturulmuştur.

⁸ <https://aladin.u-strasbg.fr>

3.1. CFHTLS GÖRÜNTÜLERİ VE KATALOGLARI

CFHTLS gökyüzü taraması, 3.6 metrelik CFH teleskobunda bulunan MegaCam kamerası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MegaCam, 36 adet 2048×4612 piksellik CCD'den oluşan mozaik bir kameradır. Yaklaşık görüş alanı 1 derecekaredir (0.96×0.94 derecekare). 340 megapiksellik bir çözünürlüğe sahip olan kameranın piksel ölçeği $0.186''/\text{piksel}$ 'dir. $3500 < \lambda < 9400 \text{ Å}$ dalgaboyu aralığını kapsayan 5 bantta (u^*, g', r', i', z') görüntüler alınmıştır. Kullanılan filtreler için geçirgenlik eğrilerine Şekil 3.3'de yer verilmiştir⁹. CFHTLS-W1 alanı için ulaşılan parlaklık limitleri (%80 tamlık) nokta kaynaklar için $u^*=25.27$, $g'=25.52$, $r'=25.03$, $i'=24.73$, $z'=23.90$ ve yaygın kaynaklar için $u^*=24.45$, $g'=24.67$, $r'=24.00$, $i'=23.69$, $z'=22.91$ kadir olarak belirlenmiştir (Hudelot ve diğ., 2012).

CFHTLS gökyüzü taramasına ait veriler Paris Astrofizik Enstitüsü¹⁰'ndeki (IAP) veri indirgeme merkezi olan TERAPIX¹¹ tarafından işlenip çeşitli zamanlarda güncellenerek 7. veri sürümü olan T0007 ile son bulmuştur. T0007 veri sürümünün içeriği MegaCam görüntüleri, görüntü maskeleri, cisim ve fotometrik kırmızıya kayma kataloglarından oluşmaktadır.

CFHTLS gökyüzü taramasına ait fotometrik katalog SEXTRACTOR¹² (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.

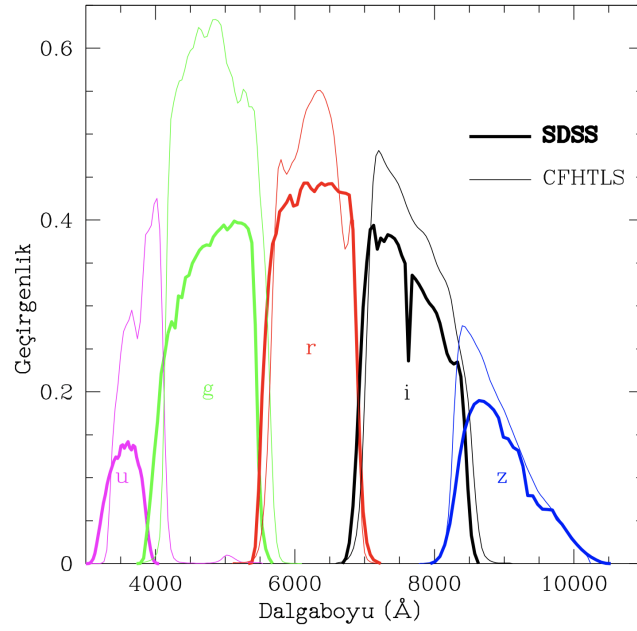
Günümüzde geniş ve derin gökyüzü taramalarında gözlenen galaksilerin sayıları milyon mertebelerini aşmış durumdadır. Her ne kadar mevcut çoklu cisim tayfçekerlerinin sayısı artsa ve yakın gelecekte daha fazla olacak olsa da, tarama projelerinde tespit edilen tüm galaksilerin spektroskopik kırmızıya kaymalarını belirlemek olanaklı değildir. Bu

⁹ <http://orca.phys.uvic.ca/~gwyn/cfhtls/photz/filters.html>

¹⁰ <http://www.iap.fr>

¹¹ <http://terapix.iap.fr>

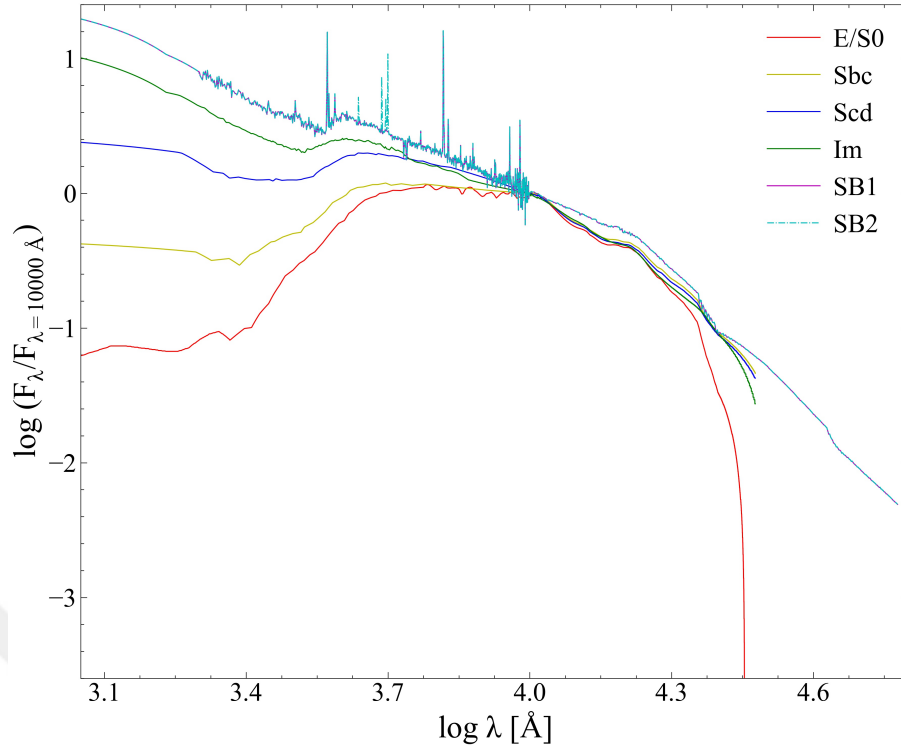
¹² <http://www.astromatic.net/software/sextractor>



Şekil 3.3: CFHTLS filtrelerinin (soluk renkli) ve SDSS gökyüzü taramasına ait (koyu renkli) geçirgenlik eğrileri ile karşılaştırılması.

sebeple, galaksilere ait kırmızıya kayma değerleri fotometrik kırmızıya kayma yöntemi ile belirlenmektedir. Fotometrik kırmızıya kayma yöntemi 1960’larda (Baum, 1957, 1962) önerilmiş ve 2000’lerden itibaren yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bir galaksiye ait kırmızıya kaymanın fotometrik olarak elde edilebilmesi için o galaksinin tayfsal enerji dağılımının (İng. spectral energy distribution, SED) elde edilmesi gerekmektedir. Bruzual ve Charlot (1993, 2003), farklı galaksi türleri için tayfsal enerji dağılımlarını modellemiştir. Galaksilere ait SED’ler salma veya soğurma çizgileri olmayan tayflara benzemektedir. Gözlenen tayfsal enerji dağılımları, model tayflarla karşılaştırılarak fotometrik kırmızıya kayma değeri tayin edilmektedir (Gwyn, 1995).

Fotometrik kırmızıya kayma yöntemi (ya da SED uyumlandırma yöntemi), ilk olarak galaksilerin uzaklıklarının tespit edilmesi ve dolayısıyla evrendeki dağılımlarının belirlenmesi için önemli bir yöntemdir. Günümüzde ise fotometrik kırmızıya kayma değerine ek birçok fiziksel parametre de, örneğin galaksi kütlesi, yıldız oluşum oranı (İng. star-formation rate, SFR), yaş, metal bolluğu vb. hesaplanabilmektedir. Fiziksel parametreler yıldız popülasyon sentezi modelleri (İng. stellar population synthesis models, SPS models) kullanılarak tayin edilmektedir. Literatürde kullanılan birçok sayıda SPS modeli bulunmaktadır (GALAXEV, Bruzual ve Charlot, 2003; Maraston, 2005; FSPS, Conroy ve diğ., 2009, Conroy ve Gunn, 2010).

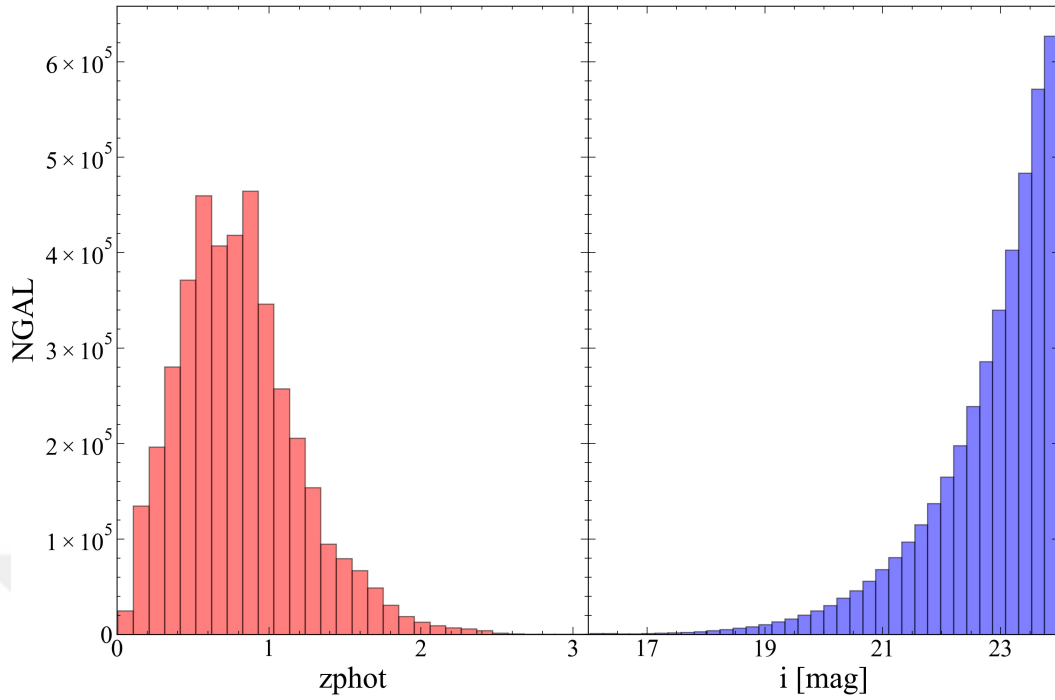


Şekil 3.4: Coleman, Wu ve Weedman'ın (CWW, 1980) 4 galaksi türüne (E/S0, Sbc, Scd, Im) ait tayfsal enerji dağılımı ve Kinney ve diğ. (1996)'a ait SB türüne ait iki adet tayfsal enerji dağılımının karşılaştırılması.

Cisim kataloglarına ve görüntülere ek olarak fotometrik kırmızıya kaymalar ve spektral tipler, tayfsal enerji dağılımlarını modelleyen LEPHARE¹³ (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 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 (İng. starburst) ait tayfsal enerji dağılımlarından oluşmaktadır (bkz: Şekil 3.4). Bu yöntemle W1 alanı için elde edilen fotometrik kırmızıya kaymaların dağılımı Şekil 3.5'te verilmiştir.

Bu tez kapsamında galaksi popülasyonlarının belirlenmesi için 4 geniş alan içerisinde en

¹³ <https://www.cfht.hawaii.edu/~arnouts/LEPHARE/lephare.html>



Şekil 3.5: CFHTLS-W1 alanındaki galaksilerin fotometrik kırmızıya kayma ve i parlaklık dağılımları.

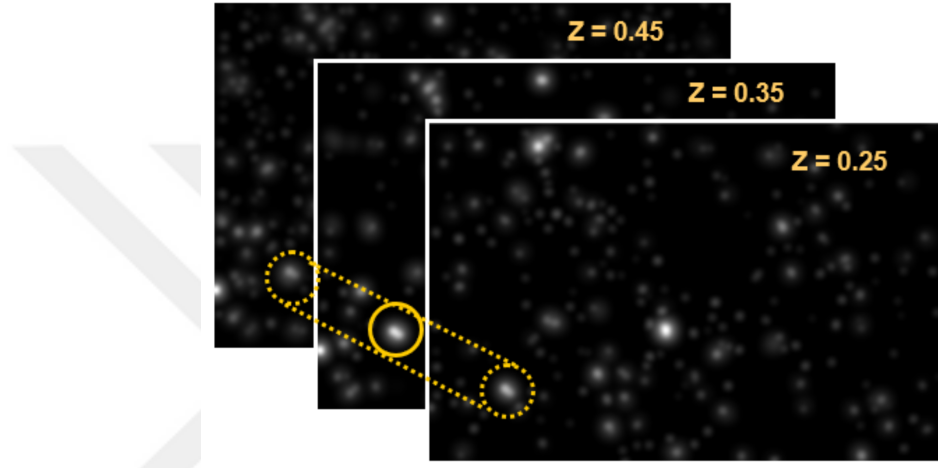
büyük olan 72 derecekarelik W1 alanı kullanılmıştır. W1 alanı herbiri yaklaşık 1 derecekare olan 72 MegaCam yönlenmesinden oluşmaktadır. W1 alanına ait SExtractor kataloğu 4.6 milyon cisim barındırmakta (Yelkenci, 2015); yıldız ve sorunlu kısımlara ait maskelemelerden sonra bu sayı 4.104.390'a ($i \lesssim 24^m$) düşmektedir.

3.2. CFHTLS-W1 ALANINDAKİ GALAKSİ KÜMELERİ VE ÜYE GALAKSİLERİ

Bu çalışmada, CFHTLS-W1 alanında WaZP (İng. Wavelet z-Photometric) küme bulma algoritması (Dietrich ve diğ., 2014; Euclid Collaboration ve diğ., 2019; Aguena ve diğ., 2021) ile belirlenmiş 3284 galaksi kümesi kullanılmıştır. Kümelerin kırmızıya kayması $0.1 < z < 1.0$ arasında değişmektedir.

WaZP algoritması galaksi kümelerini belirlerken çoklu dalgaboyunda gözlemlerden üretilmiş galaksi kataloglarını kullanmaktadır. Kümeler, gökyüzündeki konumları ve fotometrik kırmızıya kaymaları kullanılarak belirlenmektedir. Bu şekilde yapılan belirlemelere, fotometrik kırmızıya kaymanın düşük hassasiyeti nedeniyle 2+1 boyutlu belirleme denilmektedir. WaZP algoritması kümeleri belirlerken kümeyi oluşturan galaksilere dair herhangi bir varsayım yapmamaktadır (örn. kırmızı kol galaksileri).

Algoritma bir galaksi kataloğunu ilk önce kataloğu fotometrik kırmızıya kaymaya göre dilimlere ayırır. Daha sonra her bir dilime ait yoğunluk profillerini oluşturup tepe noktalarını belirlemek için yoğunluk haritaları üretir. Böylece galaksi yoğunlukları, farklı kırmızıya kayma dilimlerinde analiz edilmiş yapıları içeren silindirler ile karakterize edilir (bkz: Şekil 3.6). WaZP küme bulma algoritması, LSST ve Euclid gibi yakında zamanda başlaması planlanan gökyüzü taramalarının ön çalışmalarında kümelerin belirlenmesi için kullanılan algoritmalardan bir tanesidir (Euclid Collaboration, 2019; Kovacs ve diğ., 2021).



Şekil 3.6: WaZP küme bulma algoritmasına ait şematik bir görüntü (Aguena ve diğ., 2021).

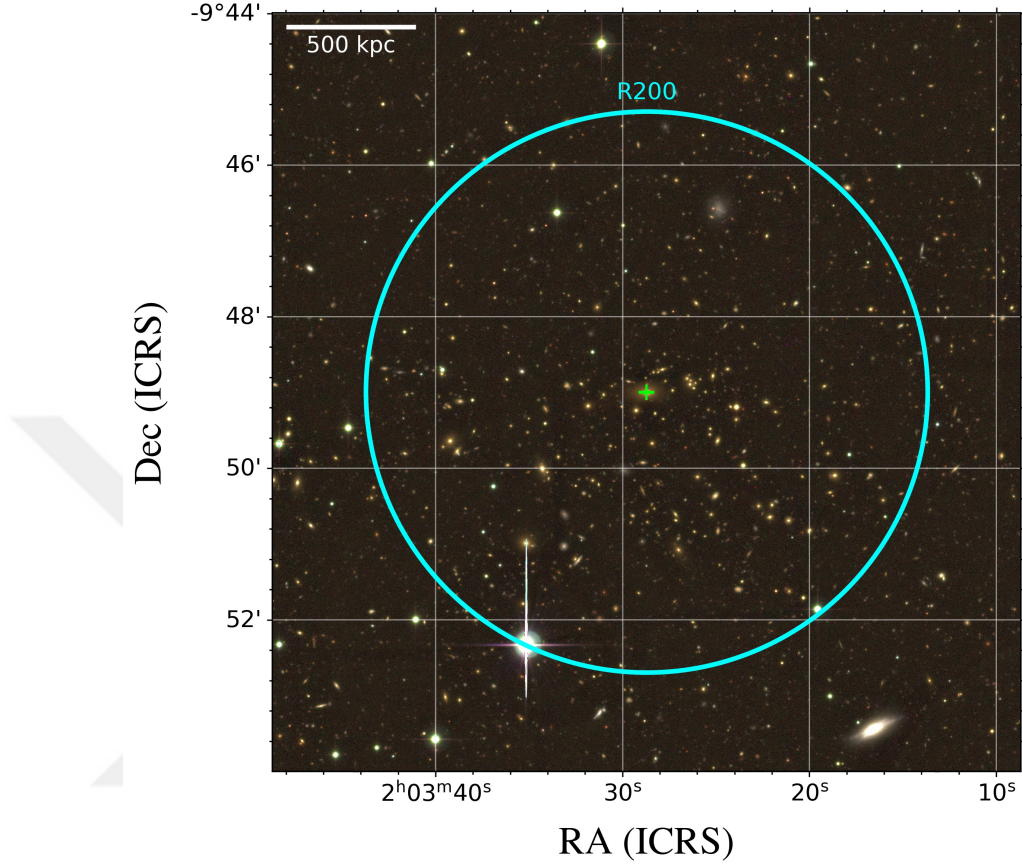
Tespit edilen adaylar (galaksi yoğunlaşmaları) sinyal-gürültü oranına (S/N) göre sıralanırlar. Bu tez çalışması için WaZP ile CFHTLS-W1 alanı için toplam 7943 galaksi küme adayı tespit edilmiştir. Sinyal-gürültü oranı 3'ten büyük ($S/N > 3$) olan küme sayısı ise 3337'dir.

Dahil olduğum İstanbul Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümündeki Ekstragalaktik Astronomi çalışma grubu üyeleri yardımıyla yapılan görsel incelemeler sonucu 3337 küme adayından bazılarının yeterince galaksi yoğunluğu içermediği, yanlış tespit olduğu düşünülmüş ve bu sistemler galaksi küme listesinden çıkarılmıştır. Bu durumda tez çalışmasına dayanak oluşturan küme sayısı 3284'e düşmüştür. Şekil 3.7'de bu kümelerden birine ait "g',r',i'" bantlarındaki görüntülerin STIFF¹⁴ programı ile birleştirilmiş hali verilmektedir.

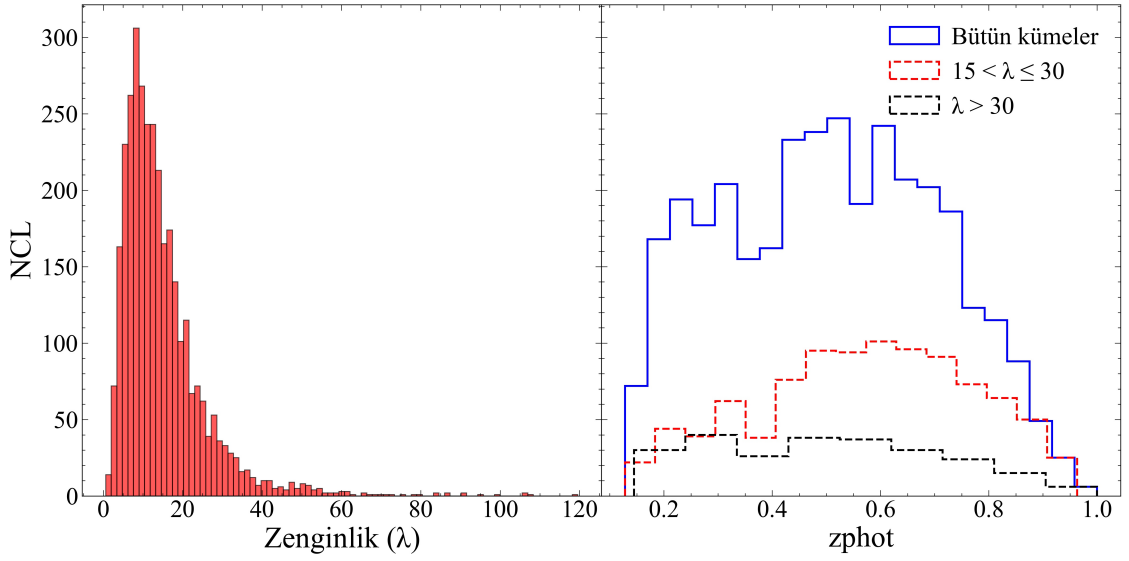
Tez kapsamında küme ortamının galaksi evrimi üzerine etkilerini daha iyi incelemeyi amaçladığımız için zenginliği $\lambda > 15$ olan kümeler dikkate alınmıştır. Böylece görece daha yoğun ortamlar karakterize edilmiş olmaktadır. Dolayısıyla, tez çalışmasındaki analizler için

¹⁴ <https://www.astromatic.net/2010/02/10/stiff-2-1-release/>

1216 galaksi kümesi ($\lambda > 15$) kullanılmıştır. Şekil 3.8’de ise WaZP ile belirlenen kümelerin zenginlik ve kırmızıya kayma dağılımları verilmiştir.



Şekil 3.7: 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',i'" bantlarıyla oluşturulan renkli görüntü. Yeşil artı sembolü küme merkezini, mavi çember ise kümeye ait R_{200} yarıçapını temsil etmektedir.



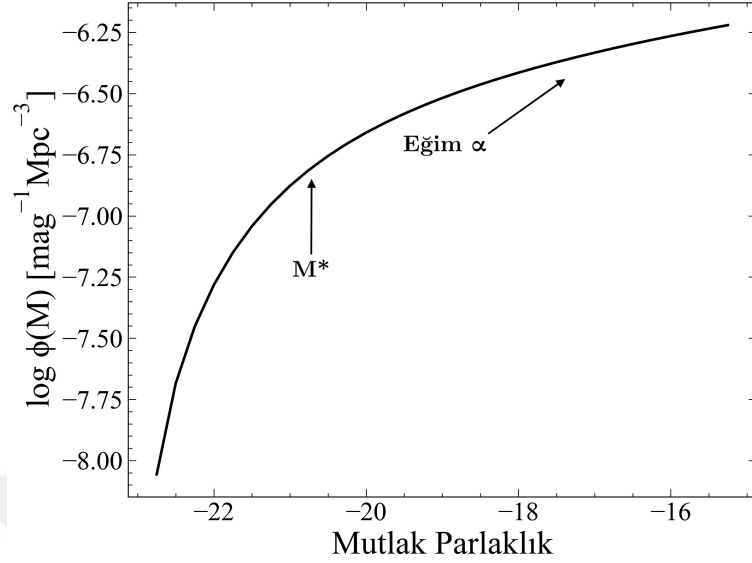
Şekil 3.8: CFHTLS-W1 alanında WaZP ile tespit edilen 3284 kümeye ait zenginlik (solda) ve farklı zenginlik aralıklarına göre çizdirilmiş kırmızıya kayma dağılımları (sağda).

Galaksi kümelerindeki farklı popülasyonları incelemek için ilk önce kümelerin üye galaksilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Üye galaksi kataloğu, Castignani ve Benoist (2016) çalışmasındaki yaklaşım kullanılarak oluşturulmuştur. 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.

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

Kümelere üye galaksilerin belirlenmesinde, $m_i^* + 1.5$ değerinden daha parlak olan galaksiler dahil edilmiştir. Burada m_i^* , ışınım gücü fonksiyonuna ait karakteristik parlaklığı temsil etmektedir. Karakteristik parlaklık Şekil 3.9’da verilen tipik bir ışınım gücü fonksiyonunda

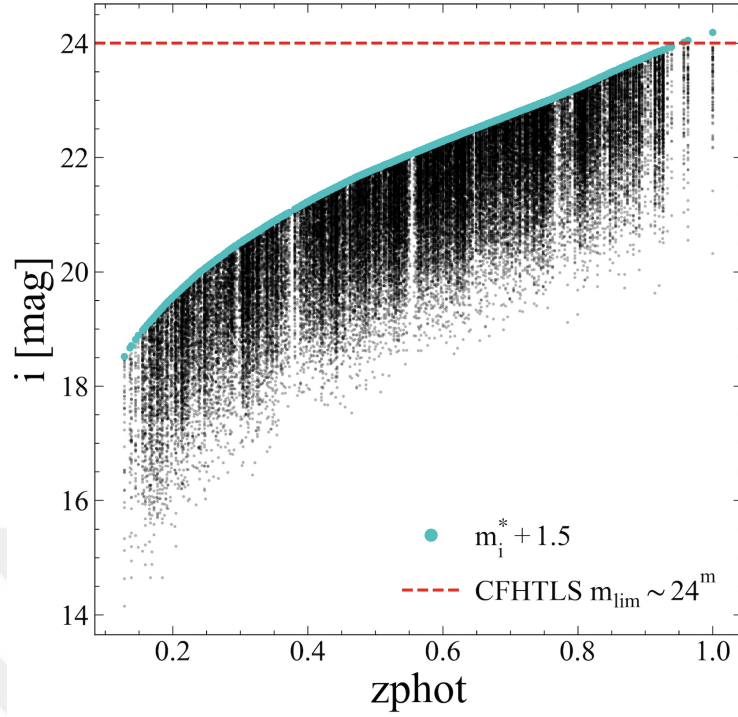
görülebilir.



Şekil 3.9: Örnek bir ışınım gücü fonksiyonu gösterilmektedir (Schneider, 2015). Burada α ışınım gücü fonksiyonunun eğimini, M^* ise ışınım gücü fonksiyonunun karakteristik parlaklığını temsil etmektedir.

Herhangi bir parlaklık limiti uygulanmadığında yakın kümelerde bünyesel olarak daha sönük galaksilerin kümeye dahil edilebilmesi mümkün olacağından küme kataloğu homojen olmayacak ve yanlışlık içerecektir. Böyle bir parlaklık limitinin konulması, farklı kırmızıya kaymalarda benzer ışınım gücüne sahip galaksi örneklemelerini incelememizi sağlamaktadır. Şekil 3.10'da tez çalışmasında kullandığımız bütün küme üyesi galaksilerin i-bandı parlaklıkları kırmızıya kaymanın bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir. Her bir kırmızıya kayma diliminde üye galaksiler, o kırmızıya kaymaya karşılık gelen $m_i^* + 1.5$ 'den daha parlaktır. Uygulanan bu limit nedeniyle küme örneklemimiz $z \sim 1$ 'e kadar uzanmaktadır. Çünkü $z \sim 1$ 'den daha yüksek kırmızıya kaymalarda $m_i^* + 1.5$ değeri, CFHTLS taramasının limit parlaklığı olan $i \sim 24$ kadirde daha sönük olmaktadır ($m_i^*(z > 1) + 1.5 > 24^m$).

Bu tez çalışmasında kümelere ait üye galaksiler $1 \times R_{200}$ yarıçapı içinde kalacak şekilde sınırlandırılmıştır. Sonuç olarak, $\lambda > 15$ olan 1216 kümeye ait 60606 üye galaksi dikkate alınmıştır.



Şekil 3.10: Küme galaksilerinin i-bandı parlaklık evrimi. Burada kırmızı kesikli yata çizgi CFHTLS taramasına ait limit parlaklığı göstermektedir.

3.3. ALAN GALAKSİLERİNİN BELİRLENMESİ

Galaksi kümelerindeki galaksi popülasyonlarının alandaki karşılıkları ile birlikte ele alınması, çevrenin galaksi evrimi üzerindeki etkisini incelemek etkili yollardan biridir. Bu sebeple, küme üyesi galaksilerimizle karşılaştırılabilecek, alan galaksilerine ait bir örneklem oluşturulması gerekmektedir. Literatürde alan tanımı için farklı tanımlamalar yapılmıştır (Giodini ve diğ., 2012; Pintos-Castro ve diğ. 2019). Bu çalışmada alan galaksileri, küme merkezine olan izdüşümsel uzaklıkları $2 < R/R_{200} < 4$ olan galaksilerden seçilmiştir. Bu seçimin sonuçlarımız için herhangi bir yanlılık yaratmadığı Bölüm 4.3'te gösterilmektedir. Her bir kümeye karşılık gelen alan galaksi örneklemeleri aşağıdaki koşulları sağlayan galaksileri içerecek şekilde oluşturulmuştur;

- kırmızıya kayması $\Delta z = \pm 0.04 \times (1 + z_{cl})$ aralığında yer alan
- küme merkezine olan izdüşümsel uzaklığı $2 - 4 R_{200}$ arasında olan
- i-bandı görünür parlaklığı $i \leq m_i^* + 1.5$ olan

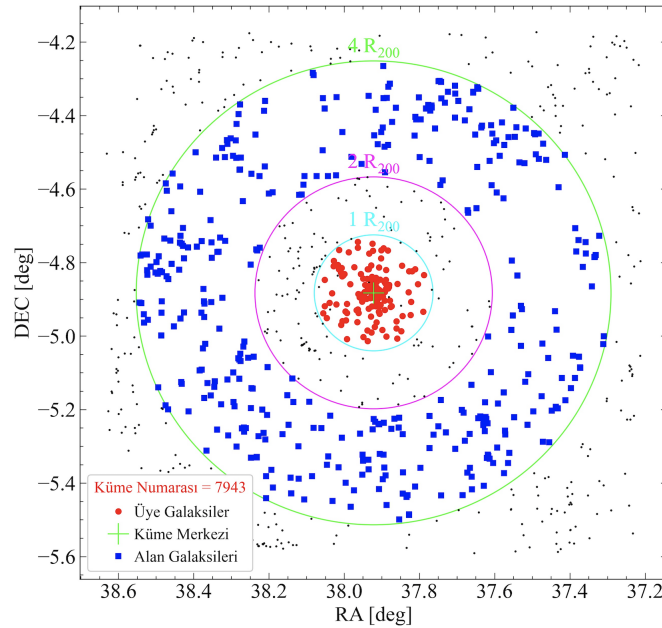
İzdüşümsel uzaklıklar hesaplanırken, ilk önce her bir kümenin kırmızıya kaymasında

açısal büyüklüklere karşılık gelen fiziksel uzaklık ölçeği ($''/\text{kpc}$) belirlenmektedir. Böyle bir hesaplama bir kozmolojik model ve parametrelerin kabulü ile yapılabilmektedir. Tez çalışmasında, genel kabul görmüş ΛCDM kozmolojik modeline ait parametreler $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$, $\Omega_m = 0.3$ ve $\Omega_\Lambda = 0.7$ olarak kullanılmıştır.

$$\cos\theta = (\sin\delta_{\text{cl}} \times \sin\delta_{\text{gal}}) + (\cos\delta_{\text{cl}} \times \cos\delta_{\text{gal}}) \times \cos(\alpha_{\text{cl}} - \alpha_{\text{gal}}) \quad (3.2)$$

Öncelikle ana katalogdan kümenin merkez koordinatları çevresinde $4.5 \times R_{200}$ yarıçaplı bir bölgede kalan tüm galaksiler belirlenmiştir. Bu galaksilerin kümenin merkezine olan açısal uzaklıkları Denklem 3.2’de verildiği gibi hesaplanmıştır. Belirlenen açısal uzaklıklar, kümenin kırmızıya kayması için hesaplanan ölçek kullanılarak fiziksel uzaklıklara (kpc) dönüştürülüp, sonrasında kümenin R_{200} yarıçapına oranlanarak normalize edilmiştir. Bu şekilde belirlenen izdüşümsel uzaklıklardan 2-4 R_{200} arasında olanlar o kümeye ait alan galaksi örneklemini olarak kullanılmıştır.

Çalışmada incelediğimiz, zenginliği 15’ten büyük olan 1216 küme için yukarıda verilen koşulları sağlayan 207423 alan galaksisi belirlenmiştir. Şekil 3.11’de en zengin kümelerden biri için üye galaksilerin ve belirlenen alan galaksilerinin gökyüzündeki dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.11: 7943 numaralı kümeye ait alan galaksilerinin nasıl seçildiğine dair örnek bir gösterim.

3.4. GALAKSİ POPÜLASYONLARININ TAYFSAL ENERJİ DAĞILIMLARINA GÖRE BELİRLENMESİ

LEPHARE programı çıktı olarak, incelenen galaksilere en iyi uyan SED modelinin türünü, diğer bir deyişle tayfsal türünü de vermektedir. Galaksilere ait tür bilgisi CFHTLS galaksi kataloglarında "MODE" parametresi olarak tutulmaktadır. Bölüm 3.1’de bahsedildiği gibi, CFHTLS gökyüzü taramasında toplam 66 tane SED modeli kullanılmaktadır; dolayısıyla galaksiler, 1-66 arasında değişen MODE değerlerine sahip olmaktadır. MODE parametresi 1-22 arası E/S0, 23-39 arası Sbc, 40-51 arası Scd, 52-62 arası Im ve 63-66 arası SB (starburst) türlerini belirtmektedir. Böylece, MODE değerleri kullanılarak toplam 268029 galaksi, erken-tip ((eliptik ve merceksi; $MODE \leq 22$) ve geç-tip (spiral, düzensiz ve starburst; $MODE > 22$) olarak sınıflandırılmıştır.

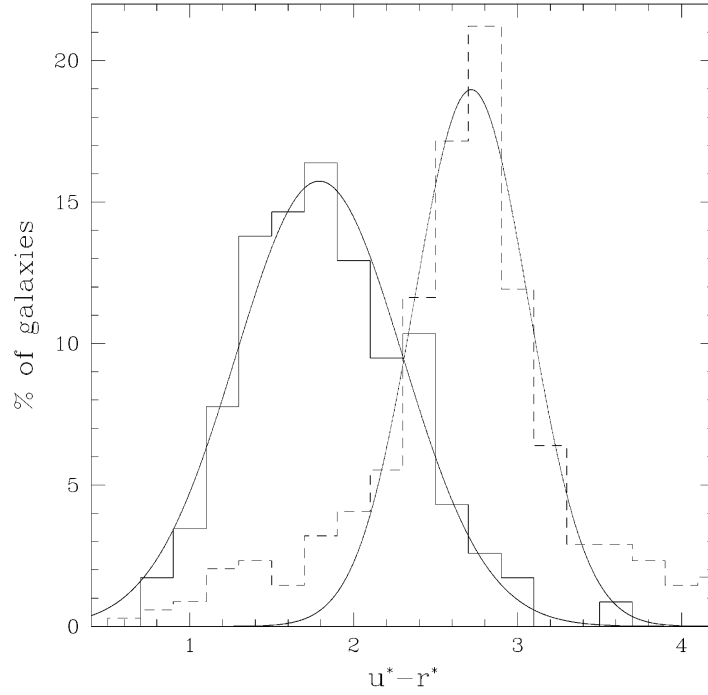
Bu sınıflama sonrasında, erken ve geç tür galaksi popülasyonlarına ait sayı oranları (f_{ETG} ve f_{LTG}) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$f_{ETG} = \frac{N_{E/S0}}{N_{GAL}} \quad (3.3)$$

$$f_{LTG} = \frac{N_{(Sbc+Scd+Im+SB)}}{N_{GAL}} \quad (3.4)$$

3.5. GALAKSİ RENKLERİ KULLANILARAK GAUSSIAN KARIŞIM MODELİ YÖNTEMİYLE TÜRLERİN BELİRLENMESİ

Bütün morfolojik türleri bir arada incelediğimizde, galaksilere ait renk dağılımı iki modlu (İng. bimodal) Gauss dağılımı ile temsil edilebilir (Strateva, 2001; Baldry, 2004). Popülasyonlardan biri yıldız oluşumu göstermeyen, erken-tip, kırmızı galaksiler iken diğer popülasyon ise yıldız oluşumunun devam ettiği geç-tip morfolojiye sahip mavi galaksilerdir. Strateva (2001) yapmış olduğu çalışmada, SDSS gökyüzü taraması ile gözlenen ~ 150000 galaksinin renk dağılımlarını incelemiş ve iki modlu yapı için ayırıcı koşulu $(u-r) \sim 2.2$ olarak belirlemiştir. Şekil 3.12’de Strateva ve diğ. (2001) çalışmasına ait $(u-r)$ renk dağılımı gösterilmektedir.

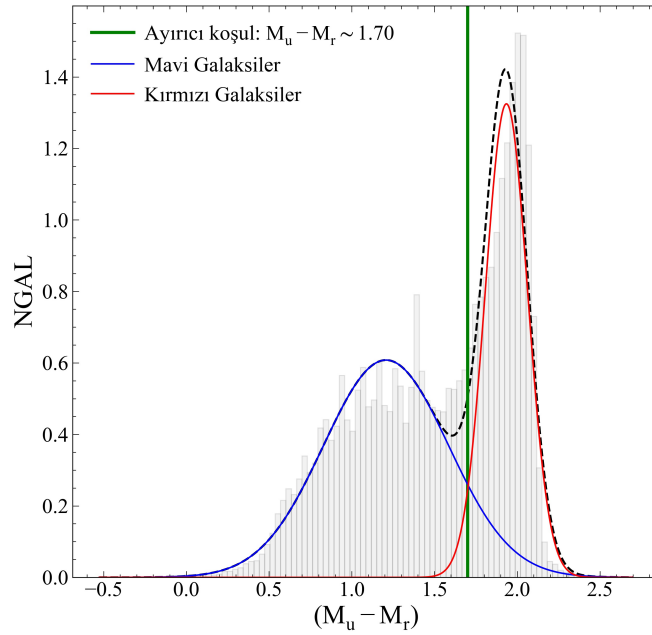


Şekil 3.12: SDSS gökyüzü taraması ile gözlenen ~ 150000 galaksiye ait $(u-r)$ renk dağılımı ve onlara karşılık gelen Gauss dağılımları. Kesikli çizgi erken-tip galaksileri temsil ederken, düz çizgi geç-tip galaksileri temsil etmektedir (Strateva, 2001).

Literatürde renk dağılımındaki iki modlu yapının galaksi popülasyonlarını belirlemek için çok iyi bir araç olduğu ortaya konulmuştur (Bell ve diğ., 2004; Blanton ve diğ., 2005). Bununla birlikte, Andreon ve diğ. (2006) görünür parlaklıkların kırmızıya kayma ile bir evrim gösterdiğini, yapılacak popülasyon ayrımının yanıltıcı olabileceğine işaret etmiştir. Dar bir kırmızıya kayma aralığı için sorun olmayacak bu yanıltıcılığın ortadan kaldırılması için mutlak parlaklıklar kullanılabilir. Bu tez çalışmasında renge bağlı sınıflama, M_u ve M_r mutlak parlaklıkları, yani $(M_u - M_r)$ renk indeksi üzerinden yapılmıştır. Renk dağılımındaki iki modlu yapıyı, diğer bir deyişle farklı galaksi popülasyonlarını belirlemek için denetimsiz kümeleme algoritması olan Gaussian Karışım Modeli (GMM; İng. Gaussian Mixture Model) kullanılmış ve iki bileşen (kırmızı ve mavi) için çalıştırılmıştır. GMM, bileşenleri tanımlamak için sonlu sayıda Gauss dağılımı ve maksimum olabilirlik tahmini kullanmaktadır. GMM algoritmasını kullanırken PYTHON SCIKIT-LEARN kütüphanesinden (Pedregosa ve diğ., 2011) yararlanılmıştır. Kümeleme analizi sonucu üye galaksiler $M_u - M_r \sim 1.70$ koşuluyla iki bileşene ayrılabilmiştir. Daha sonra kırmızı galaksiler $M_u - M_r > 1.70$ ve mavi galaksiler ise $M_u - M_r \leq 1.70$ olacak şekilde belirlenmiştir ve Şekil 3.13'te gösterilmektedir. Bu renk ayrımı kullanılarak her küme için mavi galaksi oranları (f_B)

Denklem 3.5’te verildiği gibi hesaplanmıştır. Literatürde mavi galaksilerin oranının (f_B), geç-tip galaksilerin oranı (f_{LTG}) yerine kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır (Pozzetti ve diğ., 2010; Cucciati ve diğ., 2010; Zhang ve diğ., 2013).

$$f_B = \frac{N_{(M_u - M_r \leq 1.7)}}{N_{GAL}} \quad (3.5)$$



Şekil 3.13: Gaussian Karışım Modeli kullanılarak $M_u - M_r$ renk dağılımındaki iki modlu yapının belirlenmesi. $M_u - M_r \sim 1.70$ ’de (yeşil düz çizgi) iki popülasyon ayrılabilir. Siyah kesikli Gauss fonksiyonu bütün renk dağılımını, kırmızı ve mavi Gauss fonksiyonları ise sırasıyla kırmızı ve mavi olarak sınıflanan popülasyonları temsil etmektedir.

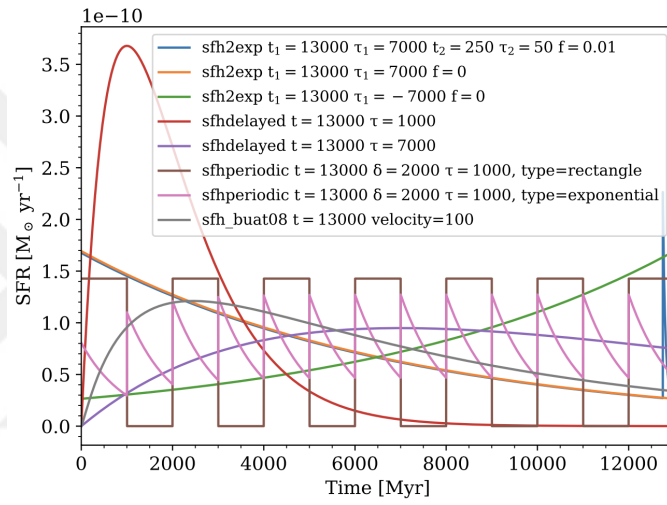
3.6. GALAKSİ KÜTLELERİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışmada kütle hesabı için literatürde sıkça kullanılan CIGALE¹⁵ (İng. Code Investigating GALaxy Emission) SED uyumlandırma kodundan (Burgarella ve diğ., 2005; Noll ve diğ., 2009; Boquien ve diğ., 2019) yararlanılmıştır. CIGALE programı PYTHON dili temelli bir programdır. CIGALE, enerji dengesi yaklaşımını, yani morötesi bölgede

¹⁵ <https://cigale.lam.fr>

soğurulan enerjinin kırmızıöte bölgede tekrar yayınlandığı varsayımını, kullanarak teorik SED modelleri üretir. Daha sonra bu teorik SED modelleri ile gözlemsel noktaları karşılaştırarak, istenilen parametreye ait bir olasılık yoğunluk fonksiyonu (İng. probability density function, PDF) hesaplar ve bu fonksiyonun tepe noktasını parametreye ait en olası değer olarak verir.

CIGALE fiziksel parametreleri tayin ederken farklı birçok yıldız oluşum geçmişi (İng. star formation history, SFH) kullanmaktadır; tek veya çift üstel azalan (İng. single, double exponentials), gecikmeli azalan veya periyodik gibi (bkz:Şekil 3.14).



Şekil 3.14: CIGALE programı bünyesindeki yıldız oluşum geçmişlerinin farklı parametrelere göre modellenmesi ve bunun sonucu olarak herhangi bir galaksiye ait belirlenen model SFR değerinin değişimi görülmektedir (Boquien ve diğ., 2019).

Literatürde galaksilerin pasif evrimi için genellikle üstel ya da gecikmeli SFH modelleri kullanılmaktadır (Lee ve diğ., 2010; Buat ve diğ., 2014; Xu ve diğ., 2020; Shi ve diğ., 2021; Boselli ve diğ., 2021). Bu tez çalışmasında Denklem 3.6’da tanımlanan gecikmeli SFH modeli kullanılmıştır.

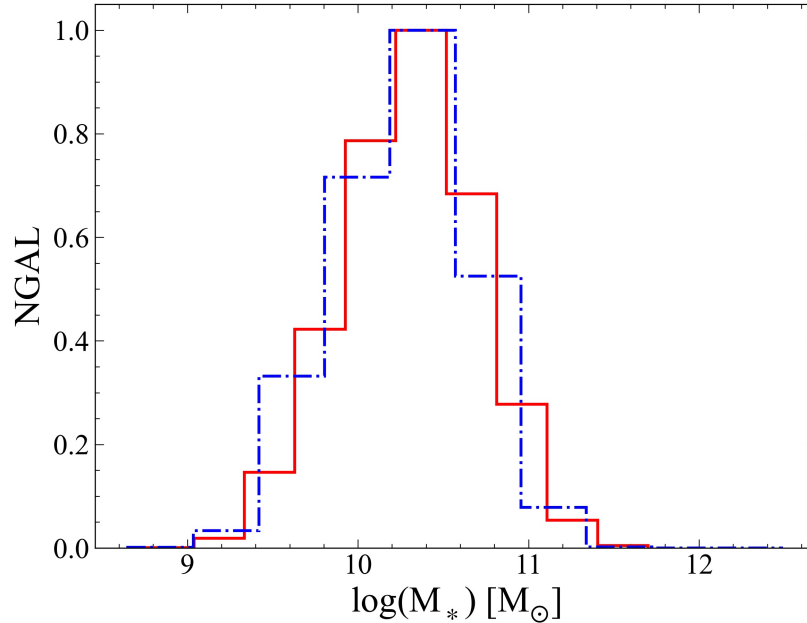
$$\text{SFR}(t) \propto \frac{t}{\tau^2} \times \exp(-t/\tau) \quad 0 \leq t \leq t_0 \quad (3.6)$$

Burada τ parametresi yıldız oluşum zaman ölçeğini temsil ederken, t_0 parametresi ise yıldız oluşumunun başladığı zamanı (diğer bir deyişle ana yıldız popülasyonunun yaşı) temsil etmektedir. Yıldız oluşum geçmişi modeline ek olarak BC03 (Bruzual ve Charlot, 2003) tekil yıldız popülasyonu ve Calzetti ve diğ. (2000) vermiş olduğu toz sönümleme yasası kullanılmıştır. Galaksilere ait kütleler hesaplanırken CIGALE programında kullanılan

parametreler aşağıdaki gibidir:

- $\tau = 0.1 - 20$ Gyr ve $t_0 = 1 - 13$ Gyr arasında değişecek şekilde gecikmeli yıldız oluşum geçmiş modeli
- Güneş metal bolluğu ve Chabrier (2003) başlangıç kütle fonksiyonu için BC03 (Bruzual ve Charlot, 2003) tekil yıldız popülasyon (İng. single stellar population, SSP) modeli
- $E(B-V) = 0.0 - 0.5$ arasında değişecek şekilde Calzetti ve diğ. (2000) toz sönümleme yasası (İng. dust attenuation law)

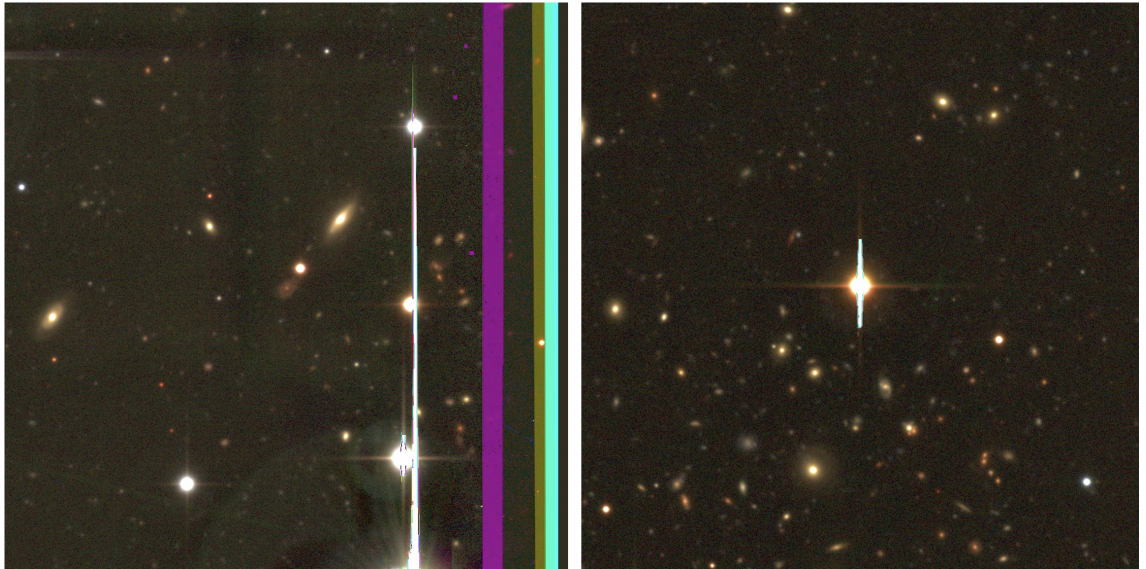
CIGALE ve benzeri SED modellerinin karşılaştırılması yöntemiyle çalışan programlar yukarıda belirtilen yıldız oluşum modelleri ile yıldızları evrimleştirerek galaksi kütlelerini belirlemektedir. Bu şekilde belirlenen kütle, galaksinin karanlık madde ağırlıklı dinamik veya toplam kütesinden ayırabilmek için yıldız kütleleri olarak adlandırılmaktadır ve M_* sembolü ile gösterilmektedir. Bir galaksinin yıldız kütleleri onun toplam kütesinden azdır ancak bu değer galaksinin kütleleri için hem bir alt limit getirmekte hem de geniş veri setiyle yapılan sistematik çalışmalar için kullanışlı olmaktadır.



Şekil 3.15: CIGALE ile hesaplanan kütle dağılımı. Burada histogramlar normalize edilmiş olup kırmızı histogram küme galaksilerine ait, mavi histogram ise alan galaksilerine ait kütle dağılımını temsil etmektedir.

Tezde incelenen bütün galaksiler için CIGALE ile hesaplanan kütle dağılımları Şekil 3.15’de verilmektedir. Buna göre küme galaksilerinin kütleleri $9 \lesssim \log(M_*/M_\odot) \lesssim 12$ aralığında dağılırken, alan galaksilerine ait kütleler ise $9 \lesssim \log(M_*/M_\odot) \lesssim 13$ aralığında yer almaktadır. Küme galaksilerinin ortalama kütlesi $\langle \log(M_*/M_\odot) \rangle \sim 10.48$, alan galaksilerinininki ise $\langle \log(M_*/M_\odot) \rangle \sim 10.44$ ’tür. Fark çok büyük olmamakla birlikte, küme galaksileri alan galaksilerine göre biraz daha fazla kütleye sahiptir.

Evrendeki en kütleli galaksiler, galaksi kümelerinin merkezlerinde bulunan parlak küme galaksileridir (İng. brightest cluster galaxies, BCGs). Bu galaksilerin tipik kütleleri $M_* \sim 2 \times 10^{11} h^{-2} M_\odot$ civarındadır (Schneider, 2015), en kütlelileri $\log(M_*/M_\odot) \sim 12$ ’ye ulaşabilmekte ve geçebilmektedir (Carroll ve Ostlie, 2007). Çalışmada saptanan tüm alan galaksilerinin kütle dağılımına bakıldığında $\log(M_*/M_\odot) > 12$ olan 17 cisim görülmektedir. Bu cisimlerin aşırı kütleleri, onların küme merkezlerinde olmaması nedeniyle, dikkatimizi çekmiştir. Bu cisimleri yakından incelediğimizde; çoğunlukla yıldız veya bozuk yapıya sahip cisimler (örneğin yıldız ve galaksi kesişmesi gibi) olduğu görülmektedir. Bu tür örneklerde cisimler SEXTRACTOR tarafından olduğundan daha parlak belirlenebilmekte ve bu da sonuçları yanıltmaktadır. Bu cisimlere ait iki örnek Şekil 3.16’da verilmektedir.



Şekil 3.16: Alan galaksi örneklemine kütlesi $\log(M_*/M_\odot) > 12$ olan iki cismin "g-r-i" birleştirilmiş görüntüleri. Soldaki görüntüde cisim W1 alanının kenar kısmında ve yıldız izlerinin (spike) içerisinde kalmaktadır. Sağ taraftaki görüntüde ise cismin aslında bir galaksi değil de merkezdeki parlak bir yıldız olduğu görülmektedir.

Galaksi yıldız kütlelerinin fotometrik verilerden ve belirli bir gökyüzü taraması dahilinde belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli konu kütle tamlık limitleridir. Kütle

tamlık limiti kullanılan veri setiyle hangi kütle aralığında sağlıklı bir analiz yapılabileceğini belirlemektedir. Tez çalışmasında CIGALE programıyla belirlediğimiz galaksi yıldız kütlelerinin tamlık limitleri Pozzetti ve diğ. (2010) çalışmasında verilen tarife göre hesaplanmıştır. Buna göre;

- Her bir kırmızıya kayma aralığı için galaksiler, i parlaklıklarına göre sönükten parlağa doğru sıralandıktan sonra ilk %20 içerisinde kalan galaksiler belirlenmiştir.
- Belirlenen bu galaksiler için Pozzetti ve diğ. (2010) çalışmasında verilen ampirik ilişki (Denklem 3.7) kullanılarak her bir kütle değerine karşılık gelen limitler hesaplanmıştır.

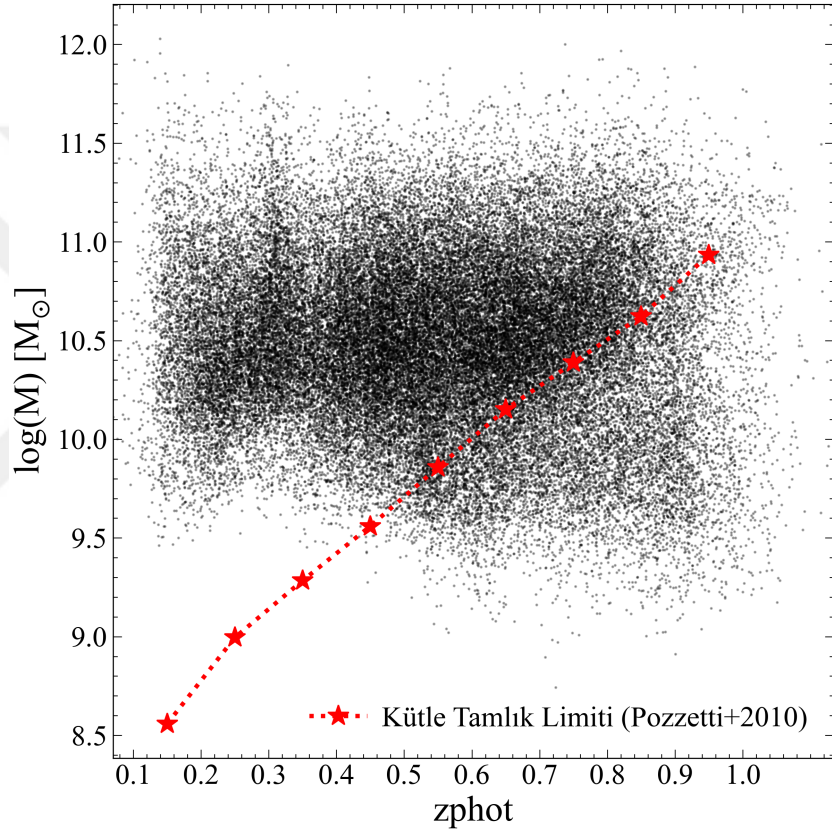
$$\log(M_{\text{lim}}) = \log(M_*) + 0.4 \times (i - i_{\text{lim}}) \quad (3.7)$$

- Elde edilen $\log(M_{\text{lim}})$ dağılımının 2σ üst limiti ($\langle \log(M_{\text{lim}}) \rangle + 2\sigma$) ilgili kırmızıya kayma aralığını temsil eden değer olarak atanmıştır.

Bu tarife göre hesaplanan kütle tamlık limitleri, $0.1 < z < 1.0$ aralığı için $\Delta z = 0.3$ 'lük adımlarla Tablo 3.2'de verilmektedir. Tamlık değerlerinin kırmızıya kayma ile değişimi ise Şekil 3.17'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2: Farklı kırmızıya kayma aralıkları için Pozzetti ve diğ. (2010) çalışmasında verilen tarif kullanılarak elde edilen kütle tamlık limitleri.

z_{bin}	$\log(M_{\text{lim}}) [M_{\odot}]$
$0.1 < z \leq 0.4$	8.9
$0.4 < z \leq 0.7$	9.9
$0.7 < z \leq 1.0$	10.7



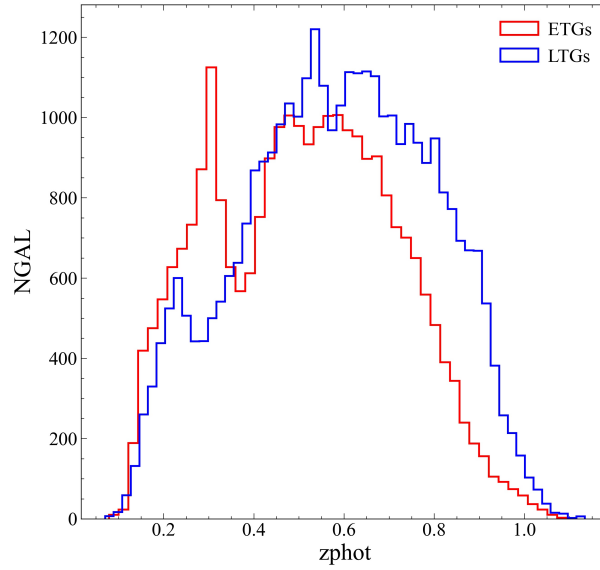
Şekil 3.17: Küme galaksilerine ait kütlelerin fotometrik kırmızıya kaymaya bağlı değişimi (siyah noktalar). Kırmızı yıldızlar Pozzetti ve diğ., (2010) verdiği farklı kırmızıya kaymalardaki kütle tamlık limitlerini temsil etmektedir.

4. BULGULAR

4.1. GALAKSİ POPÜLASYONLARI

4.1.1. TAYFSAL TÜRLERİNE GÖRE

LEPHARE programı çıktı olarak ilgili galaksiye ait en uygun SED modelinin karşılık geldiği tayfsal tipini vermektedir. Bu tayfsal tipler kullanılarak galaksiler erken-tip ve geç-tip olarak sınıflandırılabilirler. Çalışmada incelediğimiz 60606 üye galaksinin 26189'sı erken-tip ve 34417'si ise geç-tip olarak belirlenmiştir. Alan galaksilerinden (toplam 207423 alan galaksi) 62878'i erken-tip, geriye kalan 144545'i ise geç-tip galaksi olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.1: Üye galaksilerin kırmızıya kayma (z_{phot}) dağılımları. Kırmızı ve mavi renkli histogramlar sırasıyla LEPHARE tiplerine göre erken-tip ve geç-tip galaksileri göstermektedir.

Şekil 4.1’de erken-tip ve geç-tip olarak sınıflanan galaksilerin kırmızıya kayma dağılımları verilmiştir. Erken-tip galaksilerin ortalama kırmızıya kayması 0.512 iken geç-tip galaksilerin ise 0.584’dir. Galaksilere ait renk dağılımları ele alındığında, küme üyesi erken-tip galaksilerin ortalama $M_u - M_r$ rengi ~ 1.92 , üye geç-tip galaksilerin ortalama $M_u - M_r$ rengi

~ 1.21 iken alanda bulunan erken-tip ve geç-tip galaksilerin ortalama $M_u - M_r$ rengi sırasıyla ~ 1.91 ve ~ 1.16 'dır. Tablo 4.1'de küme ve alanda bulunan erken-tip ve geç-tip galaksilere ait bazı ortalama değerler verilmiştir.

Tablo 4.1: LEPHARE tiplerine göre erken-tip ve geç-tip olarak sınıflandırılan küme ve alan galaksilerinin bazı temel parametrelerine ait ortalama değerler.

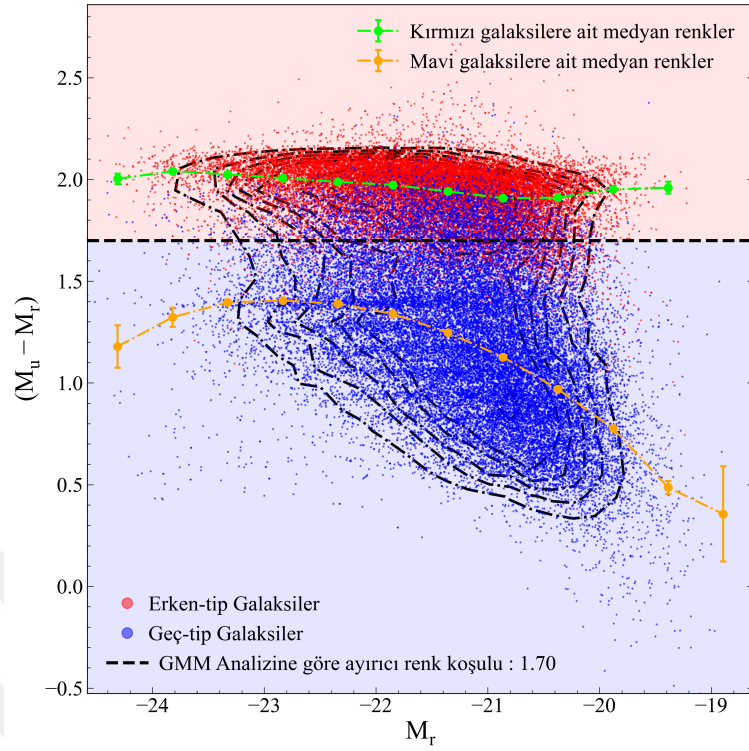
	Küme		Alan	
	ETGs	LTGs	ETGs	LTGs
NGAL	26189	34417	62878	144545
$\langle z_{\text{phot}} \rangle$	0.512	0.584	0.523	0.591
$\langle M_u - M_r \rangle$	1.92	1.21	1.91	1.16
$\langle M_r \rangle$	-21.54	-21.21	-21.66	-21.29

4.1.2. RENK AYRIMINA GÖRE

Bölüm 3.5'te verildiği gibi galaksiler, doğaları gereği iki modlu bir renk dağılımı göstermektedir. Renk dağılımındaki bu iki modlu yapı, bu çalışmada kullanılan galaksilerde de görülmüş ve GMM yöntemi ile iki popülasyonun $M_u - M_r \sim 1.70$ 'de ayrılabilceği belirlenmiştir (Şekil 3.13). Şekil 4.2'de galaksilerin LEPHARE ile belirlenen tayfsal türlerinin renk - kadir diyagramında nasıl dağıldığı görülmektedir.

Şekilde $M_u - M_r \sim 1.70$ 'de görülen yatay kesikli çizgi GMM yöntemiyle belirlenen ayırım kriterini göstermektedir. Tayfsal türü erken tip olan galaksilerin bazılarının mavi renkli bölümde ve benzer şekilde bazı geç tip galaksilerin de kırmızı bölümde olduğu görülmektedir. Bir miktar karışım olmakla birlikte iki yöntemin de oldukça tutarlı biçimde galaksileri iki sınıfa ayırabildiği görülmüştür.

Tablo 4.2'de bu iki popülasyona ait istatistikler verilmektedir. Ayrıma göre küme galaksilerinin 27535'i kırmızı, 330711'i mavi galaksi olarak sınıflandırılmıştır. LEPHARE'a göre erken-tip galaksi olarak sınıflandırılan galaksilerin %89'u kırmızı, %11'i mavi galaksi olarak sınıflandırılırken, LEPHARE tayfsal türüne göre geç-tip galaksi olarak sınıflandırılan galaksilerin %12'si kırmızı, %88'i ise mavi galaksi olarak sınıflandırılmıştır. Her durumda iki yöntem en az %88 oranında tutarlı sonuç vermiştir.



Şekil 4.2: Zenginliği 15'ten büyük olan kümelerle ait üye galaksilerin (60606 galaksi) renk-kadir diyagramı. Burada kesikli yatay çizgi GMM analizi sonucunda elde edilen renk ayırımı göstermektedir. Kırmızı ve mavi noktalar sırasıyla LEPHARE tiplerine göre erken ve geç-tip galaksileri göstermektedir. Kırmızı ve mavi boyalı alanlar, GMM sonucu belirlenen ayırma göre kırmızı ve mavi galaksileri temsil etmektedir. Yeşil ve sarı noktalar ise renge göre kırmızı ve mavi olarak sınıflandırılan galaksilerin mutlak parlaklık adımlarına göre ortalama renklerini temsil etmektedir.

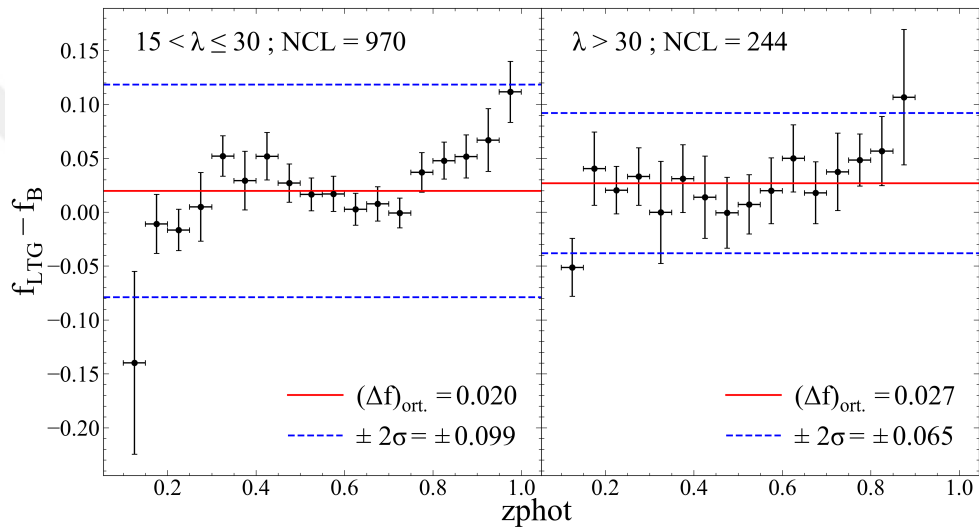
Tablo 4.2: GMM analizine göre belirlenen kırmızı ve mavi galaksi popülasyonuna ait $M_u - M_r$ istatistikleri.

		$(M_u - M_r)$				
		NGAL	ort.	std.sapma	min.	maks.
Küme	Kırmızı Galaksiler	27535	1.94	0.12	1.70	2.70
	Mavi Galaksiler	33071	1.16	0.34	-0.53	1.70
Alan	Kırmızı Galaksiler	67245	1.93	0.13	1.70	6.2
	Mavi Galaksiler	140178	1.12	0.33	-1.58	1.70

Alan galaksilerini ele aldığımızda, 67245 galaksi kırmızı ve geriye kalan 140178 galaksi ise mavi galaksi olarak sınıflandırılmıştır. Benzer biçimde, LEPHARE'a göre erken-tip galaksi olarak sınıflandırılan galaksilerin %88'i kırmızı, %12'si mavi galaksi olarak sınıflandırılırken, LEPHARE'a göre geç-tip galaksi olarak sınıflandırılan galaksilerin %8'i kırmızı, %92'si ise mavi galaksi olarak sınıflandırılmıştır. Hem küme hem de alan örnekleme

elde edilen sonuçlar iki yöntemde de uyumludur. Literatürde de (Pozzetti ve diğ. 2010; Cucciati ve diğ. 2010) bu iki popülasyon tanımının karşılaştırıldığı çalışmalar iki tanımın da uyumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Şekil 4.3'te renk ayırımına göre hesaplanan mavi galaksi oranları ile LEPHARE'a göre belirlenen geç-tip galaksi oranlarının farkı, fakir ve zengin kümeler için karşılaştırılmıştır. İki grup galaksi kümesinde de oranların farkı genel olarak %10'dan daha azdır; ancak zengin kümelerde iki oran arasındaki saçılma daha küçüktür ve çalışmamızda ele alınan kırmızıya kayma aralığı boyunca çok değişmemektedir.



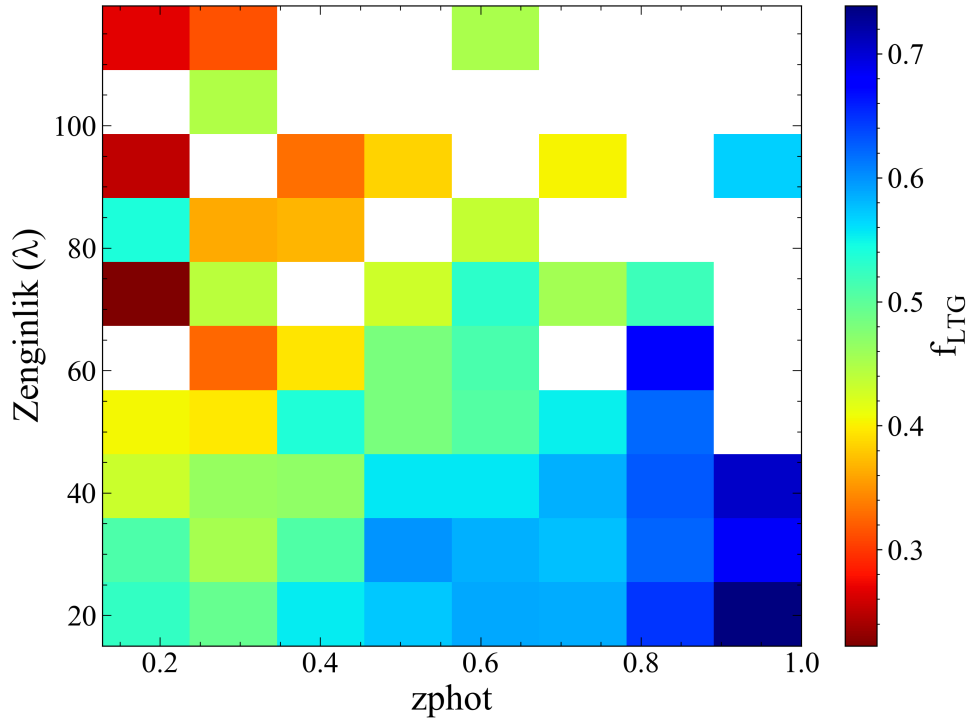
Şekil 4.3: Geç-tip galaksi oranıyla (f_{LTG}) mavi galaksi oranının (f_B) farkının kırmızıya kaymaya göre değişimi. Soldaki grafik fakir kümeleri, sağdaki grafik ise zengin kümeleri göstermektedir. Kırmızı çizgi farkların ortalamasını, mavi kesikli çizgiler de 2σ genişliğini göstermektedir.

4.2. GEÇ-TİP GALAKSİ ORANININ KIRMIZIYA KAYMAYA BAĞLI DEĞİŞİMİ

Galaksi evrimi çalışmalarına ait en önemli gözlemlerden bir tanesi Butcher-Oemler etkisidir. Butcher ve Oemler (1984) yaptıkları çalışma ile büyük kırmızıya kaymalardaki galaksi kümelerinde görülen mavi galaksi oranının daha fazla olduğunu söylemişlerdir.

Bu tez çalışmasında hesaplanan geç-tip galaksi oranlarında da Butcher-Oemler etkisi görülmüş ve Şekil 4.4'te sunulmaktadır. Şekil 4.4 geç-tip galaksi oranındaki değişimi hem kümelerin kırmızıya kaymasına hem de kümelerin zenginliğine bağlı olarak göstermektedir. İki boyutlu histogram olarak verilen grafikte renklendirme geç-tip galaksi oranını

yansıtmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere küme zenginliğinden bağımsız olarak, geç-tip galaksi oranının kırmızıya kayma ile arttığı görülmektedir ve bu sonuç Butcher-Oemler etkisi ile uyumludur. Bunun yanında verilen bir kırmızıya kayma için, küme zenginliği arttıkça geç-tip galaksi oranının azaldığı görülmektedir. Bu sonuç galaksi evriminin diğer bir önemli özelliği olan morfoloji-yoğunluk ilişkisinin (Dressler, 1980) bir sonucudur.



Şekil 4.4: Zenginliği 15’ten büyük ($\lambda > 15$) kümelere ait geç-tip galaksi oranının kırmızıya kayma ve zenginliğe bağlı değişimi. Renklendirme geç-tip galaksi oranını yansıtmakta ve mavileştikçe geç-tip galaksi oranının arttığını göstermektedir.

Ortam yoğunluğunun geç-tip galaksi oranının evrimi üzerindeki etkisini inceleyebilmek için küme örneklemimiz $15 < \lambda \leq 30$ (fakir) ve $\lambda > 30$ (zengin) olacak şekilde iki gruba ayrılmıştır. Fakir (daha az zengin) küme olarak tanımlanan kümelerin sayısı 970, zengin kümelerin sayısı ise 246’dır.

Tablo 4.3’te fakir ve zengin kümelerdeki geç-tip galaksi oranlarına ait istatistiksel değerler $\Delta z = 0.05$ ’lik kırmızıya kayma adımları için verilmektedir. Tabloda her bir kırmızıya kayma aralığındaki küme ve o kümelerdeki toplam galaksi sayıları, ortalama f_{LTG} değerleri ve bu ortalamalar üzerindeki standart hatalar verilmektedir.

Tablo 4.3: Fakir ($15 < \lambda \leq 30$) ve zengin ($\lambda > 30$) kümeler için R_{200} içerisinde kalan üyeler kullanılarak $\Delta z = 0.05$ kırmızıya kayma adımları için hesaplanan geç-tip galaksi oranları. Her bir kırmızıya kayma adımı için merkezi kırmızıya kayma değeri, küme (NCL) ve galaksi (NGAL) sayıları, ortalama f_{LTG} değerleri, standart sapma ve standart hataları verilmektedir.

z_{bin}	z_{merkez}	$15 < \lambda \leq 30$					$\lambda > 30$				
		NCL	NGAL	$\langle f_{\text{LTG}} \rangle$	σ	SE	NCL	NGAL	$\langle f_{\text{LTG}} \rangle$	σ	SE
$0.10 < z \leq 0.15$	0.125	4	146	0.487	0.118	0.059	1	54	0.574	0.000	0.000
$0.15 < z \leq 0.20$	0.175	31	1131	0.539	0.115	0.021	13	929	0.403	0.068	0.019
$0.20 < z \leq 0.25$	0.225	39	1438	0.507	0.082	0.013	21	1621	0.492	0.124	0.027
$0.25 < z \leq 0.30$	0.275	33	1340	0.463	0.128	0.022	15	1195	0.379	0.070	0.018
$0.30 < z \leq 0.35$	0.325	59	2310	0.502	0.106	0.014	25	2090	0.442	0.105	0.021
$0.35 < z \leq 0.40$	0.375	32	1313	0.516	0.123	0.022	11	881	0.442	0.113	0.034
$0.40 < z \leq 0.45$	0.425	66	2668	0.579	0.130	0.016	24	2130	0.511	0.105	0.021
$0.45 < z \leq 0.50$	0.475	86	3300	0.577	0.117	0.013	18	1364	0.514	0.122	0.029
$0.50 < z \leq 0.55$	0.525	90	3656	0.568	0.101	0.011	19	1553	0.538	0.109	0.025
$0.55 < z \leq 0.60$	0.575	75	3122	0.585	0.110	0.013	15	1344	0.525	0.076	0.020
$0.60 < z \leq 0.65$	0.625	100	4195	0.583	0.112	0.011	20	1608	0.570	0.107	0.024
$0.65 < z \leq 0.70$	0.675	74	3119	0.589	0.096	0.011	14	1182	0.581	0.085	0.023
$0.70 < z \leq 0.75$	0.725	96	4174	0.600	0.097	0.010	17	1309	0.592	0.071	0.017
$0.75 < z \leq 0.80$	0.775	49	2131	0.626	0.089	0.013	8	590	0.556	0.066	0.023
$0.80 < z \leq 0.85$	0.825	57	2572	0.710	0.087	0.012	14	1339	0.643	0.060	0.016
$0.85 < z \leq 0.90$	0.875	53	2554	0.742	0.101	0.014	5	451	0.707	0.056	0.025
$0.90 < z \leq 0.95$	0.925	23	1169	0.732	0.095	0.020	5	372	0.643	0.105	0.047
$0.95 < z \leq 1.00$	0.975	3	172	0.856	0.045	0.026	1	84	0.619	0.000	0.000

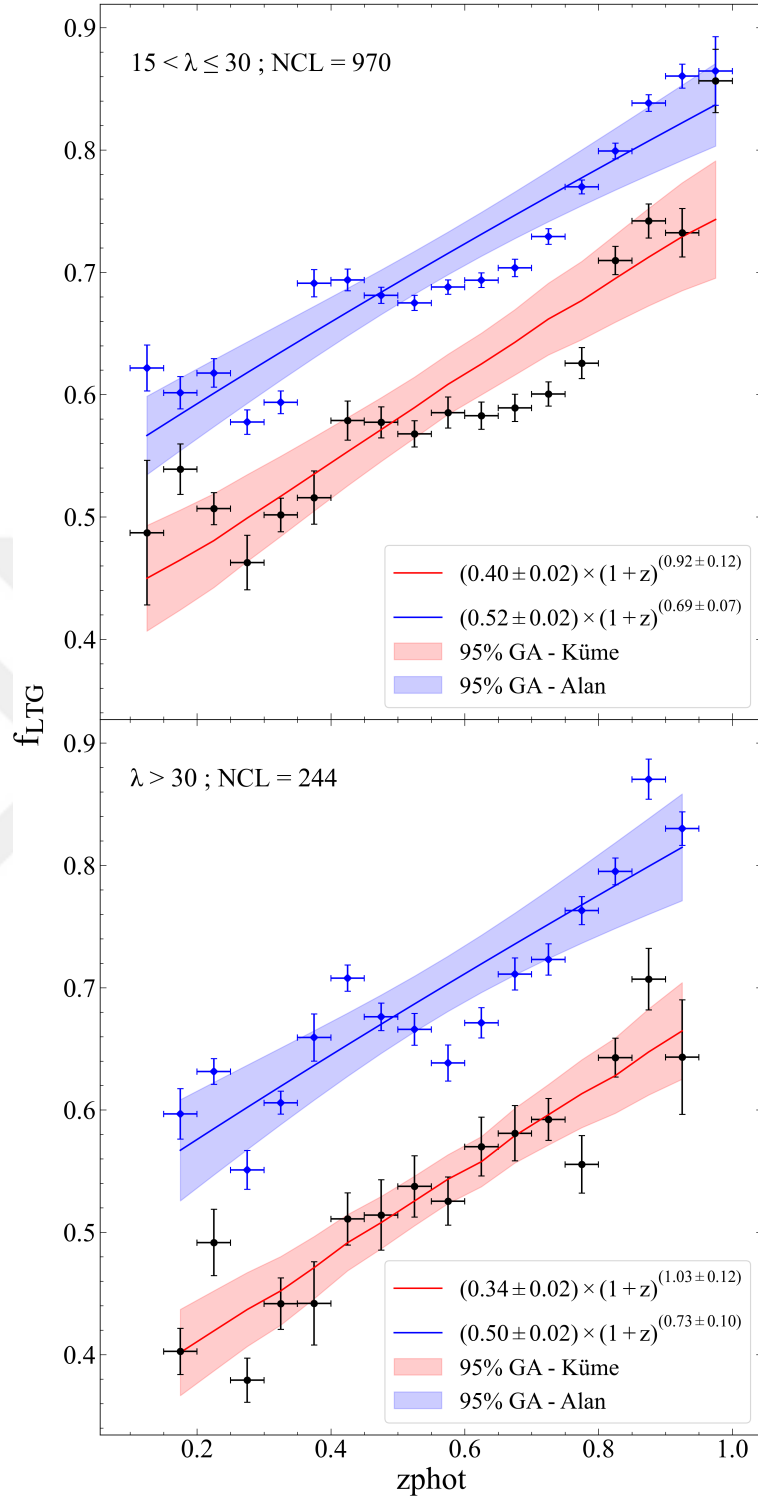
Şekil 4.5'te ise Tablo 4.3'teki değerler kullanılarak elde edilen geç-tip galaksi oranının evrimi gösterilmektedir. Şekilde üst panel 970 fakir kümeye ait sonuçları, alt panel ise 244 zengin kümeye ait sonuçları göstermektedir. Her bir panelde küme üyesi galaksilerdeki f_{LTG} oranı alan galaksilerindeki f_{LTG} oranıyla karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Küme ve alana ait değişimler $f_{\text{LTG}} = \alpha \times (1+z)^n$ üstel fonksiyonu ile temsil edilmekte olup, her bir değişim için en iyi fit parametreleri Tablo 4.4'deki verilmektedir.

Tablo 4.4: f_{LTG} 'nin kırmızıya kayma ile evrimine (Şekil 4.5) uygulanan üstel fonksiyon fitlerinin katsayıları.

		Küme	Alan
$15 < \lambda \leq 30$	α	0.40 ± 0.02	0.52 ± 0.02
	n	0.92 ± 0.12	0.69 ± 0.07
$\lambda > 30$	α	0.34 ± 0.02	0.50 ± 0.02
	n	1.03 ± 0.12	0.73 ± 0.10

Zengin küme örnekleminde, ilk ve son kırmızıya kayma aralıklarında birer galaksi kümesi olması nedeniyle, bu aralıklar üstel fonksiyonla fit uygulanırken dikkate alınmamıştır. Bu nedenle üstel fonksiyon sonuçları zengin kümelerde 244 küme üzerinden elde edilmiştir.

Fakir ve zengin kümelere ait ortalama geç-tip galaksi oranlarına bakıldığında aralarında $\Delta f_{\text{LTG}} \sim 0.1$ kadarlık bir fark olduğu görülmektedir. Bu fark, zengin kümelerin fakir kümelere göre daha yoğun olması nedeniyle geç-tip galaksilerin daha önce (erken epoklarda) erken-tip galaksilere dönüşmüş olmaları ile açıklanabilir. Bu süreç, Dressler (1980) tarafından ortaya konan morfoloji-yoğunluk ilişkisinin bir sonucudur.

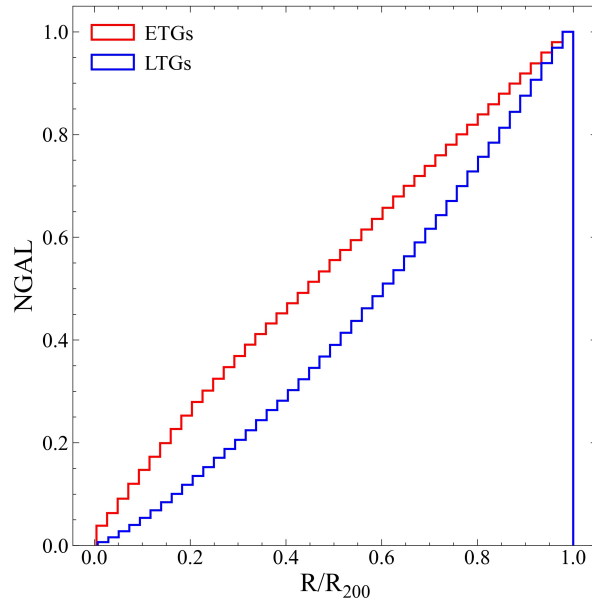


Şekil 4.5: Fakir (üst panel) ve zengin (alt panel) kümeler için f_{LTG} evrimi. Siyah ve mavi noktalar sırasıyla kümelerdeki ve o kümelerin çevresindeki alandaki f_{LTG} değerlerini temsil etmektedir. Her iki zenginlik sınıfı için kırmızı ve mavi çizgiler sırasıyla küme ve o kümelerin çevresindeki alana ait geç-tip galaksi oranlarına en iyi uyan fitleri göstermektedir. Kırmızı ve mavi boyalı alanlar ise fitlere ait %95 güven aralığını göstermektedir. Her iki grafik için dikey hata çubukları f_{LTG} 'ye ait standart hataları, yatay hata çubukları ise kırmızıya kayma aralıklarının genişliğini temsil etmektedir.

4.3. GEÇ-TİP GALAKSİ ORANININ YARIÇAPA BAĞLI DEĞİŞİMİ

Galaksi kümelerindeki yoğunluk kümenin merkezine doğru gittikçe artmaktadır. Dolayısıyla, morfoloji-yoğunluk ilişkisine göre kümenin merkezi bölgelerinde erken-tip galaksilerin daha baskın olması beklenir. Şekil 2.5'te gösterilen R_{2500} içinde kalan merkezi bölgede kümenin en parlak galaksisi (BCG) başta olmak üzere erken-tip galaksiler bulunmaktadır.

Çalışmamızdaki kümelere ait bütün üye galaksiler dikkate alındığında, erken-tip galaksilerin geç-tiplere göre daha küçük R/R_{200} 'lerde toplandıkları görülmektedir. Şekil 4.6'da erken ve geç-tip galaksilerin birikimli R/R_{200} dağılımı verilmektedir.



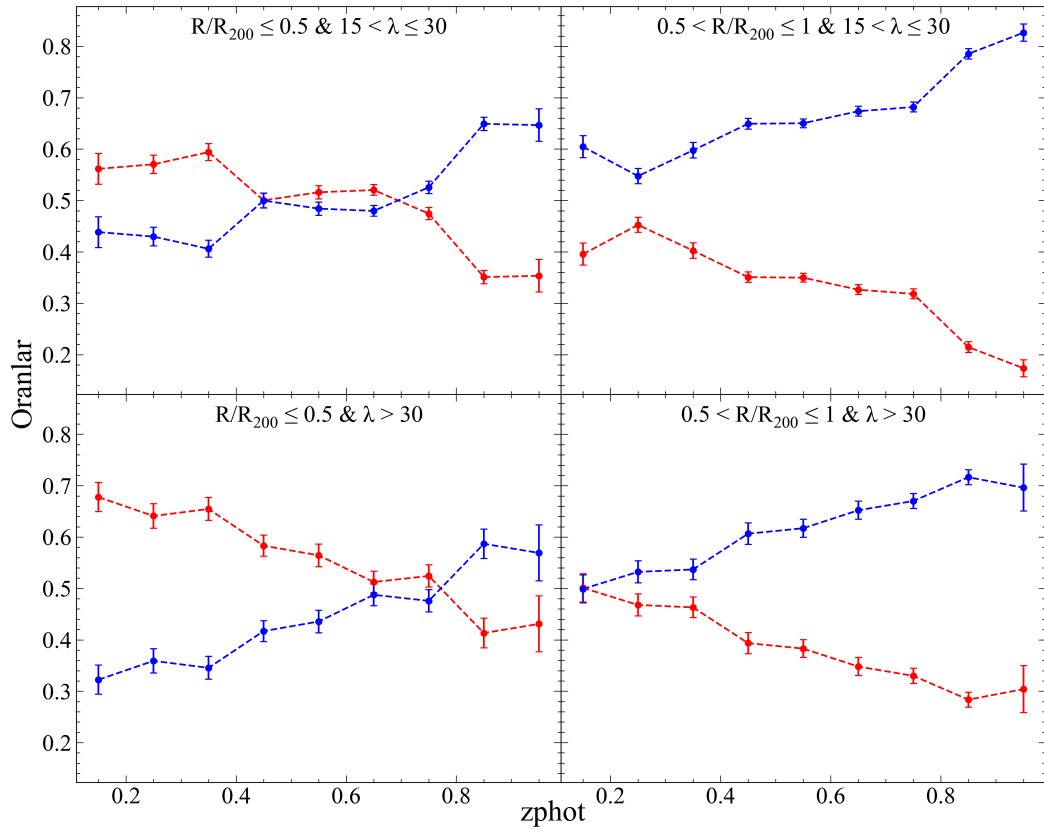
Şekil 4.6: Erken ve geç-tip galaksilerin R_{200} cinsinden küme merkezine uzaklıklarının birikimli dağılımı. Kırmızı çizgi erken tipleri, mavi çizgi geç tipleri temsil etmektedir.

Geç-tip galaksi oranının küme içindeki yoğunluğa bağlılığını ortaya koyabilmek için çalışmamızdaki kümeler, merkezi bölge ($R/R_{200} \leq 0.5$) ve dış kısımlar ($0.5 < R/R_{200} \leq 1.0$) olmak üzere iki yarıçap aralığında incelenmiştir. Şekil 4.7'de kümelerdeki erken ve geç-tip galaksi oranlarının kırmızıya kayma ile değişimi hem iki farklı küme zenginliği (fakir-zengin) hem de iki yarıçap aralığı için gösterilmektedir.

Şekil 4.7 incelendiğinde, zengin kümelerin merkezi bölgeleri fakir kümelerle göre daha erken epoklardan itibaren erken-tip galaksilerle baskın olmaktadır (sol-alt). Bu durum fakir kümelerde daha az belirgindir; bu kümelerde de merkezi bölgelerde erken-tip galaksi oranı

daha fazladır ancak bu fark zengin kümelerle göre çok daha azdır. Ayrıca, zengin kümelerde erken-tip galaksi oranındaki artış daha belirgindir ve monoton biçimde artmaktadır.

Kümelerin dış kısımları ele alındığında; fakir kümelerde azalan kırmızıya kayma ile geç-tip galaksi oranı azalsa da her kırmızıya kayma için geç-tip galaksilerin oranı daha fazla olmaktadır. Zengin kümelerde ise azalan kırmızıya kayma ile geç ve erken-tip galaksi oranları ancak eşitlenmektedir. Bu sonuçlar, küme merkezine $0.5 \times R_{200}$ 'den daha yakın ve uzak kısımlarda ortam yoğunluğunun önemli bir fark yarattığını göstermekte ve morfoloji-yoğunluk ilişkisini desteklemektedir.



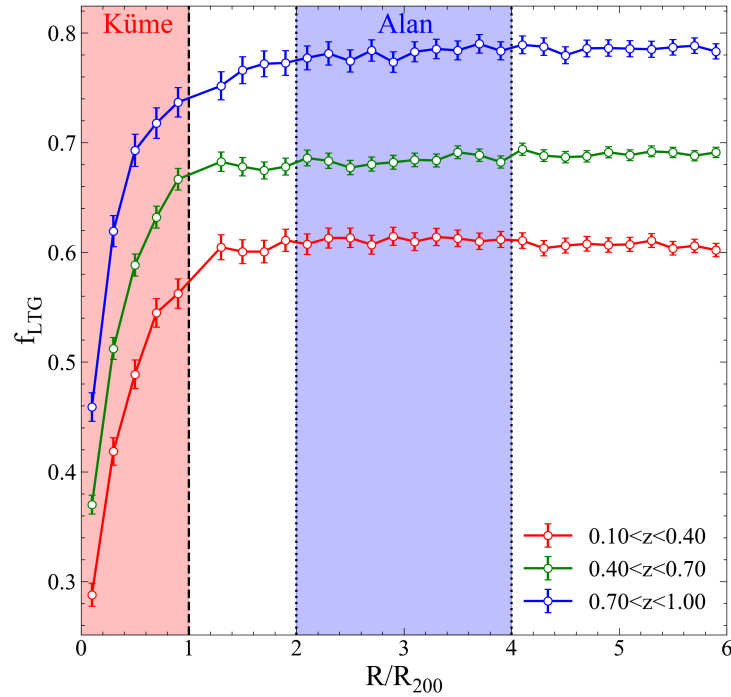
Şekil 4.7: Küme üyesi erken ve geç-tip galaksi oranlarının iki farklı zenginlik ve yarıçap aralığı için kırmızıya kayma ile değişimi. Kırmızı ve mavi noktalar sırasıyla erken ve geç-tip galaksileri temsil etmektedir. Üst panelde fakir ($15 < \lambda \leq 30$) kümeler, alt panelde ise zengin ($\lambda > 30$) kümeler gösterilirken, grafiğin solunda ve sağında sırasıyla kümenin merkezi bölge ($R/R_{200} \leq 0.5$) ve kümenin dış kısımlarındaki ($0.5 < R/R_{200} \leq 1.0$) değişim gösterilmektedir.

Şekil 4.5 ve 4.7’de küme üyesi ile alan galaksilerini ve kümenin merkezi ile dış kısımlarını karşılaştırarak ortamın galaksi evrimine etkisi gösterilmiştir. Şekil 4.8’de daha geniş bir yarıçap aralığı ($0 < R/R_{200} \leq 6$) için geç-tip galaksi oranındaki değişim üç farklı kırmızıya

kayma aralığı için gösterilmektedir. Şekilde f_{LTG} her üç kırmızıya kayma aralığı için $2 \times R_{200}$ 'e kadar bir artış gösterse de, $R/R_{200} > 2$ için neredeyse sabit kalmaktadır. Bölüm 3.3'te verildiği gibi alan galaksi örneklemimiz $2-4 R_{200}$ aralığından oluşturulmuştur ve bu aralıkta alan galaksilerinde f_{LTG} 'de dikkate değer bir değişim görülmemektedir. Bu da, alan örneklemimizin güvenilir ve karşılaştırılabilir olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.8'de farklı kırmızıya kayma aralıkları için f_{LTG} değerlerinde farklar görülmektedir. Şekildeki en yüksek kırmızıya kayma aralığı olan $0.7 < z < 1.0$ aralığında f_{LTG} değeri en yüksektir ki bu tam olarak Butcher ve Oemler (1984) tarafından gösterilen duruma karşılık gelmektedir. Bu bulguyla uyumlu olarak, düşük kırmızıya kaymalara doğru f_{LTG} değerinde sistematik bir azalma görülmektedir.

Bunun yanında, $R \leq 1 \times R_{200}$ için f_{LTG} değerinde görülen oldukça dik değişim ortamın galaksi evrimine etkisini yani morfoloji-yoğunluk ilişkisini (Dressler, 1980) göstermektedir.

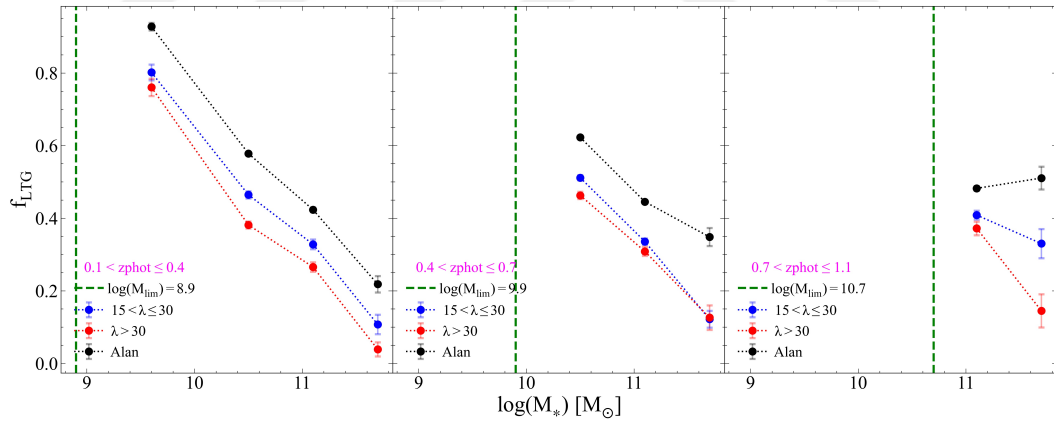


Şekil 4.8: Geç-tip galaksi oranının normalize küme merkezli yarıçapa (R/R_{200}) bağlı değişimi. Farklı renkli noktalar ve çizgiler farklı kırmızıya kayma aralıklarını temsil etmektedir: kırmızı düşük, yeşil orta ve mavi yüksek kırmızıya kayma aralığı olacak şekilde. Şekilde kırmızı ve mavi boyalı alanlar sırasıyla küme üyelerinin ($R \leq R_{200}$) ve alan galaksilerinin ($2-4 R_{200}$) belirlendiği bölgeleri göstermektedir.

4.4. GEÇ-TİP GALAKSİ ORANININ KÜTLEYE BAĞLI DEĞİŞİMİ

Bölüm 2.3.3'te belirtildiği gibi galaksi evrimine doğrudan etkiyen başka bir faktör ise galaksinin kütlesidir. Küme ve alan galaksilerine ait kütleler Bölüm 3.6'da anlatıldığı gibi CIGALE programı ile belirlenmiştir.

Geç-tip galaksi oranının kütleye bağlı değişimini inceleyebilmek için galaksiler, $9.0 < \log(M_*) \leq 10.2$, $10.2 < \log(M_*) \leq 10.8$, $10.8 < \log(M_*) \leq 11.4$, $11.4 < \log(M_*) \leq 12.0$ kütle aralıklarında ve üç farklı epokta ele alınmıştır. Her bir kırmızıya kayma adımı için kütle aralıkları, kütle tamlık limitinden, $\log(M_{\text{lim}})$, itibaren oluşturulmuştur. En düşük kütle aralığının geniş tutulmasının sebebi, özellikle $z < 0.5$ için kütlesi $\log(M_*) < 9.6$ 'dan küçük çok az galaksi olduğundan düşük kütle değerlerinde istatistikimizi güçlendirmektir (Şekil 3.17). Farklı ortamlardaki durumu ele almak için küme galaksileri, üyesi oldukları kümeden bağımsız fakat küme zenginliğine bağlı bir şekilde bir araya (İng. stacked) toplanarak, her bir kütle aralığı için geç-tip galaksi oranı hesaplanmıştır. Elde edilen geç-tip galaksi oranlarına ait hatalar Poisson istatistiği ile belirlenmiştir.

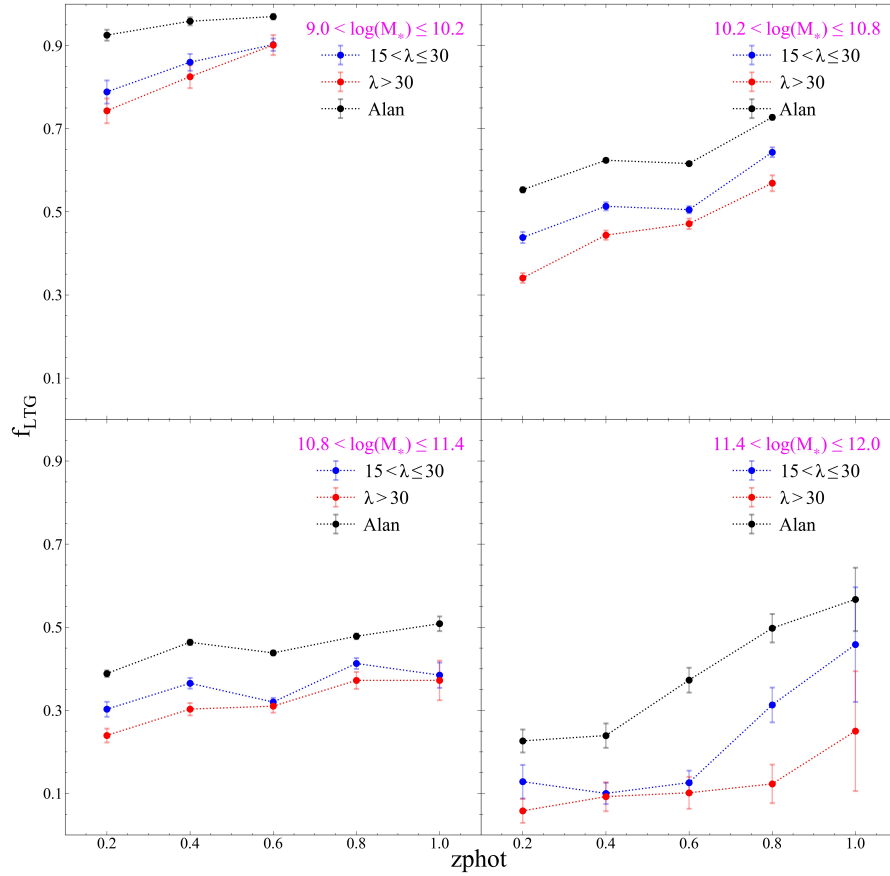


Şekil 4.9: Farklı kırmızıya kayma aralıkları için geç-tip galaksi oranının kütleye bağlı değişimi. Kırmızı, mavi ve siyah noktalar sırasıyla zengin kümelerdeki, fakir kümelerdeki ve alandaki geç-tip galaksi oranını temsil etmektedir. Dikey yeşil kesikli çizgi ise kütle tamlık limitlerini göstermektedir. f_{LTG} için verilen hatalar Poisson istatistiği ile belirlenmiştir.

Şekil 4.9'da geç-tip galaksi oranının kütleye bağlı değişimi incelenmiştir ve değerler Tablo 4.5'te verilmektedir. Tüm kırmızıya kayma aralıkları için yüksek kütle değerlerine doğru gidildikçe geç-tip galaksi oranı dikkate değer bir biçimde azalmaktadır. Burada ortamın etkisi ortalama geç-tip galaksi oranları arasındaki fark olarak görülmektedir. Belirli bir kütle değeri ele alındığında fakir kümelerdeki ortalama f_{LTG} alandakinden, zengin kümelerdeki

f_{LTG} ise fakir kümelerdekinden daha düşüktür.

Şekil 4.10'da ise farklı kütle aralıkları için geç-tip galaksi oranının kırmızıya kaymaya bağlı değişimine bakılmıştır. Ortamdan bağımsız olarak her kütle aralığı için geç-tip galaksi oranının artan kırmızıya kayma ile arttığı görülmektedir. Kümelerdeki duruma bakıldığında, düşük kütle değerlerinde, $\log(M_*) < 10.8$, geç-tip galaksi oranındaki değişim yüksek kütlelere göre daha belirgindir. Diğer yandan kütlesi $\log(M_*) > 11.4$ olan galaksilerin büyük bir kısmı erken-tip galaksidir. Bu sonuç, yüksek kütleli galaksilerin yıldızlarını çok erken epoklarda hızlı bir şekilde oluşturdukları ve yerel evrendeki yıldız oluşumunun orta ve düşük kütleli galaksilerde olduğunu belirten 'küçülme etkisi' (İng. downsizing effect) senaryosunu (Cowie ve diğ., 1996) desteklemektedir.



Şekil 4.10: Farklı kütle aralıkları için geç-tip galaksi oranının kırmızıya kaymaya bağlı değişimi. Kırmızı, mavi ve siyah noktalar sırasıyla zengin kümelerdeki, fakir kümelerdeki ve alandaki geç-tip galaksi oranını temsil etmektedir. Burada belirtilen hatalar Poisson istatistiği ile belirlenmiştir.

Tablo 4.5: Şekil 4.9'da gösterilen ilişkiye ait değerler verilmektedir.

		$9.0 < \log(M_*) \leq 10.2$	$10.2 < \log(M_*) \leq 10.8$	$10.8 < \log(M_*) \leq 11.4$	$11.4 < \log(M_*) \leq 12.0$
$0.1 < z \leq 0.4$	Fakir	0.802 ± 0.022	0.464 ± 0.010	0.328 ± 0.013	0.107 ± 0.027
	Zengin	0.760 ± 0.024	0.381 ± 0.010	0.265 ± 0.013	0.039 ± 0.019
	Alan	0.928 ± 0.010	0.578 ± 0.005	0.423 ± 0.006	0.218 ± 0.022
$0.4 < z \leq 0.7$	Fakir	-	0.511 ± 0.097	0.336 ± 0.009	0.122 ± 0.023
	Zengin	-	0.463 ± 0.010	0.308 ± 0.013	0.126 ± 0.034
	Alan	-	0.623 ± 0.003	0.445 ± 0.005	0.348 ± 0.025
$0.7 < z \leq 1.1$	Fakir	-	-	0.408 ± 0.012	0.330 ± 0.040
	Zengin	-	-	0.372 ± 0.019	0.145 ± 0.046
	Alan	-	-	0.482 ± 0.006	0.511 ± 0.031

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ortamın galaksi evrimi üzerindeki etkisinin incelenebilmesi açısından galaksi kümeleri bulunmaz bir laboratuvar olmaktadır. Bu tez çalışmasında CFHTLS gökyüzü taramasının W1 alanında belirlenen galaksi kümelerindeki galaksi popülasyonlarının evrimi incelenmiştir. Çalışmada incelenen kümeler Nice Gözlemevi'nden Dr. Christophe Benoist tarafından geliştirilen WaZP küme bulma algoritması ile belirlenmiştir (Aguena ve diğ. 2021; Euclid Collaboration, 2019).

Sinyal-gürültü oranı $SNR > 3$ ve zenginlik (λ) > 15 koşullarını sağlayan 1216 galaksi kümesi ve bu kümelerin $1 \times R_{200}$ yarıçapı içindeki toplam 60606 üye galaksi incelenmiştir.

Butcher ve Oemler (1978, 1984) tarafından gösterilen yüksek kırmızıya kaymadaki galaksi kümelerinde daha fazla mavi galaksi görülmesi, tez çalışmasında kullanılan 1216 galaksi kümesi ile incelenmiştir. Bu inceleme temel olarak galaksi kümelerindeki geç-tip galaksi oranlarının (f_{LTG}) belirlenmesine dayanmaktadır. Bunun yanında, belirlediğimiz f_{LTG} değerleri, bir referans olarak alan galaksilerindeki f_{LTG} ile karşılaştırılmıştır. 1216 kümenin çevresinde $2-4 R_{200}$ yarıçapı aralığında bulunan toplam 207423 alan galaksisi kullanılmıştır. Hem küme üyesi galaksiler hem de alan galaksileri, yanlılık oluşmaması için galaksi ışınımgücü fonksiyonunun karakteristik değeri $m_1^* + 1.5$ parlaklık limiti ile belirlenmiştir.

Böylece bu tez çalışmasında, küme üyesi ve alan galaksileri olmak üzere toplam 268029 galaksi incelenmiştir.

Çalışmamızda f_{LTG} hesaplanırken CFHTLS galaksi kataloglarında LEPHARE tarafından verilen tayfsal türler kullanılmıştır. Şekil 4.4.'te verilen dağılım f_{LTG} 'nin yüksek kırmızıya kaymalarda daha fazla olduğunu göstermektedir ve Butcher-Oemler etkisi ile uyumludur. Şekil 4.4. aynı zamanda Dressler (1980)'in morfoloji-yoğunluk ilişkisini de göstermektedir. Herhangi bir kırmızıya kayma için geçerli olmakla birlikte $z \leq 0.5$ için daha belirgin olarak artan yoğunlukla (küme zenginliği) f_{LTG} azalmaktadır.

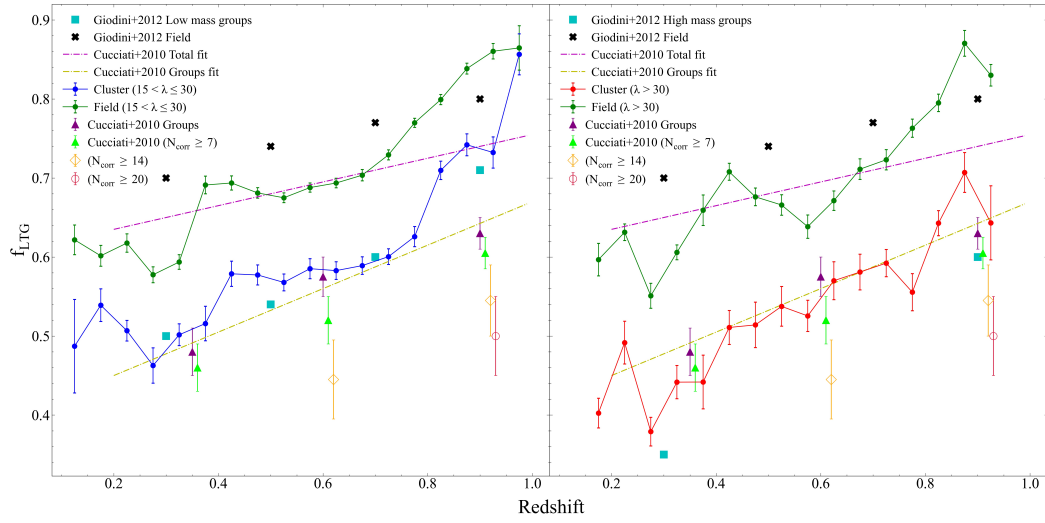
SED modelleme yöntemiyle elde edilen tayfsal türlere göre belirlenen erken ve geç-tip popülasyon ayrımı, renkler kullanılarak da yapılmıştır. Galaksilerin renklerine göre kırmızı

(erken-tip) ve mavi (geç-tip) olarak ayrılabilmeleri için sınır renk indeksi değeri bir kümeleme algoritması olan Gaussian Karışım Modeli (GMM) kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.13). Bu belirleme herhangi bir varsayıma dayanmadığı ve tamamen renk uzayındaki dağılım dikkate alındığı için yanlılığı olmayan bir yöntemdir. Ayrıca, çalışmada geniş bir kırmızıya kayma aralığında galaksileri incelediğimiz için, kırmızıya kayma ile renk evriminin etkisini ortadan kaldırmak için mutlak parlaklıklar kullanılmıştır. Buna göre CFHTLS filtreleri kullanıldığında $M_u - M_r > 1.70$ olan galaksilerin kırmızı ve $M_u - M_r < 1.70$ olan galaksilerin mavi galaksiler olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.2). Dolayısıyla, CFHTLS taraması için ilk defa tayfsal türler ile renk ayrımı ile belirlenen türlerin karşılaştırılması verilmiş ve iki popülasyon ayırma yönteminin de yaklaşık %90 oranında tutarlı sonuç verdiği Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Literatürde galaksi popülasyonlarının ayrımı için farklı yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemler, galaksi renklerine, renk-kadir diyagramlarındaki kırmızı kola, galaksilerin yıldız oluşum hızlarına ve SED modelleme sonuçlarına dayanmaktadır. Yıldız oluşum hızları günümüzde çoğu gökyüzü taraması için fotometrik verilerden, yine SED modelleme yöntemiyle elde edilmektedir. Tayfsal verilere dayanan yıldız oluşum hızları fotometrik yöntemle belirlenenlerden daha güvenlidir. Bu yöntemlerden temel olarak galaksilerin renklerini kullanan çalışmalar Tablo 5.1’de listelenmiştir. Bu çalışmalardan tez çalışmamızla benzer kırmızıya kayma aralığını kapsayanlardan elde edilen f_{LTG} değerleri Şekil 5.1’de karşılaştırılmıştır. Tablo 5.1. Butcher-Oemler Etkisinin incelendiği tüm çalışmaları içermese de, kullanılan yöntem açısından benzer olan çalışmalar dikkate alındığında, geniş bir kırmızıya kayma aralığında ($0 < z < 1$) en çok galaksi kümesini (NCL=1216) ve dolayısıyla en çok galaksiyi (NGAL ~ 270 bin) inceleyen çalışma bu tez çalışması olmaktadır.

Hem küme üyesi galaksilerdeki hem de alan galaksilerindeki f_{LTG} değerlerimiz Cucciati ve diğ. (2010) ve Giodini ve diğ. (2012) sonuçlarıyla uyum içindedir. Şekil 5.1’de fakir ve zengin kümeler, ilgili çalışmalarda karşılık gelen düşük ve yüksek kütleli galaksi kümeleri veya grupları ile ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. f_{LTG} değerlerindeki hatalar dikkate alındığında sonuçlar uyum içindedir; ancak belki daha önemlisi f_{LTG} evriminin karşılaştırılan çalışmalarda da benzer biçimde olmasıdır.

Küme üyesi galaksilerdeki geç-tip galaksi oranının, küme zenginliği, küme merkezine olan uzaklık ve galaksi kütlesi ile ilişkisi kırmızıya kaymanın bir fonksiyonu olarak $0.1 < z < 1.0$



Şekil 5.1: Tez çalışması ile benzer yöntemle ve benzer kırmızıya kayma aralığında yapılan çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılması.

aralığında sunulmuştur. Literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında, kesintisiz olarak ilk defa bu denli geniş bir kırmızıya kayma aralığında f_{LTG} 'nin değişimi incelenmiştir. Geç-tip galaksi oranının evrimi fakir ve zengin kümeler için ayrı ayrı $f_{LTG} = \alpha \times (1+z)^n$ biçiminde bir üstel fonksiyonla temsil edilmiş ve fonksiyonun katsayıları Tablo 4.4'te verilmiştir. Hem fakir hem de zengin kümelerdeki f_{LTG} evrimi benzer bulunmuştur. Ancak zengin kümelerle fakir kümeler arasında %10'luk bir sistematik fark görülmektedir. Bu farkın, yani zengin kümelerdeki f_{LTG} 'nin daha düşük olması morfoloji-yoğunluk ilişkisinin bir sonucudur.

Küme üyesi geç-tip galaksiler hem küme-içi ortamla hem de küme galaksileri ile etkileşime girerek erken-tip galaksilere dönüşürler (Conselice, 2014). Küme üyesi galaksilerin veya kozmik ipliksi yapı (İng. filament) boyunca kümeye düşen galaksilerin sıcak küme-içi gazla karşılaşmaları "ram-pressure stripping" olarak adlandırılmakta ve birçok mavi spiral galaksi barındırdıkları gazı kaybederek kırmızı spirallere ve literatürdeki tabirle "kırmızı ve ölü" galaksilere dönüşmektedirler. Dolayısıyla, zengin kümelerdeki f_{LTG} oranları fakir kümelere göre daha düşük olabilmektedir. f_{LTG} oranlarındaki fark ortamın galaksi evrimi üzerindeki etkisinin bir göstergesidir. Ayrıca, Şekil 4.2'de verilen renk-kadir diyagramında tayfsal türler ile renk ayrımı ile belirlenen türler arasındaki %10'luk karışımın nedeni de gaz bakımından fakirleşmiş "kırmızı ve ölü" geç-tip galaksiler olabilir. Zhang ve diğ. (2013) SDSS verilerinden belirlenen galaksi kümelerinde ve bu kümelerin çevresindeki ipliksi yapıda f_{LTG} oranlarını incelemiş ve Butcher-Oemler etkisi ile uyumlu sonuçlar bulmuştur.

Çalışmamızda f_{LTG} oranları küme merkezine uzaklığın bir fonksiyonu olarak, iki ayrı yarıçap için ayrı olarak gösterilmiştir. Küme merkezine yakın bölgede ($R < 0.5 \times R_{200}$) erken-tip galaksiler baskındır ki bu morfoloji-yoğunluk ilişkisi ile uyumludur. Erken-tip galaksilerin küme merkezi bölgesinde baskın olması zengin kümelerde çok daha belirgindir ve kırmızıya kayma azaldıkça monoton biçimde artmaktadır. Erken-tip oranındaki artış veya f_{LTG} oranındaki azalış, zengin kümelerde kümenin en dış kısımlarından (R_{200}) itibaren düzenli olarak devam etmektedir. Fakir kümelerde bu değişim azar azar gerçekleşmektedir.

Kümelerin dış kısımlarında ise geç-tip galaksiler baskın hale gelmektedir. Hem zengin hem de fakir kümeler için, dış kısımlarda f_{LTG} oranı erken-tip galaksi oranından daha fazla veya eşit olmaktadır.

Yarıçapa bağlı bu değişim, küme üyesi galaksilerin küme merkezine olan uzaklıklarının birikimli dağılımı incelendiğinde de görülmektedir. Şekil 4.6'da gösterildiği gibi; erken-tip galaksiler yoğunlukla merkeze yakın bölgelerde bulunurken, geç-tipler daha dış kısımlarda toplanmaktadır.

f_{LTG} oranının yarıçapa bağlı değişimi daha büyük uzaklıklar için karakterize edilmiştir. Küme merkezinden $6 \times R_{200}$ uzaklıklara kadar f_{LTG} oranını incelediğimizde, küme içi diyebileceğimiz $1 \times R_{200}$ 'e kadar çok dik bir artış, $1 - 2 \times R_{200}$ aralığında daha yavaş bir artış ve $2 \times R_{200}$ sonrasında ise neredeyse sabit bir f_{LTG} oranı elde edilmiştir. Küme merkezlerine $2 \times R_{200}$ 'den büyük uzaklıktaki alanlarda geç-tip galaksi oranının değişmediği görülmektedir. Bununla birlikte, bu oran azalan kırmızıya kayma ile sistematik biçimde azalmaktadır.

Tablo 5.1: Literatürde Butcher - Oemler etkisi üzerine yapılan çalışmaların listesi.

Çalışma	Veri	Kırmızıya Kayma Aralığı	Yöntem	Kütle Aralığı ($M_{\odot}$)	Yarıçap
Butcher ve Oemler (1984)	33 küme	$0.003 < z < 0.54$	RKD ^a	-	$< R_{30}$ ^b
Rakos ve Schombert (1995)	17 küme	$0 < z < 1$	$(B - V) < 0.8$	-	$< R_{30}$
Margoniner ve diğ. (2000)	48 küme	$0.03 < z < 0.38$	RKD	-	$< R_{30}$
Loh ve diğ. (2008)	984 küme	$0.45 < z < 0.9$	$R_C - z'$ rengi	-	$< 2 R_{200}$
Iovino ve diğ. (2010)	125 grup/küme	$0.1 < z < 1.0$	$(U - B) < 1.0$	$10.0 < \log(M_*) < 11.4$	-
Cucciati ve diğ. (2010)	318 grup/küme	$0.2 < z < 1.0$	$(U - B) < 1.0$	-	-
Giodini ve diğ. (2012)	160 grup/küme	$0.2 < z < 1.0$	SED uyumlandırma	$9.8 < \log(M_*) < 11.4$	$< R_{200}$
Barrena ve diğ. (2012)	10 küme	$0.19 < z < 0.29$	RKD	-	$< 0.5 R_{200}$
Vulcani ve diğ. (2015)	176 grup/küme	$0.03 < z < 0.11$	$(U - B)$ rengi	$10.25 < \log(M_*) < 12.0$	-
Bu çalışma	1216 küme	$0.1 < z < 1.0$	SED uyumlandırma	$9.0 < \log(M_*) < 12.0$	$< R_{200}$

^a Renk-kadir diyagramı^b R_{30} , kümedeki galaksilerin %30'unu içeren yarıçap olarak tanımlanmaktadır.

Galaksi evrimi çalışmaları temel olarak iki eksenli bir tartışmayı içerir. "Nature vs Nurture" olarak literatüre geçen bu tartışmaya göre galaksi evrimi hem bünyesel hem de çevresel etkenlere bağlıdır. Bu etkenlerin farklı veri setleri ile karakterize edilmesi, farklı kırmızıya kayma ve parametre aralıkları için araştırılması günümüz galaksi-dışı astronomisinin sıcak konularındandır.

Peng ve diğ. (2010) çalışmalarında SDSS ve zCOSMOS verilerini kullanarak morfoloji-yoğunluk ilişkisini galaksi kütesine bağlı olarak göstermiştir. Buna göre belirli bir kütleden büyük galaksiler ortam yoğunluğundan bağımsız biçimde erken-tip olmaktadır.

Tez çalışmasında incelediğimiz kümelerdeki üye galaksilerin ve karşılaştırma için belirlediğimiz alan galaksilerinin yıldız kütleleri (M_*) Bölüm 3.6'da verildiği gibi belirlenmiştir. f_{LTG} oranları galaksi kütesine bağlı olarak incelendiğinde (Şekil 4.9), artan kütleyle f_{LTG} oranının azaldığı görülmüştür. Bu azalma neredeyse ortamdaki bağımsızdır, ancak yine de ortamın f_{LTG} değerlerinde sistematik bir fark yarattığı belirlenmiştir. Buna göre, morfoloji-yoğunluk ilişkisiyle uyumlu biçimde; alanda en yüksek f_{LTG} oranı bulunurken, fakir kümelerde biraz daha düşük ve zengin kümelerde ise en düşük f_{LTG} oranları belirlenmiştir. Aynı veriler farklı kütle aralıkları için incelendiğinde (Şekil 4.10), küçük kırmızıya kaymalarda f_{LTG} 'nin daha az, büyük kırmızıya kaymalarda ise daha fazla olduğu görülmüştür.

CFHTLS taramasından belirlenen kümelerden zenginliği 15'ten büyük olan 1216 kümedeki üye galaksilerin ve bu kümelerin çevresindeki alan galaksilerinin incelenmesi sonucunda hem morfoloji-yoğunluk (Dressler, 1980) hem de Butcher-Oemler (1978, 1984) etkileri görülmüştür. Homojen bir veri seti içermesi, hassas galaksi parlaklıkları ve kırmızıya kaymaları barındırması sayesinde CFHTLS W1 alanında f_{LTG} oranı $0.1 < z < 1.0$ aralığında incelenebilmiştir.

Geç-tip galaksi oranlarının optik bölgede belirlenen galaksi kümelerinde elde edilen sonuçları ile X-ışınlarında belirlenen sonuçlarının karşılaştırılması ilerisi için planlanmaktadır. Barrena ve diğ. (2012), X-ışınlarında belirlenen kümelerden dinamik olarak dengede veya soğuk merkezli (İng. cool core) ile kararsız veya sıcak merkezli (İng. non-cool core) olanlar arasında f_{LTG} oranları açısından farklılıklar tespit etmiştir.

f_{LTG} oranlarının ortama bağlılığının araştırılmasında küme belirleme yönteminin bir

seçim etkisi yaratıp yaratmadığı yeterince büyük ve geniş kırmızıya kayma aralığında oluşturulmuş küme örneklemi ile mümkün olabilir. Günümüzde devam etmekte olan SRG/eROSITA X-ışın tüm gökyüzü taraması kütlesi 10^{14} 'ten büyük 100bin galaksi kümesi belirleyecektir. Burada bahsedilen küme belirleme yönteminin bir yanlışlık yaratıp yaratmadığı eROSITA ile belirlenebilecek kümelerin optik takip gözlemleri ile incelenebilir. Tez çalışmasının bünyesinde yürütüldüğü çalışma grubumuz SRG uydusu ile yakından ilişkilidir ve X-ışınlarında belirlenecek galaksi kümelerinin optik takip gözlemleri için hazırlıklarını tamamlamıştır. Bu kapsamda ileriki çalışmalarda özgün veriler ile farklı özelliklerdeki kümelerde f_{LTG} oranları araştırılabilir.

Bu tez çalışmasında elde edilen ilk sonuçlar Avrupa Astronomi Derneği'nin EAS-2020 ve EAS-2021 kongrelerindeki ilgili sempozyumlarda poster bildiri olarak sunulmuştur. EK-1'de tezin metnine de temel oluşturan sonuçların verildiği EAS-2021 kongresinde sunulan poster verilmektedir. Ayrıca çalışmamız, 15-19 Kasım 2021 tarihlerinde düzenlenen 5th Azarquiel School of Astronomy lisansüstü okulunda da sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- Abell, George O., 1958, The Distribution of Rich Clusters of Galaxies, *Astrophysical Journal Supplement*, vol. 3, p.211
- Aguena, M. ve diğ., 2021, The WaZP galaxy cluster sample of the dark energy survey year 1, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, Volume 502, Issue 3, pp.4435-4456
- Allen, S. W. ve diğ., 2002, Cosmological constraints from the X-ray gas mass fraction in relaxed lensing clusters observed with Chandra, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 334, L11
- Allen, S. W. ve diğ., 2008, Improved constraints on dark energy from Chandra X-ray observations of the largest relaxed galaxy clusters, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 383, 879
- Allen, S. W. ve diğ., 2011, Cosmological Parameters from Observations of Galaxy Clusters, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 49, 409
- Andreon, S. ve diğ., 2006, The Butcher-Oemler effect at $z \sim 0.35$: a change in perspective, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 365, Issue 3, pp. 915-928
- 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
- Astier, P. ve diğ., 2006, The Supernova Legacy Survey: Measurement of Ω_M , Ω_Λ and w from the First Year Data Set, *Astronomy and Astrophysics*, 441, 31
- Bahcall, Neta A., 1999, Formation of Structure in the Universe. Edited by Avishai Dekel and Jeremiah P. Ostriker. Cambridge : Cambridge University Press, 1999., p.135
- Baldry, Ivan 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
- Barrena, R. ve diğ., 2012, Environmental effects on the bright end of the galaxy luminosity function in galaxy clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 540, A90
- Baum, W. A., 1957, Photoelectric determinations of redshifts beyond 0.2 c, *Astronomical Journal*, Vol. 62, p. 6-7
- Baum, W. A., 1962, Photoelectric Magnitudes and Red-Shifts, *IAUS*, 15, 390

- Bell, E. F. ve diğ., 2004, Nearly 5000 Distant Early-Type Galaxies in COMBO-17: A Red Sequence and Its Evolution since $z \sim 1$, *The Astrophysical Journal*, 608, 752
- Bertin E., 1999, SExtractor: User's manual, *Institut d'Astrophysique and Observatoire de Paris*
- Blanton, M. R. ve diğ., 2005, Relationship between Environment and the Broadband Optical Properties of Galaxies in the Sloan Digital Sky Survey, *The Astrophysical Journal*, 629, 143
- Boselli, A. ve Gavazzi, G., 2006, Environmental Effects on Late-Type Galaxies in Nearby Clusters, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Volume 118, Issue 842, pp. 517-559
- Boselli, A. ve diğ., 2021, A Virgo Environmental Survey Tracing Ionised Gas Emission (VESTIGE).XII. Ionised gas emission in the inner regions of lenticular galaxies, *arXiv*, arXiv:2111.06635
- Boquien, M. ve diğ., 2019, CIGALE: a python Code Investigating GALaxy Emission, *Astronomy and Astrophysics*, 662, A103
- Bruzual A., G., ve Charlot, S., 1993, Spectral Evolution of Stellar Populations Using Isochrone Synthesis, *The Astrophysical Journal*, 405, 538
- Bruzual A., G., ve Charlot, S., 2003, Stellar population synthesis at the resolution of 2003, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 344, Issue 4, pp. 1000-1028
- Buat, V. ve diğ., 2014, Ultraviolet to infrared emission of $z > 1$ galaxies: Can we derive reliable star formation rates and stellar masses?, *Astronomy and Astrophysics*, 561, A39
- Burgarella, D. ve diğ., 2005, Star formation and dust attenuation properties in galaxies from a statistical ultraviolet-to-far-infrared analysis, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 360, Issue 4, pp. 1413-1425
- Butcher, H., Oemler, A., 1978, The evolution of galaxies in clusters, II. The galaxy content of nearby clusters, *The astronomical journal*, 226, 565
- Butcher, H., Oemler, A., 1984, The evolution of galaxies in clusters. V. A study of populations since $z \sim 0.5$, *The Astrophysical Journal*, 285, 426-438
- Calzetti, D. ve diğ., 2000, The Dust Content and Opacity of Actively Star-forming Galaxies, *The Astrophysical Journal*, Volume 533, Issue 2, pp. 682-695
- Capozziello S. ve Lattanzi A., 2006, Spiral Galaxies as Chiral Objects?, *Astrophysics and Space Science*, 301, 189
- Carlstrom, J. E. ve diğ., 2002, Cosmology with the Sunyaev-Zel'dovich Effect, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 40, 643

- Carroll, Bradley W. ve Ostlie, Dale A., 2007, An Introduction to Modern Astrophysics (Second Edition), *Pearson Education, Inc.*, ISBN: 0-321-44284-9
- Castignani, G. ve Benoist, C., 2016, A new method to assign galaxy cluster membership using photometric redshifts, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 595, id.A111, 19 pp.
- Chabrier, G., 2003, Galactic Stellar and Substellar Initial Mass Function, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Volume 115, Issue 809, pp. 763-795
- Coleman G. D., Wu, C. C., Weedman D. W., 1980, Colors and magnitudes predicted for high redshift galaxies, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 43, 393
- Conroy, C., Gunn, J. E., White, M., 2009, The Propagation of Uncertainties in Stellar Population Synthesis Modeling. I. The Relevance of Uncertain Aspects of Stellar Evolution and the Initial Mass Function to the Derived Physical Properties of Galaxies, *The Astrophysical Journal*, Volume 699, Issue 1, pp. 486-506
- Conroy, C., Gunn, J. E., 2010, The Propagation of Uncertainties in Stellar Population Synthesis Modeling. III. Model Calibration, Comparison, and Evaluation, *The Astrophysical Journal*, Volume 712, Issue 2, pp. 833-857
- Conselice, Christopher J., 2014, The Evolution of Galaxy Structure Over Cosmic Time, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 52, 291-337
- Couch, W.J, Sharples, R.M., 1987, A spectroscopic study of three rich galaxy clusters at $z=0.31$, *Monthly notices of the royal astronomical society*, 229, 423
- Cowie, L. ve diğ., 1996, New Insight on Galaxy Formation and Evolution From Keck Spectroscopy of the Hawaii Deep Fields, *Astronomical Journal*, 112, 839
- Cucciati, O. ve diğ., 2010, The VIMOS-VLT deep survey: the group catalogue, *Astronomy and Astrophysics*, 520, A42
- Darvish, B. ve diğ., 2016, The Effects of the Local Environment and Stellar Mass on Galaxy Quenching to $z \sim 3$, *The Astrophysical Journal*, Volume 825, Issue 2, article id. 113, 16 pp.
- 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*, Volume 443, Issue 2, p.1713-1722
- Dressler, A., 1980, Galaxy morphology in rich cluster: Implications for the formations and evolutions of galaxies, *The Astrophysical Journal*, 236, 351
- Ettori, S. ve diğ., 2003, Constraining the cosmological parameters with the gas mass fraction in local and $z > 0.7$ galaxy clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 398, 879
- Evrard, A. E. ve diğ., 2002, Galaxy Clusters in Hubble Volume Simulations: Cosmological Constraints from Sky Survey Populations, *The Astrophysical Journal*, 573, 7
- Euclid Collaboration, 2019, Euclid preparation. III. Galaxy cluster detection in the wide photometric survey, performance and algorithm selection, *Astronomy and Astrophysics*, Volume 627, id.A23, 27 pp.

- Giodini, S. ve diğ., 2012, The galaxy stellar mass function of X-ray detected groups: Environmental dependence of galaxy evolution in the COSMOS survey, *Astronomy and Astrophysics*, 538, A104
- Guglielmo, V. ve diğ., 2018, The XXL Survey: XXX. Characterisation of the XLSSsC N01 supercluster and analysis of the galaxy stellar populations, *Astronomy and Astrophysics*, 620, A15
- Gwyn, S. D. J., 1995, *Photometric Redshifts of Galaxies*, MSc thesis, University of Victoria
- Hubble, E., 1926, Extra-Galactic Nebulae, *The Astrophysical Journal*, 64, 321-369
- Hubble, E., 1929, A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Volume 15, Issue 3, pp. 168-173
- Hudelot, P. ve diğ., 2012, T0007: The Final CFHTLS Release
- Ilbert, O. ve diğ., 2006, Accurate photometric redshifts for the CFHT legacy survey calibrated using the VIMOS VLT deep survey, *Astronomy and Astrophysics*, 457, 841-856
- Jian, Hung-Yu ve diğ., 2018, First results on the cluster galaxy population from the Subaru Hyper Suprime-Cam survey. I. The role of group or cluster environment in star formation quenching from $z=0.2$ to 1.1 , *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Volume 70, Issue SP1, id.S2
- Kaufmann, 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
- Kormendy, J. ve Bender R., 1996, A proposed revision of the Hubble Sequence for elliptical galaxies, *The astronomical journal*, 464, 119-122
- Kormendy, J., Kennicutt, R. C., Jr., 2004, Secular Evolution and the Formation of Pseudobulges in Disk Galaxies, *Annual review of astronomy and astrophysics*, 42, 603
- Kormendy, J. ve Ho, L. C., 2013, Coevolution (Or Not) of Supermassive Black Holes and Host Galaxies, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 51, 511
- Kovacs, E. ve diğ., 2021, Validating Synthetic Galaxy Catalogs for Dark Energy Science in the LSST Era, *arXiv*, arXiv:2110.03769
- Lee, S. ve diğ., 2010, The Estimation of Star Formation Rates and Stellar Population Ages of High-Redshift Galaxies from Broadband Photometry, *The Astrophysical Journal*, 725, 1644
- Maraston, C., 2005, Evolutionary population synthesis: models, analysis of the ingredients and application to high- z galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 362, Issue 3, pp. 799-825

- White, M., 2001, The mass of halo, *Astronomy and Astrophysics*, 367, 27
- Noll, S. ve diğ., 2009, Analysis of galaxy spectral energy distributions from far-UV to far-IR with CIGALE: studying a SINGS test sample, *Astronomy and Astrophysics*, Volume 507, Issue 3, 2009, pp.1793-1813
- Nuijten, M. ve diğ., 2005, The CFHT Legacy Survey: The Morphology-Density Relation of Galaxies out to $z=1$, *The Astrophysical Journal*, 626, 77
- Olsen, L.F. ve diğ., 2007, Galaxy clusters in the CFHTLS. First matched filter candidate catalogue of the Deep fields, *Astronomy and Astrophysics*, 461, 81
- Pedregosa, F. ve diğ., 2011, Scikit-learn: Machine Learning in Python, *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825-2830
- Peng, Y.-j. ve diğ., 2010, Mass and environment as drivers of galaxy evolution in SDSS and zCOSMOS and the origin of the Schechter function, *The Astrophysical Journal*, 721, 193
- Pintos-Castro, I. ve diğ., 2019, The Evolution of the Quenching of Star Formation in Cluster Galaxies since $z \sim 1$, *The Astrophysical Journal*, Volume 876, Issue 1, article id. 40, 17 pp.
- Pompei, E. ve diğ., 2016, The XXL Survey: VII. A supercluster of galaxies at $z=0.43$, *Astronomy and Astrophysics*, 592, A6
- Pozzetti, L. ve diğ., 2010, zCOSMOS - 10k-bright spectroscopic sample. The bimodality in the galaxy stellar mass function: exploring its evolution with redshift, *Astronomy and Astrophysics*, Volume 523, id.A13, 23 pp.
- Rakos, K.D., Schombert, J.M., 1995, Color evolution from $Z=0$ to $Z=1$, *The astrophysical journal*, 439, 47
- Schneider, P., 2015, Extragalactic Astronomy and Cosmology: An Introduction (Second Edition), *Springer Press*, ISBN: 978-3-642-54083-7
- Shi, K. ve diğ., 2021, Accelerated Galaxy Growth and Environmental Quenching in a Protocluster at $z=3.24$, *The Astrophysical Journal*, 911, 46
- Sparke, L.S., Gallagher, J.S., 2007, Galaxies in the Universe: An Introduction (Second Edition), *Cambridge University Press*, New York, ISBN-13 978-0-511-29472-3
- Springel V., 2005, The cosmological simulation code GADGET-2, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 364, 1105
- Strateva, I., ve diğ., 2001, Color Separation of Galaxy Types in the Sloan Digital Sky Survey Imaging Data, *The Astronomical Journal*, 122, 1861
- Sullivan, M. ve diğ., 2006, Photometric selection of high-redshift type Ia supernovae, *The Astronomical Journal*, 131, 96
- Tresse, L. ve diğ., 2007, The cosmic star formation rate evolution from $z=5$ to $z=0$ from the VIMOS VLT Deep Survey, *Astronomy and Astrophysics*, 472, 403

- Voit, G. Mark, 2005, Tracing cosmic evolution with clusters of galaxies, *Reviews of Modern Physics*, vol. 77, Issue 1, pp. 207-258
- Vulcani, B. ve diğ., 2015, From Blue Star-Forming to Red Passive: Galaxies in Transtion in Different Environments, *The Astrophysical Journal*, 798, 52
- Wagner, C. R. ve diğ., 2017, The Evolution of Star formation Activity in Cluster Galaxies over $0.15 < z < 1.5$, *The Astrophysical Journal*, 834, 53
- Wen, Z.L. ve Han, J.L., 2011, Galaxy clusters at high redshift and evolution of brightest cluster galaxies, *The Astrophysical Journal*, 734, 68
- Xu, K. ve diğ., 2020, Star Formation in Massive Galaxies at Redshift $z0.5$, *The Astrophysical Journal*, 895, 100
- Yelkenci K. F., 2015, *Galaksi Morfolojisi-Yoğunluk ilişkisinin Evrimi*, Doktora, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Zhang, Y. ve diğ., 2013, Studying Intercluster Galaxy Filaments Through Stacking gmBCG Galaxy Cluster Pairs, *The Astrophysical Journal*, 773, 115
- Zwicky, F., 1933, Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln, *Helvetica Physica Acta*, Vol. 6, p. 110-127

EKLER

EK 1.

"Symposium S3: Galaxy clusters and AGNs: advances in theoretical simulations and observations by next-generation surveys"

EAS Yıllık Toplantısı (Sanal), Leiden, Hollanda

28 Haziran - 2 Temmuz 2021

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

Poster: "The fraction of late-type galaxies in galaxy clusters up to $z \sim 1$ "



The fraction of late-type galaxies in galaxy clusters up to $z \sim 1$

Öğuzhan ÇAKIR¹, Sinan Aliş¹, E. Kaan Ülgen¹, F. Korhan Yelkenci¹, Süleyman Fişek¹

¹ Istanbul University, Istanbul, Turkey



Introduction

Galaxy clusters are very good probes to investigate the impacts of environment on the galaxy evolution since they are host to hundreds or even thousands of galaxies that can interact with each other (e.g. mergers) as well as with intracluster medium (ICM, e.g. ram-pressure stripping). Galaxies can be divided into different populations such as early/late-type or red/blue galaxies morphologically or based on their colors. Early-type galaxies (abbr. ETG) have usually redder colors which means that they halt their star-forming activity, whereas late-type galaxies (abbr. LTG) are bluer than early-type galaxies and still forming stars. Therefore, early-type galaxies are also called red and dead galaxies. Dressler stated in his seminal paper (Dressler, 1980) that the densest regions in the universe are dominated by early-type galaxies (i.e. the morphology-density relation). Hence, galaxy clusters are mainly dominated by early-type galaxies with a ratio of $(N_{ETG}/N_{LTG}) \sim 4-5$ (Babul, 1998). However, Butcher and Oemler (1978, 1984) stated that in the core region of clusters at intermediate redshift ($z \sim 0.5$) have more blue galaxies with respect to their counterparts at low redshifts.

Cluster Sample

In this work, we use a main sample of 3284 galaxy clusters spanning in a range between $0.1 < z < 1$ from the CFHTLS-W1 region that detected by the WAZP cluster-finder algorithm (Agüera et al., 2021). In order to investigate the effect of the environment well, we apply a cut on the main cluster sample as richness (λ)-15. After this cut, ~ 1000 clusters meet the condition. We then define poor clusters/groups as the clusters with $15 < \lambda \leq 30$, whereas rich clusters as the clusters with $\lambda > 30$.

Member Sample

Determining the memberships of galaxies of clusters is an important issue in order to study different populations. The membership list was constructed with the approach described in Caigüan & Rossetti (2016). In their recipe, photometric redshifts, magnitudes, and cluster-centric radii of galaxies are used to determine the membership probabilities. For our cluster sample ($\lambda > 15$), there are ~ 40000 members obtained from the list aforementioned.

The fraction of late-type galaxies

Once member galaxies are determined, we classify them analyzing their SED by implementing LePhare algorithm (Arnouts et al., 1999; Ilbert et al., 2006). There are 66 extrapolated SED templates derived from templates that of Coleman et al. (1980) and Kinney et al. (1996). As a by-product LePhare gives SED template solutions as a parameter called "MODE". Using this parameter, we separated members as early-types (ETI) to be MODE ≤ 22 , whereas late-types (Sp, Irr, SB) to be MODE > 22 . We then compute the fraction of both populations for each cluster as follows

$$f_{ETG} = \frac{N_{ETI}}{N}, \quad f_{LTG} = \frac{N_{Sp+Irr+SB}}{N}$$

Results

In general, evolution of fraction is in agreement with literature that clusters at lower redshifts ($z < 0.5$) have lower fraction of late-type galaxies than higher counterparts, regardless cluster richnesses. As we take into account richnesses, especially for $z < 0.5$ the decrease in the late-type fraction becomes more dramatic for rich clusters with $\Delta \lambda_{10} > 0.2$, whereas $\Delta \lambda_{10} < 0.1$ for poor clusters. In order to quantify the trend, we apply a power law as $f_{LTG} \propto (1+z)^{\beta}$. For rich clusters, we obtain $f_{LTG} = (0.29 \pm 0.02) (1+z)^{1.26 \pm 0.16}$.

Some studies shows that the evolution of $f_{ETG,LTG}$ (in other words $f_{ETG,LTG}$) depends on galaxy mass. Li et al. (2012) showed that there is a strong correlation between f_{ETG} and galaxy mass. Jan et al. (2018) presented that the Butcher-Oemler effect is seen in clusters, however depends on galaxy mass. The effect is more obvious for less-massive galaxies. Therefore, we investigate the dependency between late-type fraction and galaxy mass.

In order to estimate stellar masses, we use Code Investigating GALaxy Emission (CIGALE; Burgarella et al., 2005; Noll et al., 2009; Boquien et al., 2019) SED-fitting code. We use the delayed star formation history with star-forming time scale τ ranging from 0.1 to 20 Gyr by assuming BC03 (Bruzual & Charlot, 2003) single stellar population with solar metallicity and Chabrier initial mass function (Chabrier, 2003), dust attenuation model given by Calzetti et al. (2000) with E(B-V) values between 0 and 0.5.

We compute the mass completeness for the sample following the recipe given by Pozzetti et al. (2010) as $\log(M_{*}(z=0.1)) \sim -9.2$, $\log(M_{*}(z=0.4)) \sim -10.0$ and $\log(M_{*}(z=0.7)) \sim -10.7$.

Overall, we see a redshift evolution for all mass bins with a decreasing slope. However, towards to higher masses, there is a clear trend between mean f_{LTG} and galaxy mass as $\langle f_{LTG} \rangle \sim -0.7$ at $\log M_{*} \sim -9.5$, whereas $\langle f_{LTG} \rangle \sim -0.4$ at $\log M_{*} \sim -11$ that agrees with mass quenching scenario (Peng et al., (2010b)).

Acknowledgements

This work is supported by the TÜBİTAK project 117F311 through the ARDEB-1001 Program. SA acknowledges support from Istanbul University with project BEK-46743.

References

Agüera M., et al., 2021, MNRAS, 502, 4435
 Amati S., Cristiani S., Moscardini L., Marone S., Lucchin F., Fontana A., Giugliano E., 1999, MNRAS, 310, 540
 Babul A. N., "Clusters and Superclusters of Galaxies", in Formation of Structure in the Universe, eds. J.P. Ostriker and A. Dekel (Cambridge University Press, Cambridge), p. 155 (1998), (astro-ph/9611148)
 Boquien M., Burgarella D., Rochely Y., Buat V., Ciesla L., Corre D., Iliou A.K., Salas H., 2019, A&A, 622, A103
 Bruzual G., Charlot S., 2003, MNRAS, 344, 1000
 Burgarella D., Buat V., Agüera-Panadero J., 2005, MNRAS, 360, 1413
 Butcher H., Oemler A. J., 1978, ApJ, 228, 559
 Butcher H., Oemler A. J., 1984, ApJ, 285, 426
 Calzetti D., Amari L., Bolzon R. C., Kinney A. L., Koozevski J., Storchi-Bergmann T., 2000, ApJ, 533, 682
 Caigüan G., Rossetti C., 2016, A&A, 595, A111
 Chabrier G., 2003, PASP, 115, 763
 Coleman G. D., Wu C. C., Woshenko D. W., 1980, ApJ, 83, 393
 Dressler A., 1980, ApJ, 236, 351
 Ilbert O., et al., 2006, A&A, 457, 841
 Jan H.-Y., et al., 2018, PASJ, 70, 823
 Kinney A. L., Calzetti D., Bolzon R. C., McQuade K., Storchi-Bergmann T., Schmitt H. R., 1996, ApJ, 467, 38
 Li L. H., Yee H. K. C., Hsieh B. C., & Gladstone M., 2012, ApJ, 749, 150
 Noll S., Burgarella D., Giovanoli E., Buat V., Marzulli D., Muñoz-Mateos J. C., 2009, A&A, 507, 1799



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Oğuzhan ÇAKIR
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	2019

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Programı	Astronomi ve Uzay Bilimleri
Mezuniyet Tarihi	2021

Makale ve Bildiriler
Makaleler Çakır ve diğ., Yayına Hazırlanıyor, Evolution of Galaxy Populations in Galaxy Clusters Bildiriler Çakır, O., 2021, Evolution of Cluster Galaxies since $z \sim 1$, The 5th Azarquiel School of Astronomy: a Bridge between East and West, 15-19 Kasım 2021, İstanbul, Türkiye Çakır, O., Aliş, S. ve diğ., 2021, The fraction of late-type galaxies in galaxy clusters up to $z \sim 1$, Symposium S3: Galaxy clusters and AGNs: advances in theoretical simulations and observations by next-generation surveys, EAS Yıllık Toplantısı, 28 Haziran - 2 Temmuz 2021, Leiden, Hollanda Çakır, O., Aliş, S. ve diğ., 2020, Evolution of the Galaxy Populations in Clusters,

Symposium S14: Quenching cluster galaxies in the cosmic middle ages, EAS
Yıllık Toplantısı, 29 Haziran - 3 Temmuz 2020, Leiden, Hollanda

