T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İZOLE ALAN ELİPTİK GALAKSİLERİNİN YOĞUNLUĞUNUN İNCELENMESİ

Eyüp Kaan ÜLGEN

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri

Danışman

Prof. Dr. Yüksel KARATAŞ

II. Danışman

Dr. Sinan ALİŞ

Şubat, 2016

İSTANBUL

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İZOLE ALAN ELİPTİK GALAKSİLERİNİN YOĞUNLUĞUNUN İNCELENMESİ

Eyüp Kaan ÜLGEN

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri

Danışman

Prof. Dr. Yüksel KARATAŞ

II. Danışman

Dr. Sinan ALİŞ

Şubat, 2016

İSTANBUL

Bu çalışma 21/03/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı Astronomi ve Uzay Bilimleri programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi:

Prof. Dr. Yüksel KARATAŞ (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Tansel Ak
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç.Dr.Tolga Güver
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç.Dr. Hulusi Gülseçen
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Yard. Doç. Dr. Murat Hüdaverdi
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin T-51339 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, uzun yıllardır hayalini kurduğum galaksi dışı astronomi çalışmalarına başlayabilmem için ilk adımı oluşturmuştur. Tez süresi boyunca evrenin büyük ölçekli yapısı hakkında hem bilgi birikimim artarken hem de onun görkemi karşısında ne kadar aciz olduğumuzu bir kez daha anlamış bulunmaktayım. Evrenin büyük ölçekli yapısını kavrayabilmek ve mutlak güce ulaşabilmek için her geçen gün bilgi düzeyimizin daha da artması gerekmektedir.

Bu çalışma boyunca; beni her zaman destekleyen danışman hocam Prof. Dr. Yüksel KARATAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez konusunu öneren ve lisans eğitimimden bu yana, beni her zaman destekleyen, bu tezin ortaya çıkmasında büyük emeği olan, her koşulda bilgi düzeyimin artması için uğraşan, öz ağabey gibi gördüğüm ikinci danışmanım Araş. Gör. Dr. Sinan ALİŞ'e ne kadar teşekkür etsem azdır.

Lisans eğitimimden bu yana gerekli bilgi desteğini sağlayan Nice Gözlemevi'nden (Observatoire de la Côte d'Azur) saygıdeğer hocam Doç. Dr. Christophe BENOIST'ya teşekkürlerimi sunarım.

Lisans eğitimimden bu yana gerek bilgi gerek moral ve motivasyon olarak desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, desteğini her zaman hissettiğim sevgili hocam Dr. Fuat Korhan YELKENCİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman beni destekleyen, iyi bir geleceğe sahip olmam için bana rehberlik eden değerli hocalarım Prof. Dr. Füsun LİMBOZ ve Prof. Dr. H. Gökmen TEKTUNALI'ya saygılarımı ve sevgilerimi sunarım.

Bütün hayatım boyunca beni destekleyen her koşulda yanımda olan, bugüne gelmem için çok büyük emekler veren, sevgili annem Z. Hülya ÜLGEN, sevgili babam Arafat ÜLGEN'e ve bana her koşulda destek olan sevgili kız kardeşim Tuğbanur ÜLGEN'e şükranlarımı sunarım.

Her zaman yanımda olan, tanıştığımız günden beri mutluluk ve huzur kaynağım olan sevgili arkadaşım Burcu AKBULUT'a sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, TÜBİTAK 2210-C (2014/3) Öncelikli Alanlara Yönelik Yurtiçi Yüksek Lisans Burs Programıyla destelenmiştir. Bu desteği için TUBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2016 **Eyüp Kaan ÜLGEN**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **i**
İÇİNDEKİLER ..... **ii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **iv**
TABLO LİSTESİ ..... **viii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **x**
ÖZET ..... **xii**
SUMMARY ..... **xiii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **5**
2.1 GALAKSİ MORFOLOJİSİ 5
2.1.1 Hubble Sınıflandırması 5
2.1.2 Eliptik Galaksiler 7
2.2 MORFOLOJİ VE RENK İLİŞKİSİ 12
2.3 MORFOLOJİ - YOĞUNLUK İLİŞKİSİ 14
2.4 ELİPTİK GALAKSİLERİN OLUŞUM VE EVRİM SENARYOLARI 17
2.5 İZOLE ALAN ELİPTİK GALAKSİLER 22
2.5.1 IfE'ler hakkında genel bilgi 22
3. MALZEME VE YÖNTEM **29**
3.1 CFHTLS GÖRÜNTÜLERİ VE CİSİM KATALOGLARI 31
3.2 CFHTLS FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMA VERİLERİ 33
3.3TAYFSAL VERİLER 36
3.3.1 SDSS Tayf Verisi 37
3.3.2 GAMA Kırmızıya Kayma Verileri 39
3.3.3 VIPERS Kırmızıya Kayma Verileri 41
3.4 İZOLE ALAN ELİPTİK GALAKSİLERİNİN BELİRLENMESİ 44
3.5 ALGORİTMANIN TAYFSAL VERİLERLE SINANMASI 49
3.6 GALAKSİLERDE YILDIZ OLUŞUM ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ 53
4. BULGULAR **56**

4.1 IFE'LERİN GENEL ÖZELLİKLERİ 56
4.2 RENK KADİR DİYAGRAMI 61
4.3 MUTLAK PARLAKLIK – ETKİN YARIÇAP İLİŞKİSİ 66
4.4 YILDIZ OLUŞUMU GÖSTEREN IFE'LER 69
4.5 IFE'LERİN UZAYSAL DAĞILIMLARI 76
4.6 IFE'LERİN ETRAFINDA BULUNAN BİLEŞEN GALAKSİLER 82
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 85
KAYNAKLAR 91
EKLER 98
ÖZGEÇMİŞ 100

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Hubble diyagramı. Galaksilerin uzaklaşma hızları ile uzaklıkları arasındaki ilişki..... 2

Şekil 2.1: Hubble galaksi sınıflaması. Diğer adıyla Hubble çatal diyagramı, farklı morfolojilere sahip galaksileri göstermektedir. 6

Şekil 2.2: NGC 4472 eliptik galaksisinin "de Vaucouleurs kanunu" kullanılarak elde edilen yüzey parlaklık profili (Schneider, P., 2006)..... 11

Şekil 2.3: Galaksilere ait renk-parlaklık diyagramı. Kırmızı noktalar eliptik galaksileri, mavi noktalar spiral galaksileri temsil etmektedir..... 13

Şekil 2.4: Galaksi morfoloji-yoğunluk ilişkisi (Dressler, 1980). Kırmızı çizgi eliptik galaksileri, mavi çizgi ise spiralleri göstermektedir. 15

Şekil 2.5: Antennae Galaksileri. Eş kütleli iki galaksinin Hubble Uzay Teleskopu ile elde edilmiş görüntüsü. 20

Şekil 2.6: Sol tarafta NGC 6363, sağ tarafta ise NGC 3017 galaksileri bulunmaktadır. Her iki galakside literatürde mevcut olan izole eliptik galaksilerdir (Smith ve ark., 2010)..... 23

Şekil 3.1: CFHTLS gökyüzü taraması kapsamında gözlenen derin ve geniş alanların gökyüzündeki konumları. W1, W2, W3, W4 geniş alanları; D1, D2, D3, D4 ise derin alanları göstermektedir. 29

Şekil 3.2: CFHTLS filtrelerinin geçirgenlik eğrileri. MegaCam ve SDSS filtrelerinin karşılaştırılması..... 31

Şekil 3.3: CFHTLS-W1 alanına ait g′, r′ ve i′ bantları kullanılarak oluşturulan renkli görüntü. Merkezdeki galaksi çalışmada belirlediğimiz IfE'lerden biridir 33

Şekil 3.4: Ilbert ve ark. (2006) 'nın yaptıkları çalışmada galaksi tipine göre fotometrik ve tayfsal kırmızıya kaymaların karşılaştırılması. Bu örneklem için $17 \leq i_{AB} \leq 24$ parlaklığı arasındaki 2865 galaksi kullanılmıştır..... 36

Şekil 3.5: GAMA-G02 ile CFHTLS-W1 alanı içerisinde bulunan galaksilere ait sağ ve dik açıklık (RA-Dec) dağılımı görülmektedir. Kırmızı noktalar CFHTLS-W1 alanı, mavi noktalar ise GAMA-G02 alanı içerisindeki galaksileri temsil etmektedir 41

Şekil 3.6: Evrenin 0.45 < z < 1.1 kırmızıya kayma aralığındaki geniş ölçekli yapısının görüntüsü. Bu koni diyagramında VIPERS W1 alanı içerisindeki yaklaşık 25000 galaksinin dağılımı mevcuttur (Guzzo et al. 2013). Diyagram üzerindeki her bir nokta, B bandında ölçümü yapılmış galaksiye karşılık gelmektedir. 43

Şekil 3.7: İzole olma kriterinin şematik gösterimi. En üstteki şekilde 1 Mpc içerisinde merkezdeki eliptik galaksiyle okla gösterilen galaksi arasındaki parlaklık farkı 0.7'den büyük olmadığı için izole olma koşulu sağlanamamıştır. Ortada bulunan şekilde merkezdeki eliptik galaksiyle okla gösterilen galaksi arasındaki parlaklık farkı 1 Mpc içerisinde izole olma koşulunu sağlarken 0.5 Mpc'lik uzaklık içerisinde izole olma koşulunu bozmaktadır. En alttaki şekilde ise bir galaksinin izole olma kriteri tam olarak sağlanmıştır (Smith ve ark., 2004)..... 45

Şekil 3.8: CFHTLS-W1 alanındaki eliptik galaksilerin fotometrik ve tayfsal kırmızıya kaymalarının karşılaştırılması. Grafikte tayfsal kırmızıya kayması bilinen yaklaşık 9000 eliptik galaksi bulunmaktadır. Fotometrik kırmızıya kaymanın hatası ±1 ve ±2σ olarak sırasıyla düz ve kesikli çizgilerle belirtilmiştir. Özellikle z < 0.1 ve z > 1.0 için fotometrik kırmızıya kaymadaki yanlılık dikkat çekmektedir (Aliş, 2015). 47

Şekil 3.9: CFHTLS-W1 alanı içerisinde bulunan CFHTLS ve GAMA galaksilerinin yoğunluk dağılımı. Grafik iki katalogdaki bütün galaksileri içermektedir ve herhangi bir parlaklık sınırlaması uygulanmamıştır. Grafiğin sağında bulunan ölçek GAMA galaksi sayısının CFHTLS galaksi sayısına oranını göstermektedir. Buna göre mavi bölgeler GAMA galaksilerinin az sayıda olduğu bölgeleri, kırmızı bölgeler ise çok sayıda olduğu bölgeleri göstermektedir. Algoritmamızın tayfsal verilerle sınanması için Dec ≤ -6° olan bölgedeki galaksiler dikkate alınmıştır. 50

Şekil 3.10: GAMA kataloğundaki galaksi sayısının parlaklıkla değişimi. CFHTLS kataloğu referans alındığında, GAMA kataloğunun tamlık sınırının r~19.8 kadir olduğu görülmektedir..... 55

Şekil 3.11: Örnek bir BPT diyagramı. Galaksiler emisyon çizgi oranlarına göre sınıflandırılmaktadır. 53

Şekil 3.12: BPT diyagramı. Düz kırmızı çizgi Ka03 teorik çizgisini temsil ederken, kesikli siyah çizgi Ke01 teorik çizgisini temsil etmektedir. Ka03 çizgisinin altında kalanlar yıldız oluşumu aktivitesi gösteren galaksiler olarak, Ke01 çizgisinin üstünde bulunan galaksiler ise AGN olarak sınıflandırılmıştır (Kewley ve ark., 2006)..... 55

Şekil 4.1: Üç farklı eliptik galaksi grubuna ait fotometrik kırmızıya kayma (zphot) dağılımı... 58

Şekil 4.2: M(r) ≤ -21 kadir ile sınırlandırılan üç farklı eliptik galaksi grubuna ait görünen parlaklık (r) ve mutlak parlaklık M(r) dağılımı. 60

Şekil 4.3: IfE'lerin ve küme eliptiklerin renk parlaklık diyagramı. Mavi üçgen IfE'leri, düz kırmızı çizgi ise küme eliptiklerine ait (g-i) renginin ortalama değerini temsil etmektedir. Kesikli çizgiler küme eliptiklerinin (g-i) renginin ±1σ karşılığı noktalı kesikli çizgi ise ±3σ karşılığıdır.. 62

Şekil 4.4: IfE'lerin ve normal eliptiklerin renk parlaklık diyagramı. Mavi üçgen IfE'leri, düz kırmızı çizgi ise normal eliptiklere ait (g-i) renginin ortalama değerini temsil etmektedir. Kesikli çizgiler normal eliptiklerin (g-i) renginin $\pm 1\sigma$ karşılığı, noktalı kesikli çizgi ise $\pm 3\sigma$ karşılığıdır. 63

Şekil 4.5: Üç farklı eliptik grubunun mutlak parlaklık M(g-i) renk dağılımı. 64

Şekil 4.6: Mutlak parlaklık–etkin yarıçap diyagramı üzerinde mavi noktalar IfE'leri temsil etmektedir. Mavi, kırmızı ve yeşil çizgiler sırasıyla IfE, küme ve normal eliptik galaksilere ait eğimi göstermektedir. Diğer galaksiler sayı bakımından IfE'lere göre çok oldukları için nokta olarak gösterilmemiştir. 67

Şekil 4.7: 15 IfE'ye ait BPT diyagramı. Mavi noktalar yıldız oluşumunu gösteren galaksiler, magenta renkteki üçgenler geçiş sınıfı galaksiler, siyah noktalar ise AGN olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca mavi ve kırmızı kesikli çizgiler sırasıyla Ka03 (Kauffmann, 2003) ve Ke01 (Kewley, 2001) teorik çizgileridir. 71

Şekil 4.8: IfE'lere ait renk-parlaklık diyagramı. Mavi üçgenler 56 IfE'yi, magenta rengine sahip olan üçgenler yıldız oluşumu gösteren IfE'leri, yeşil olan üçgenler ise geçiş sınıfı galaksilerini temsil etmektedirler. Düz kırmızı çizgi ise normal eliptik galaksilere ait (g-i) renginin ortalama değerini temsil etmektedir. Kesikli çizgiler normal eliptik galaksilerin (g-i) renginin $\pm 1\sigma$ karşılığı noktalı kesikli çizgi ise $\pm 3\sigma$ karşılığıdır. 72

Şekil 4.9: 1244 normal eliptik galaksiye ait BPT diyagramı. Mavi noktalar yıldız oluşumunu gösteren galaksiler, magenta renkteki üçgenler geçiş sınıfı galaksiler, siyah noktalar ise AGN olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca mavi ve kırmızı kesikli çizgiler sırasıyla Ka03 (Kauffmann, 2003) ve Ke01 (Kewley, 2001) teorik çizgileridir. 72

Şekil 4.10: 848 normal eliptik galaksiye ait renk-parlaklık diyagramı. Mavi kareler yıldız oluşumu aktivitesi gösteren normal eliptikleri, magenta rengine sahip olan üçgenler ise geçiş sınıfı galaksilerini temsil etmektedir. Düz kırmızı çizgi ise normal eliptik galaksilere ait (g-i) renginin ortalama değerini temsil etmektedir. Kesikli çizgiler normal eliptik galaksilerin (g-i) renginin $\pm 1\sigma$ karşılığı noktalı kesikli çizgi ise $\pm 3\sigma$ karşılığıdır. 72

Şekil 4.11: Kırmızıya kayma değeri $0 \leq z \leq 0.2$ olan galaksilere ait koni diyagramı. GAMA verisi kullanılarak oluşturulmuştur. Mavi noktalar fotometrik kırmızıya kayma kullanılarak belirlenen IfE'leri temsil ederken, kırmızı noktalar ise GAMA taysal kırmızıya kayma verisine sahip olan galaksileri temsil etmektedir. 77

Şekil 4.12: Kırmızıya kayma değeri $0.2 < z \leq 0.4$ olan galaksilere ait koni diyagramı. GAMA verisi kullanılarak oluşturulmuştur. Mavi noktalar fotometrik kırmızıya kayma kullanılarak belirlenen IfE'leri temsil ederken, kırmızı noktalar ise GAMA taysal kırmızıya kayma verisine sahip olan galaksileri temsil etmektedir. 78

Şekil 4.13: Kırmızıya kayma değeri $0.4 < z \leq 0.6$ olan galaksilere ait koni diyagramı. VIPERS verisi kullanılarak oluşturulmuştur. Mavi noktalar fotometrik kırmızıya kayma kullanılarak belirlenen IfE'leri temsil ederken, kırmızı noktalar ise VIPERS taysal kırmızıya kayma verisine sahip olan galaksileri temsil etmektedir. 79

Şekil 4.14: Koni diyagramı üzerinde belirlenen bir IfE'nin ve etrafındaki galaksilerin 3 boyutlu uzayda nasıl dağıldıkları görülmektedir. Mavi nokta IfE'yi temsil ederken kırmızı noktlar GAMA verisinden alınmış IfE'nin etrafındaki galaksilerdir. Her bir koordinatın birimi Mpc cinsindendir. 81

Şekil 4.15: Mavi nokta IfE'yi temsil ederken kırmızı noktalar, GAMA verisinden alınmış IfE'nin etrafındaki galaksilerdir. Her bir koordinatın birimi Mpc cinsindendir..... 82

Şekil 4.16: Her bir IfE'nin etrafında 1 Mpc'lik yarıçap içerisinde bulunan bileşen galaksilerin IfE'den olan uzaklıklarına göre sayı değişimi. 60 IfE'nin etrafında 1 Mpc'lik yarıçap içerisinde toplam 1122 bileşen galaksi bulunmaktadır. 83

Şekil 4.17: IfE'lerin, 1 Mpc'lik yarıçap içerisinde sahip oldukları bileşen galaksilere ait sayı dağılımları..... 84

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Yukarıdaki tabloda erken tip galaksiler için fizik özellikler verilmiştir. D_{25}: Galaksinin yüzey parlaklığının 25 kadir/(yaysaniye)^2 'ye düştüğü çap; M/L: kütle/ışınım gücü oranını (Schneider P., 2006) göstermektedir.. 8

Tablo 2.2: Galaksilerin bulundukları ortama göre sayı yoğunlukları. 15

Tablo 3.1: CFHTLS gökyüzü taraması kapsamında gözlenen alanların boyutları, alanların merkezi koordinatları (sağaçıklık ve dikaçıklık) ve varsa alanlara ait başka taramalar verilmektedir.**.** 30

Tablo 3.2: GAMA projesi kapsamında gözlenen bölgelerin koordinatları ve parlaklık limitleri. 40

Tablo 4.1: Üç farklı eliptik galaksi grubuna ait fotometrik kırmızıya kayma dağılımının istatistiksel sonuçları görülmektedir. N.Eliptikler normal eliptik galaksileri ifade ederken, K.Eliptik ise küme eliptik galaksilere karşılık gelmektedir. Sonuçlar $\pm 1\sigma$ ve $\pm 3\sigma$ koşulu uygulandıktan sonra elde edilmiştir. 57

Tablo 4.2: IfE'lerin kırmızıya kayma dağılımlarını hem küme eliptikleriyle hem de normal eliptik galaksilerle karşılaştıran K-S testinin sonuçları. 59

Tablo 4.3: Üç farklı eliptik galaksi grubu için (g-i) renk dağılımının istatistiksel sonuçları. N.Eliptik normal eliptiklere, K.Eliptik ise küme eliptik galaksilere karşılık gelmektedir. İlk üç kolon g-i rengine $\pm 1\sigma$ uyguladıktan sonra geriye kalan galaksilerin ortalama ve standart sapma değerlerini gösterirken, son 3 kolon ise $\pm 3\sigma$ uyguladıktan sonra geriye kalan galaksilere ait değerleri temsil etmektedir. 65

Tablo 4.4: IfE'lerin g-i dağılımını hem küme eliptikleriyle hem de normal eliptik galaksilerle karşılaştıran K-S testinin sonuçları. 66

Tablo 4.5: Üç farklı eliptik galaksi grubu için etkin yarıçap dağılımının istatistiksel sonuçları. İlk üç kolon $\pm 1\sigma$ uyguladıktan sonra geriye kalan galaksilerin ortalama ve standart sapma değerlerini gösterirken, son 3 kolon ise $\pm 3\sigma$ uyguladıktan sonra geriye kalan galaksilere ait değerleri temsil etmektedir.. 68

Tablo 4.6: IfE'lerin sahip olduğu etkin yarıçap dağılımını hem küme eliptikleriyle hem de normal eliptik galaksilerle karşılaştıran K-S testinin sonuçları.. 68

Tablo 4.7: Hem yıldız oluşumu aktivitesi geçiren galaksilere hem de geçiş sınıfı galaksilerine ait konum ve çizgi oranları. Tür kısmında SF olarak belirtilen galaksiler yıldız oluşumu aktivitesi geçiren galaksileri temsil etmektedir. "Composite" olarak sınıflandırılan ise geçiş sınıfı galaksileridir. 70

Tablo 4.8: Hem IfE'lere hem de normal eliptik galaksilere ait kırmızıya kayma, etkin yarıçap ve (g-i) renk bilgisi. İlk üç satır IfE'lere ait bilgileri içerirken, son üç satır normal eliptik galaksilere aittir. Bu iki eliptik galaksi grubu BPT diyagramı kullanılarak alt gruplara ayrılmıştır.. 75

Tablo 5.1: Bugüne kadar yapılan IfE çalışmalarına ait belirlenen galaksi sayısı ve kullanılan katalog bilgisi. 89

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
$\mathbf{r_e}$	: Etkin yarıçap
z	: Kırmızıya kayma
zphot	: Fotometrik kırmızıya kayma
zspecz	: Tayfsal kırmızıya kayma
Mpc	: Megaparsek
L	: Işınım gücü
$\mathbf{D_{25}}$	: Galaksinin yüzey parlaklığının 25 kadir/(yaysaniye)^2 'ye düştüğü çap
e	: Basıklık
a	: Yarıbüyük eksen
b	: Yarıküçük eksen
$\mathbf{M_B}$	: Mutlak Parlaklık (B bandı)
r	: Galaksinin yarıçapı
$\mathbf{r_c}$	: Galaksinin merkezi bölgesinin yarıçapı
$\mathbf{I_e}$	: Etkin yarıçap içerisinden yayınlanan ışınım
$\boldsymbol{\mu}$	: Yüzey parlaklığı
$\boldsymbol{\sigma}$	: Merkezi hız dispersiyonu
$\boldsymbol{\Sigma_e}$	: Etkin yarıçaptaki yüzey parlaklığı
LF	: Lüminozite fonksiyonu
Ngal	: Galaksi sayısı
i	: i fotometrik bandı
r	: r fotometrik bandı
g-i	: g-i renk indeksi
B-R	: B-R renk indeksi
$\mathbf{m_B}$	: Görünen parlaklık (B bandı)
b	: Galaktik enlem
T	: de Vaucouleurs morfoloji tipi
r	: Radyal yoğunluk profili
$\boldsymbol{\lambda}$	: Dalgaboyu
χ^2	: Ki - kare
K	: Kelvin
D	: Uzaklık
dz	: Kırmızıya kayma doğruluğu
h	: Normalize edilmiş Hubble parametresi
H	: Hubble parametresi
kpc	: Kiloparsek
$\boldsymbol{\Omega_\lambda}$	: Karanlık enerji yoğunluğu
$\boldsymbol{\Omega_m}$	: Evrendeki madde yoğunluğu
RA	: Sağaçıklık
Dec	: Dikaçıklık

α : Sağaçıklık
δ : Dikaçıklık
$M_\odot$: Güneş Kütlesi

Kısaltmalar	Açıklama
BCD	: Mavi kompakt cüce galaksiler
cE	: Kompakt eliptikler
dE	: Cüce eliptikler
E	: Eliptik galaksiler
S0	: Merceksi galaksiler
S	: Spiral galaksiler
Irr	: Düzensiz galaksiler
cD	: Parlak-büyük eliptik galaksiler
dSph	: Cüce sferoidler
Sa-Sb-Sc	: Normal spiral galaksiler
SBa-SBb-SBc	: Çubuklu spiral galaksiler
IfE	: İzole Alan Eliptik Galaksi
CFHTLS	: Canada France Hawaii Telescope Legacy Survey
W	: Wide (Geniş)
D	: Deep (Derin)
SDSS	: Sloan Digital Sky Survey
GAMA	: Galaxy And Mass Assembly
VIPERS	: VIMOS Public Extragalactic Redshift Survey
RC3	: The Third Reference Catalogue of Bright Galaxies
NED	: NASA Extragalactic Database
CCD	: Charge Coupled Device
DSS	: Digitized Sky Survey
LEDA	: Lyon - Meudon Extragalactic Data Archive
AAO	: Anglo-Australian Observatory
2dFGRS	: 2dF Galaxy Redshift Survey
2MASS	: 2 Micron All Sky Survey
IAP	: Paris Astrofizik Enstitüsü
FITS	: Flexible Image Trasnport System
SED	: Spectral Energy Distribution
GANDALF	: Gas AND Absorption Line Fitting
BOSS	: Baryon Oscillation Spectroscopic Survey
AGN	: Aktif Galaktik Çekirdek
MS	: Milenyum Simülasyonu
K-S	: Kolmogorov-Smirnov testi
ΛCDM	: Lamda Cold Dark Matter

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İZOLE ALAN ELİPTİK GALAKSİLERİNİN YOĞUNLUĞUNUN İNCELENMESİ

Eyüp Kaan ÜLGEN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri

Danışman : Prof. Dr. Yüksel KARATAŞ

II. Danışman : Dr. Sinan ALİŞ

Bu tez çalışması kapsamında, 72 derecekarelik CFHTLS-W1 alanı içerisinde mutlak parlaklığı $M(r) \leq -21$ olan 215590 eliptik galaksi incelenmiştir. Yapılan analizlerde izole alan eliptik galaksilerini (IfE) belirlerken, Smith ve ark. (2004)'nın verdikleri izolasyon kriteri kullanılmıştır. Kullanılan bu izolasyon kriterine göre toplam 118 izole alan eliptik galaksisi belirlenmiştir. g, r ve i görüntüleri kullanılarak tüm aday IfE'lerin renkli görüntüleri oluşturulmuş ve bu adaylar görsel olarak incelenerek, şüpheli adaylar liste dışına çıkarılmıştır. Nihai listede toplam 60 tane IfE bulunmaktadır. Belirlenen IfE örneklemi, incelediğimiz aday eliptik galaksilerin % 0.027'sine karşılık gelmektedir. Başka bir ifadeyle W1 alanı içerisinde derecekare başına 0.8 IfE düşmektedir.

İzole ortamda bulunan eliptik galaksilerin nasıl oluştukları tam olarak bilinmediğinden IfE'lerin belirlenmesi, fotometrik ve morfolojik özelliklerinin küme ve normal eliptik galaksilerle karşılaştırılması eliptik galaksilerin oluşumlarının ve evrimlerinin anlaşılması için önemli rol oynamaktadır. Üç farklı eliptik galaksi grubunun g-i renk dağılımları incelendiğinde hemen hemen aynı değerler belirlenmiştir. Galaksilerin kırmızıya kayma dağılımları göz önüne alındığında, IfE'lerin hem küme eliptiklerinden hem de normal eliptiklerden daha geç zamanlarda oluştuğu görülmektedir. IfE'lerin ortalama kırmızıya kayması zphot = 0.284, normal ve küme eliptiklerinin ise sırasıyla 0.410 ve 0.732 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte galaksilerin etkin yarıçapları incelendiğinde IfE'lerin diğer iki eliptik galaksi grubuna göre daha büyük oldukları görülmüştür.

Şubat 2016, 115 sayfa

Anahtar kelimeler: Eliptik galaksi, Galaksi oluşumu ve evrimi, Gökyüzü taraması

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATING THE DENSITY OF ISOLATED FIELD ELLIPTICAL GALAXIES

Eyüp Kaan ÜLGEN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Astronomy of Space Sciences

Supervisor : Prof. Dr. Yüksel KARATAŞ

Co-Supervisor : Dr. Sinan ALİŞ

In this thesis, 215.590 elliptical galaxies with M(r) $\leq$ -21 in the CFHTLS-W1 field which is covering 72 sq. deg on the sky are examined. Criterion given by Smith et al. (2004) has been used to determine isolated elliptical galaxies. 118 isolated elliptical galaxies have been determined in total. By using g, r and i photometric bands, the true-color images of candidates are produced and visually inspected. In order to have a clean list of IfEs some candidates are excluded from the final sample after visual inspection. The final sample consists of 60 IfEs which corresponds to the 0.027 per cent of the whole sample. In other words, IfE density in the W1 is 0.8 IfE / sq.deg.

Since the formation of the ellipticals in the isolated regions is not known clearly, it is crucial to determine IfEs and compare their photometric and morphological properties to the normal or cluster ellipticals. When the (g-i) distributions of three different elliptical galaxy class are compared, it is found that they have almost the same colors. When the redshift distributions of the galaxies are considered, it can be seen that IfEs formed later than the cluster and normal ellipticals. The average redshift of IfEs is determined as zphot=0.284, while for normal and cluster ellipticals, it is, respectively, 0.410 and 0.732. In addition, when the effective radii of the three elliptical systems are considered, it is found that the IfEs are bigger than the other two elliptical classes.

February 2016, 115 page

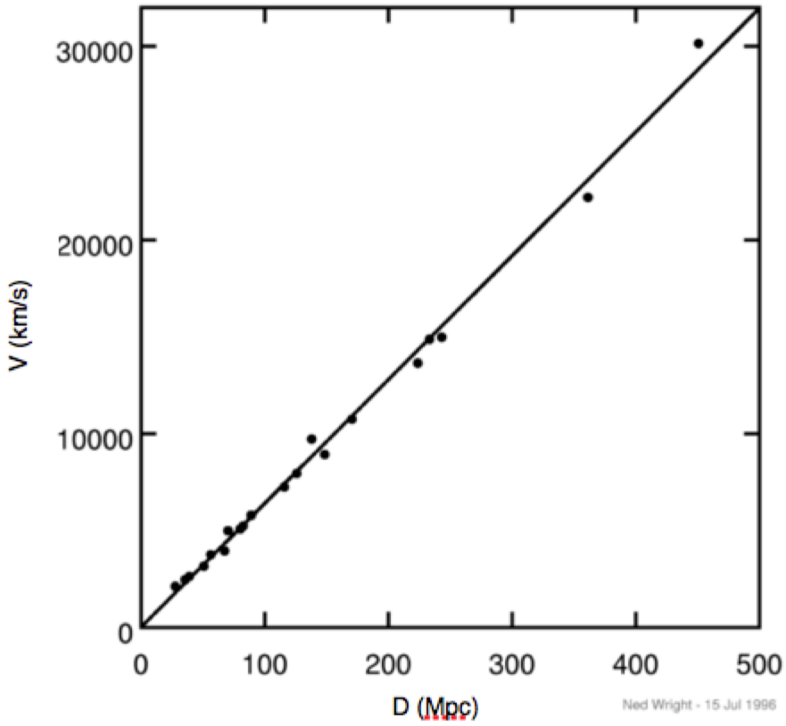
Keywords: Elliptical galaxies, Galaxy formation and evolution, Sky Survey

1. GİRİŞ

Gökyüzü insanlık tarihi boyunca hep bir merak ve gizem konusu olmuştur. Eski medeniyetlerden beri insanlar üzerinde yaşadıkları dünyanın ve evrenin nasıl oluştuğunu anlamaya çalışmaktadırlar. Kümülatif olarak artan bilgi düzeyimiz gelecek nesillere de aktarılıp bu temel arayışa devam edilecektir.

Evren hakkında sahip olduğumuz modern bilgilerin büyük bölümüne, 1900'lü yıllardan itibaren yapılan çalışmalarla ulaşılmıştır. 20 yy başlarında astronomların evren anlayışı Samanyolu galaksisiyle sınırlıydı. Aralarında Einstein'ın da bulunduğu bilim insanlarının büyük bir bölümü evrenin durağan bir yapıda olduğuna inanıyorlardı. Hatta Einstein, 1917 yılında yayınladığı genel görelilik kuramında evrenin durağan olduğunu düşündüğü için denklemlerine kozmolojik bir sabit de eklemişti. Bu sayede evrenimizin kendi üzerine çökmesi engellenecek ve durağan olmaya devam edecekti. Fakat 1920'li yıllardan itibaren Edwin Hubble'ın yaptığı gözlemler durumun böyle olmadığını ortaya koydu. Hubble Samanyolu Galaksisine benzer başka galaksilerin de evrende bulunduğunu ve bunların hem bizden hem de birbirlerinden uzaklaştığını bilim dünyasına sundu. Şekil 1.1'de Hubble'ın 1929 yılındaki makalesinde yayınladığı orijinal diyagram verilmiştir. Bu diyagram; evrenimizin genişlediği anlamına geliyordu. Hubble'ın 1929 yılında yaptığı gözlemler, galaksi dışı astronomi çalışmaları için bir mihenk taşı ve gözlemsel bir devrim niteliği taşımaktadır.

Gelişen teknolojiyle birlikte kullanılan teleskoplar ve uydu gözlemleri evrenin daha derinliklerine bakmamıza imkân vermiştir. Evrenin geniş ölçekli yapısını inceleyen gökyüzü taramaları sonucunda, galaksi ve galaksi kümelerinin evrenin yapıtaşlarını oluşturdukları anlaşılmıştır. Bu cisimler evrendeki en büyük yapıları oluşturmaktadır. Özellikle galaksi kümeleri bizlere bir laboratuvar imkanı sunmaktadır. Bu sayede galaksilerin oluşum ve evrim süreçlerini gözlemleyebilmekteyiz. Galaksilerin ve galaksi kümelerinin oluşum mekanizmalarının ve evrim süreçlerinin araştırılması evrendeki madde dağılımını anlamamız için önem arz etmektedir.



Şekil 1.1: Hubble diyagramı[1]. Galaksilerin uzaklaşma hızları ile uzaklıkları arasındaki ilişki.

Hubble sınıflandırmasına göre galaksiler temel olarak 3 farklı morfolojik sınıfa ayrılır. Bunlar eliptik (Ell), spiral (normal spiraller S, çubuklu spiraller SB) ve düzensiz (Im) galaksilerdir. Ayrıca eliptik ve spiral galaksiler arasında geçiş türü olan SO galaksileri mevcuttur.

Son yüzyılda yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür ki; galaksiler genel olarak 3 farklı çevrede bulunur; küme, grup ve alanda. Yapılan çalışmalarla galaksilerin %50'den fazlasının grup veya kümelerde olduğu tespit edilmiştir (Humason ve ark., 1956; Huchra & Geller, 1982). Morfoloji-yoğunluk ilişkisi (Dressler, 1980) ile gösterildiği gibi galaksi grupları ve galaksi kümeleri gibi yoğun ortamlarda, eliptik galaksiler diğer galaksilere göre sayıca daha fazladır. Bunun en temel nedeni; eliptik galaksilerin, artan ortam yoğunluğu ile galaksi çarpışmaları ve galaksi birleşmeleri yoluyla oluşmalarıdır. Toomre ve Toomre'nin (1972) çalışmasından beri eliptik

[1] http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmo_01.htm

galaksilerin, sarmal galaksilerin çarpışmaları ile oluştuğu düşünülmektedir. Günümüze kadar yapılan çalışmalar ve simülasyonlar eliptik galaksilerin esas oluşum biçimlerinin galaksi birleşmeleri yoluyla olduğunu doğrulamaktadır (de Lucia ve ark., 2006; Smith ve ark., 2004, 2010; Niemi ve ark., 2010; de Lucia ve ark., 2012). Bununla birlikte, herhangi bir galaksi kümesine veya grubuna dahil olmayan çok sayıda eliptik galakside belirlenmiştir (Smith ve ark., 2004; Reda ve ark., 2004; Norberg ve ark., 2008). İzole alan eliptik galaksiler (IfE) olarak adlandırılan bu galaksilerin nasıl oluştukları tam olarak anlaşılamamıştır. Geçen 20 yıl içerisinde yapılan çalışmalarda; küme ve yığınlardan oluşan çökme durumundan, evrenin erken dönemlerinde gerçekleşen çoklu birleşme durumlarına kadar olası farklı oluşum senaryoları önerilmiştir (Mulchaey & Zabludoff 1999; Reda ve ark., 2004,2007). Bunlara ek olarak, eş kütleli iki galaksinin veya küçük grupların birleşmesi de (Jones ve ark. 2000; D'onghia ve ark., 2005) izole alan eliptik galaksi oluşumunda literatürde mevcut olan evrim senaryolarındandır.

Bu çalışmada, 2003-2009 yılları arasında tamamlanan Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey (CFHTLS) gökyüzü taramasından elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu veriler beş banttaki (u, g, r, i, z) görüntüler, galaksi katalogları ve fotometrik kırmızıya kayma kataloglarından oluşmaktadır. İzole alan eliptik galaksiler, CFHTLS gökyüzü taramasının dört geniş alanından biri olan, 72 derecekarelik W1 alanında aranmıştır. W1 alanında parlaklıkları ölçülmüş ve kırmızıya kaymaları fotometrik yollarla (zphot) belirlenmiş, yaklaşık 3.700.000 galaksi bulunmaktadır. Çalışmamızda eliptik galaksiler $M(r) \leq -21$ ile sınırlandırılmıştır. CFHTLS verilerine eşlik eden fotometrik kırmızıya kaymalar ve spektral tipler LePhare (Arnouts ve ark., 1999) programı ile hesaplanmış olarak, tüm veriler ile birlikte Terapix (IAP, Paris) tarafından sunulmuştur.

İzole alan eliptik galaksilerini belirlemek için bir bilgisayar programı yazılmıştır. Yazılan program içerisinde IfE adayları, Smith ve ark. (2004)'nın kullanıldıkları yöntem ile belirlenmiştir. İzole ortamda bulunan eliptik galaksilerin nasıl oluştukları tam olarak bilinmediğinden IfE'lerin belirlenmesi, fotometrik ve morfolojik özelliklerinin küme ve normal eliptik galaksilerle karşılaştırılması eliptik galaksilerin oluşumlarının ve evrimlerinin anlaşılması için önemli rol oynamaktadır. Bu sebeple

IfE'leri hem normal hem de küme eliptik galaksilerle karşılaştırdık. Daha sonra belirlenen IfE'lerin W1 alanı içerisindeki sayı yoğunlukları da hesaplanmıştır.

Yapılan analizler sonucunda toplam 60 izole alan eliptik galaksi adayı literatüre kazandırılmıştır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar arasında literatüre en fazla IfE adayı bu çalışmayla birlikte kazandırılmıştır. Bilinen IfE'lerin sayısını arttırmak ve bu galaksileri yoğun ortamda bulunan eliptik galaksilerle karşılaştırmak, bu galaksilerin nasıl oluştukları konusunda ipuçları verebilmektedir. Bu sebeple tezin bulgular kısmında izole alan eliptik galaksilerin fotometrik ve morfolojik özellikleri küme üyesi eliptik galaksilerle karşılaştırılmış ve eliptik galaksilerin oluşumlarının ve evrimlerinin anlaşılması için önemli adım atılmıştır. IfE'lerin kırmızıya kayma dağılımları göz önüne alındığında, izole olmayan eliptiklerden daha geç zamanlarda oluştuğu görülmüştür. Bu bulgu, galaksilerin morfoloji-yoğunluk ilişkisi ile uyumludur. Galaksi kümeleri gibi yoğun ortamlarda, galaksilerin birbirleriyle etkileşmeleri ve birleşme olayları daha sık gerçekleştiğinden, yoğun ortamda eliptik galaksilerin oluşumu kozmik zamanda daha erken olmaktadır. İzole alan eliptik galaksi çalışmalarının temelinde literatürde "nature vs nurture" olarak adlandırılan, bünyesel ve çevresel evrim tartışmaları bulunmaktadır. Günümüzde devam eden araştırmalarda eliptik galaksilerin oluşumu ve evriminde çevre koşullarının ne kadar önemli olduğu hâlâ araştırılmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey (CFHTLS) gökyüzü taraması verilerini kulanılarak W1 alanı içerisinde bulunan izole alan eliptik galaksilerini belirlemek ve bu galaksilerin sayı yoğunluğunu hesaplamaktır. Ayrıca IfE'lerin fotometrik ve morfolojik özelliklerini normal eliptik ve küme üyesi eliptik galaksilerle karşılaştırarak, farklı ortamlar içerisinde bulunan eliptiklerin ne ölçüde birbirlerinden farklı olduklarını incelemektir.

2. GENEL KISIMLAR

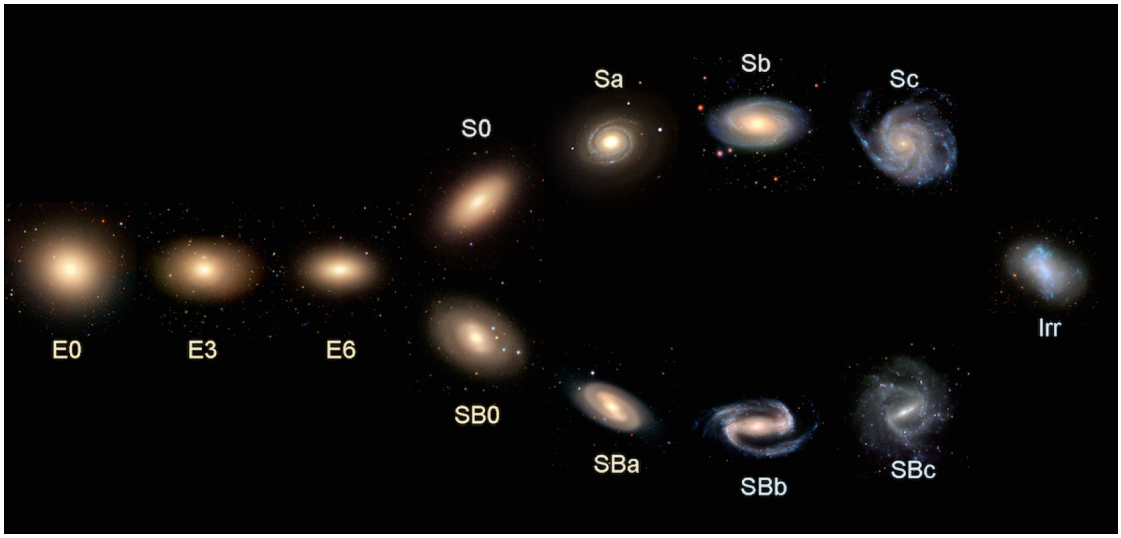
2.1 GALAKSİ MORFOLOJİSİ

Galaksi dışı astronomi çalışmaları Edwin Hubble'ın 1920'li yıllarda yaptığı gözlemlerle başlamıştır. Hubble'ın Mount Wilson Gözlemevi'ndeki 2.5 m'lik teleskopla yaptığı gözlemler, Samanyolu Galaksisi'nin ötesinde başka galaksiler olduğunu göstermiştir. (Hubble, 1929).

Yapılan gözlemlerde galaksilerin çeşitli özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Galaksiler biçim, ışınım gücü, renk, metal bolluğu gibi fiziksel özellikler bakımından farklılıklar göstermektedir. Galaksilerin sınıflandırılması, gözlemlerde belirlenen fiziksel özelliklere göre yapılmaktadır. Bu da ilgili galaksinin geleneksel olarak iyi tanımlanmış örnekler ile karşılaştırılması ile mümkün olmaktadır. Hubble tarafından geliştirilen morfolojik sınıflandırma (Hubble, 1936) günümüzde hala en yaygın olarak kullanılandır. Hubble sınıflandırılmasında üç ana galaksi türü bulunmaktadır. Bunlar eliptik, spiral ve düzensiz galaksilerdir. Hubble sınıflandırması dışında başka galaksi sınıflandırmaları da vardır. De Vaucouleurs sistemi, DDO sistemi, Yerkes Sistemi bunlardan bazılarıdır (Schneider, 2006)

2.1.1 Hubble Sınıflandırması

Hubble galaksileri, eliptik, spiral ve düzensiz olmak üzere üç ana grupta toplamıştır (Şekil 2.1). Eliptik galaksiler, basıklık derecesine göre alt gruplara ayrılır. Eliptik galaksiler, $0 < e < 0.7$ arasında basıklık (ellipticity) derecesine sahiptirler. Eliptik galaksilerin basıklık derecesi, a yarıbüyük eksen; b yarıküçük eksen olmak üzere, (1 - b/a) ile belirlenir. Bu şekilde alt gruplara ayrılan eliptik galaksiler, En ile gösterilmektedir. Burada n indisi n=10*e ile belirlenmektedir. E0 olan eliptik galaksiler en az basıklığa sahiptir ve düzgün bir küresel galaksi görünümündedir. E0'dan E7'ye doğru gidildikçe, basıklık değeri artar ve galaksi yassı bir görünüme sahip olur.



Şekil 2.1: Hubble galaksi sınıflaması. Diğer adıyla Hubble çatal diyagramı, farklı morfolojilere sahip galaksileri göstermektedir.

Eliptik galaksiler genellikle düzgün biçimlidir. Yani spiral galaksilerde olduğu gibi spiral kollar, çubuk yapı ve toz gibi bileşenleri yoktur. Ayrıca bünyelerinde bulunan gaz miktarı çok azdır. Ağırlıklı olarak kırmızı renkli ve yaşlı yıldız popülasyonlarına sahiptirler. Eliptik galaksiler, genel olarak zengin galaksi kümelerinde bulunmaktadır.

Spiral galaksiler, disk, spiral kollar ve merkezi bir şişkin bölgeden (bulge) oluşmaktadır. Kabaca iki alt sınıfa ayrılırlar: Normal (S) ve çubuk yapıya sahip spiraller (SB). Bu alt sınıfların her birinde şişkin bölge ve diskin parlaklık oranlarına bağlı olarak bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflama a, ab, b, bc, c, cd, d harfleri ile belirtilmektedir ve a ile gösterilen galaksiler erken tipten, d ile gösterilen galaksiler ise geç tiptendir. Yıldızların tayflarındakine benzer şekilde, erken ve geç tip ifadeleri tamamen tarihsel bir kullanım olup, evrimsel bir sırayı ifade etmemektedir.

Spiral galaksilerin kollarında genel olarak parlak, sıcak O ve B tipi yıldızları kümelenmiştir. Galaksi içerisinde bulunan bol miktardaki gaz ve toz sıkışarak bu parlak, sıcak yıldızları oluşturmuştur.

Spiral galaksiler, eliptik galaksilerin aksine zengin galaksi kümelerinde az miktarda bulunmaktadır. Küme içerisindeki sayı yoğunlukları merkezden dışarı doğru gidildikçe artmaktadır.

Düzensiz galaksiler genel olarak yapısal bir düzen göstermez. Düzensiz galaksilerin, evrenin erken dönemlerinde belirli bir morfolojiye sahip oldukları fakat yaşadıkları kütleçekimsel kararsızlıklarla şekillerinin değiştiği düşünülmektedir (Schneider, 2006, 2015)

S0 galaksileri, eliptik ve spiral galaksiler arasında yer alan ara tür galaksilerdir. İnce kenarlı mercek görünümünde olduklarından, merceksi galaksiler olarak da adlandırılmaktadır. Genel olarak bir şişkin bölgeden ve disk yapıdan meydana gelirler.

Hubble sınıflandırmasında, eliptikler ve S0 galaksileri erken tip galaksiler olarak belirtilirken, spiral galaksiler geç tip olarak sınıflandırılmıştır. Bu isimlendirmenin evrimsel bir karşılığı yoktur. Yalnızca tarihsel bir durumdur.

Yukarıda anlatılan galaksi morfolojilerindeki ana tiplerin yanısıra Hubble diyagramında gösterilmeyen galaksiler de vardır. Bunlar, çoğunlukla galaksiler arasındaki etkileşimler sonucunda oluşmaktadır.

2.1.2 Eliptik Galaksiler

Eliptik galaksiler, ışınım gücü ve boyutlarına göre farklı alt sınıflara ayrılmaktadır. **Normal eliptikler**; dev eliptikler (gE), ortalama ışıma gücüne sahip olan eliptikler (E) ve kompakt eliptik (cE) galaksilerden oluşmaktadır. Normal eliptiklerin, B bandı için mutlak parlaklık aralığı $-15 < M_B < -23$ değerleri arasındadır. **Cüce eliptikler**, kompakt eliptik galaksilere göre belirgin bir şekilde daha düşük yüzey parlaklığına ve metal bolluğuna sahiptir. **cD galaksileri**, çok büyük boyutlara ($R \leq 1$ Mpc) ve ışınım gücü ($M_B \sim -25$) değerlerine sahip dev eliptiklerdir. Genel olarak galaksi kümelerinin merkezlerinde bulunurlar. Yüzey parlaklık değerleri, kümenin merkezindeki değere çok yakındır. Ayrıca büyük kütle-ışınım gücü oranlarına sahiptirler. **Mavi kompakt cüce galaksiler**, diğer eliptiklerden daha belirgin şekilde mavidir ($\langle B-V \rangle \sim 0.0$ ile 0.3 arasındadır). Bu durum fazla miktarda gaz bileşenine sahip olduklarını göstermektedir. **Cüce sferoidler**, çok düşük ışınım gücü ve yüzey parlaklığı gösterirler. Bu fiziksel özellikleri sebebiyle şimdiye kadar sadece Yerel Grup'ta gözlenebilmişlerdir. Dolayısıyla eliptik galaksiler, ışınım gücü, yüzey parlaklığı ve kütlelerine göre geniş bir aralıkta bulunur. Tablo 2-1'de eliptik galaksilerin alt türlerine ait temel özellikler listelenmiştir.

Tablo 2.1: Yukarıdaki tabloda erken tip galaksiler için fizik özellikler verilmiştir. D_{25}: Galaksinin yüzey parlaklığının 25 kadir/(yaysaniye)^2 'ye düştüğü çap; M/L: kütle/ışınım gücü oranını (Schneider P., 2006) göstermektedir.

	S0	cD	E	dE	dSph	BCD
M_B	-17 ile -22	-22 ile -25	-15 ile -23	-13 ile -19	-8 ile -15	-14 ile -17
$M(M_\odot)$	10^{10}-10^{12}	10^{13}-10^{14}	10^{8}-10^{13}	10^{7}-10^{9}	$10^{7} – 10^{8}$	$\sim 10^{9}$
D_{25} (kpc)	10-100	300-1000	1-200	1-10	0.1 – 0.5	< 3
$\langle M/L_B \rangle$	~10	>100	10-100	1-10	5 - 100	0.1-10

Eliptik galaksiler, mavi kompakt olanlarının dışında optik olarak gözlendiklerinde kırmızı renkte görülürler. Kırmızı renkte görülmelerinin nedeni bünyelerinde bulundurdukları yaşlı yıldızlardır. Genel olarak ne gaz ne de toz bileşenine sahip oldukları düşünülmektedir. Ancak güncel çalışmalar, eliptik galaksilerin az da olsa gaz ve toz içerdiklerini göstermiştir. Spiral bir galaksiyle karşılaştırıldığında içerdikleri gaz ve tozun miktarı çok azdır.

Çoğu eliptik galaksinin içerisinde var olan sıcak gaz bileşeni (~10^7 K) X-ışın gözlemleriyle tespit edilmiştir. Buna ek olarak, Hα emisyon çizgileri kullanılarak ılık gazlar (~10^4 K), HI (nötral hidrojen) ve CO (karbonmonoksit) molekül çizgileriyle de soğuk gazlar (~ 100 K) gözlenmiştir. Bununla birlikte, soğuk atomik ve moleküler gazın tahmini kütlesi, eliptik galaksiler içerisindeki yıldız kütlesinin %1'inden daha azdır. Bu gaz miktarı, yıldızların evrimleri sırasında (yıldız rüzgârları, gezegenimsi bulutsular) ortama saçılan gazdan daha azdır.

Eliptik galaksilerin içerisindeki yıldız popülasyonlarının büyük bir oranını yaşlı yıldızlar oluşturmaktadır. Tayfsal gözlemler sonucunda eliptik galaksilerin çok düşük oranda yıldız oluşumu gerçekleştirdikleri tespit edilmiştir. Bu durum GALEX uydusu tarafından yapılan UV gözlemleriyle de desteklenmiştir. Optik olarak kırmızı renge sahip eliptik galaksilerin % 15'inde belirgin UV artığı görülmüştür. ~ 1500 Å'da gözlenen UV artığı dışında, doğrudan görüntüleme ile erken tip galaksilerin yaklaşık %75'inde yıldız oluşum aktivitesi görülmüştür. Bununla birlikte erken tip galaksilerde yıldız oluşum oranı çok düşüktür (~0.5 $M_\odot$/yıl).

Eliptik ve S0 galaksilerinin metal bolluğu, galaksi merkezine doğru artmaktadır. Ayrıca S0 galaksilerinde şişkin bölge diskten daha kırmızı görünür. 2003 yılında fırlatılan

Spitzer Uzay Teleskobu, S0 galaksilerinde dağınık ılık tozun varlığını göstermiştir. Bununla birlikte eliptik ve S0 galaksilerinin içerisinde soğuk toz da gözlenmiştir.

Başlarda yapılan çalışmalarda eliptik galaksilerin gözlenen yüzey parlaklık dağılımlarını açıklamak için, Hubble tarafından geliştirilmiş olan, galaksinin yarıçapı, r'ye bağlı bir ifade kullanılmıştır:

$$I(r) = I_0 \left(\frac{r}{r_c} + 1\right)^{-2} \tag{2.1}$$

Bağıntı içerisinde geçen r_c, galaksinin merkezi bölgesinin yarıçapıdır. Bu bağıntı, eliptik galaksilerin merkezi bölgelerini çok iyi açıklamış olsa da galaksinin kenarlarına doğru gidildikçe aynı şekilde uyumlu değildir.

Eliptik galaksilerin ve spiral galaksilerdeki şişkin bölgenin yüzey parlaklık dağılımları, de Vaucouleurs kanunuyla daha iyi bir şekilde ifade edilmektedir. de Vaucouluers tarafından geliştirilmiş olan bu deneysel kanun, literatürde $r^{1/4}$ kanunu olarak da anılmaktadır (de Vaucouleurs 1948).

$$\log_{10}\left[\frac{I(r)}{I(r_e)}\right] = -3.3307\left[\left(\frac{r}{r_e}\right)^{\frac{1}{4}} - 1\right], \tag{2.2}$$

veya

$$\log_{e}\left[\frac{I(r)}{I(r_e)}\right] = -7.6692\left[\left(\frac{r}{r_e}\right)^{\frac{1}{4}} - 1\right]. \tag{2.3}$$

Bu ifade, eliptik galaksilerin parlaklık profillerini iyi bir şekilde temsil etmektedir. r_e galaksinin etkin yarıçapını belirtmektedir. Etkin yarıçap, galaksinin toplam ışınım gücünün yarısının geldiği bölgeyi nitelemektedir. r_e içerisinden yayınlanan ışınım $I(r_e)$ ile gösterilir.

Galaksinin toplam ışınım gücü;

$$L = 7.215\pi I_e r_e^2 \left(\frac{b}{a}\right), \tag{2.4}$$

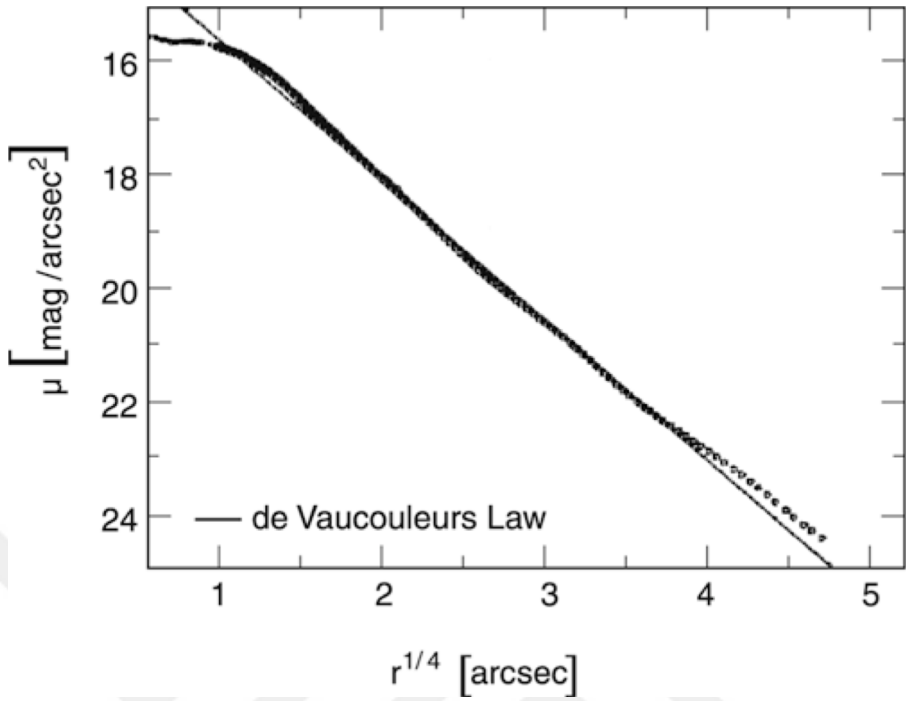
ile verilir (Gilmore ve ark., 1989). Burada (b/a), eliptik galaksilerin yarıbüyük ve yarıküçük eksenlerinin oranını ifade etmektedir.

Normal eliptiklerin ve cD galaksilerinin parlaklık profilleri, hemen hemen de Vaucouleurs profiliyle tanımlanmaktadır. Bir örnek olarak normal eliptik galaksi sınıfına giren NGC 4472 galaksisinin parlaklık profili Şekil 2.2'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere de Vaucouleurs kanunu iyi bir uyum göstermektedir.

Etkin yarıçap (r_e) ile mutlak parlaklık (M_B) arasında güçlü bir ilişki vardır. Karşılaştırıldığında, dE ve dSph galaksileri açıkça farklı bir dağılım göstermektedir. Işınım gücü, etkin yarıçap ve merkezi yüzey parlaklığı arasındaki ilişkiye dayanarak, etkin yarıçap içerisinden gelen ortalama yüzey parlaklığı ile mutlak parlaklık (M_B) için de benzer bir ilişki vardır. Özellikle normal eliptiklerin yüzey parlaklığı, artan ışınım gücü değeriyle azalmaktadır. dE ve dSph galaksilerinde ise durum tam tersidir.

Bu ilişkiyi ifade etmenin bir diğer yolu mutlak parlaklıktan kurtulmaktan geçer. Bunun sonucu olarak etkin yarıçap (r_e) ve yüzey parlaklığı arasında bir ilişki elde edilir. Bu, Kormendy ilişkisi (Kormendy 1977) olarak da adlandırılmaktadır.

De Vaucouleur profili, normal eliptik galaksilerin parlaklık profiliyle iyi bir uyum sağlamaktadır. Oysa ki, son derece yüksek parlaklıklara sahip E'lerin profili, artan yarıçaplar için yavaşça azalmaktadır. cD galaksilerinin profilleri de Vaucouleur profiliyle tam olarak tanımlanamamaktadır. Fakat merkezi kısım için iyi bir uyum göstermektedir. Merkezden dışarı doğru gidildikçe saçılma göstermektedir. cD galaksiler, E'lere benzerlik gösterseler de çok geniş ve parlak karanlık madde halolarına gömülü halde bulunmaktadırlar. cD galaksiler, yalnızca büyük kütleli galaksi kümelerinin merkezlerinde gözlenmişlerdir. Bu, galaksilerin morfolojileri ve çevre koşulları arasında bir ilişki olduğu anlamına gelmektedir. Yukarıda bahsedilen eliptik sınıfların tersine, dE galaksileri, üstel profil ile daha iyi bir şekilde tanımlanmaktadırlar.



Şekil 2.2: NGC 4472 eliptik galaksisinin "de Vaucouleurs kanunu" kullanılarak elde edilen yüzey parlaklık profili (Schneider P., 2006).

Kapsamlı çalışmalar sonucunda, eliptik galaksilerin özellikleri arasında bir dizi ilişki olduğu görülmüştür. Özellikle ışınım güçleri, boyutları, hız dispersiyonları, yüzey parlaklıkları veya ağır element bollukları arasında. Bunlar arasında özellikle iki ilişki önem arz etmektedir. Bunlardan ilki, Faber ve Jackson ilişkisidir. Işınım gücü ve merkezi hız dispersiyonu arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür. İlişkinin genel formu, $L \alpha \sigma^x$ dir. x bilinmeyenin değeri 4'e eşittir (Faber ve Jackson, 1976). Bu ilişki daha sonraki yıllarda başka yazarlar tarafından da çalışılıp geliştirilmiştir Bu ilişkinin önemi, bir eliptik galaksi için hız dispersiyonu ölçüldüğünde, galaksinin gerçek ışınım gücünün, Faber-Jackson ilişkisinden bulunabilmesidir. Bununla birlikte akı yoğunluğu ölçüldüğünden galaksinin uzaklığı da belirlenebilmektedir.

Ölçülen uzaklıklar için bu işlem Dressler tarafından düzenlenmiştir. Aynı yıl Djorgovski ve Davis tarafından da "Fundamental Plane"nin konsepti ortaya konuldu.

"Fundamental Plane" üç parametre uzayında tanımlanmaktadır. Dressler ve meslektaşları (Djorgovski ve Davis 1987), yüzey parlaklığını çalışmalarına dahil ettiklerinde Faber-Jackson ilişkisinden daha güçlü bir ilişki bulmuşlardır.

$$L = \sigma^{8/3}\Sigma_e^{-3/5} \quad . \tag{2.5}$$

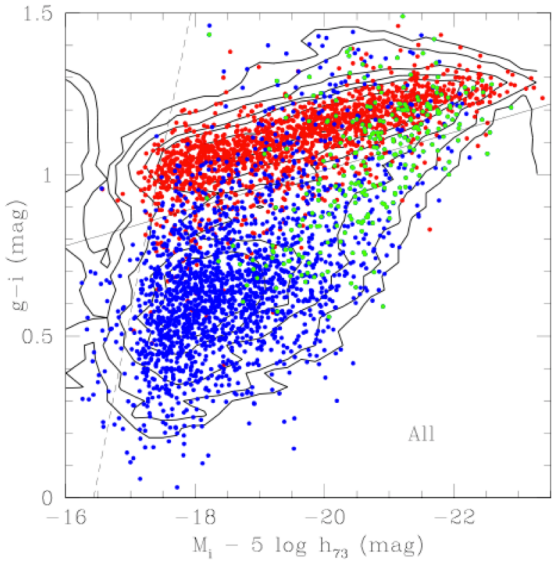
Literatürde, "fundamental plane" farklı şekilde de ifade edilebilmektedir (Longair S. M., 2007). Örneğin,

$$r_e \; \alpha \; \sigma^{1/4} I_e^{-0.9} \quad . \tag{2.6}$$

2.2 MORFOLOJİ VE RENK İLİŞKİSİ

Geleneksel olarak galaksi morfolojisine dayanan sınıflandırmalar gözle kontrol edilerek yapıldığından, morfolojilerin hatalı olarak belirlenmesi yüksek bir olasılıktır. Bu türden bir yöntem kullanıldığında araştırmacıya bağlı olarak bazı farklılıklar meydana gelmektedir. Buna ek olarak, gözle yapılan kontrol ciddi bir zaman kaybına sebep olup, gökyüzü taramaları gibi büyük galaksi verilerinde kullanışsız olmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte farklı yöntemler geliştirilip, daha doğru bir galaksi sınıflandırması yapılmaktadır. Fakat buna rağmen galaksilerin uzaysal konumlarına veya morfolojik özelliklerine bağlı olarak bazı problemler devam etmektedir. Örneğin büyük kırmızıya kayma değerlerine (uzak) gidildikçe galaksilerin açısal büyüklükleri çok iyi belirlenemediği için morfolojileri yüksek doğrulukla belirlenememektedir (Schneider 2006, 2015).

Galaksilerin sınıflanması, uzun süredir renk bilgileri kullanılarak yapılmaktadır. Bunun nedeni, galaksilerin rengini belirlemek morfolojilerini belirlemekten daha kolay olmasıdır. Özellikle cüce galaksiler için bu daha da önemli olmaktadır. Ek olarak, galaksilerin fiziksel özellikleri, renkleri yardımıyla çok daha iyi belirlenebilmektedir.



Şekil 2.3: Galaksilere ait renk-parlaklık diyagramı[2]. Kırmızı noktalar eliptik galaksileri, mavi noktalar spiral galaksileri temsil etmektedir.

Yapılan gözlemler sonucunda galaksilerin, açık bir şekilde iki kutuplu (bimodal) dağılım gösterdikleri bulunmuştur. Galaksilerin renk-parlaklık diyagramları incelendiğinde, eliptik galaksiler kırmızı kol olarak adlandırılan bir yapı üzerinde bulunurken, spiral galaksilerin mavi bulut olarak adlandırılan bölgede bulundukları görülmüştür. Galaksiler genelde iki ayrı tür olarak tanımlanmıştır: Kırmızı, yıldız oluşumu göstermeyen erken tip galaksiler (eliptik veya merceksi) ve mavi, aktif yıldız oluşumu gösteren geç tip galaksiler (spiral veya düzensiz) (Strateva ve ark. 2001; Balogh ve ark., 2004; Baldry ve ark., 2004; Bell ve ark., 2004; Kaufmann ve ark., 2004; Croton ve ark., 2005). Genel olarak, mavi galaksilerde, baskın emisyon çizgileri üretilmesine sebep olan genç sıcak yıldızlar ağırlıklı olarak bulunurken, kırmızı galaksilerde yaşlı yıldız popülasyonu görülmektedir. Unutulmamalıdır ki bir galaksinin rengi, yalnızca yaş veya yıldız oluşum oranıyla ilişkili değildir. Ayrıca toz veya kimyasal evrim gibi diğer etkenler de galaksinin rengi üzerinde etkili olabilir.

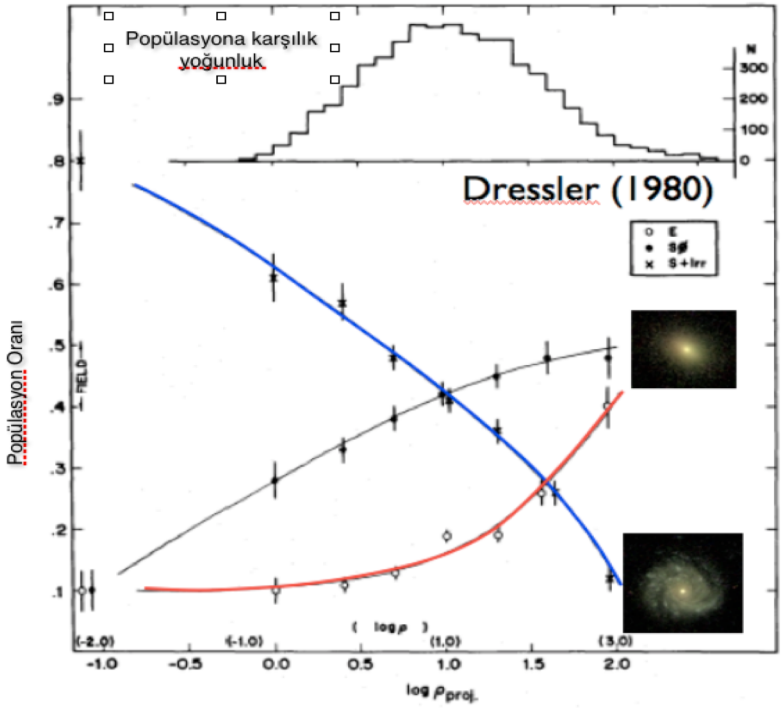
Işıma gücü fonksiyonunda (LF), galaksiler iki kol üzerinde yığılma göstermektedir. LF'nin sönük ucunda mavi galaksiler baskın durumdayken, LF'nin parlak ucunda

[2] http://egg.astro.cornell.edu/alfalfa/ugradteam/hunt13/hunt3_teamA_13.htm

kırmızı, pasif evrim geçiren galaksiler bulunmaktadır. Daha da önemlisi, yapılan gözlemler sonucunda kırmızı koldaki galaksilerin toplam yıldız kütle yoğunluğu son 6 – 8 milyar yılda iki katına çıkmışken, mavi galaksilerin neredeyse sabit kaldığı anlaşılmıştır (Bell ve ark. 2004; Faber ve ark. 2007). Bu durumda eğer yeni yıldızların çoğunlukla mavi galaksilerde oluştuğunu varsayarsak, mavi bulut bölgesindeki galaksiler zamanla kırmızı kol galaksilerine dönüşmektedir. Bu dönüşümün mavi bulut galaksilerindeki yıldız oluşumu kesildikten sonra 2 milyar yıl sürdüğü varsayılmaktadır (Mo ve ark. 2010). Bundan dolayı, iki kol arasındaki belirgin evrimin kozmik zamanın bir fonksiyonu olarak meydana geldiğini varsayabiliriz.

2.3 MORFOLOJİ - YOĞUNLUK İLİŞKİSİ

İlk olarak Hubble ve Humason tarafından bulunan morfoloji yoğunluk ilişkisi daha sonra bir çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Oemler, 1974; Davis & Geller, 1978; Dressler, 1980). Galaksilerin morfoloji-yoğunluk ilişkisi ile gösterildiği gibi, galaksi grupları ve galaksi kümeleri gibi yoğun ortamlarda eliptik galaksiler diğer galaksilere göre sayıca daha fazladır (Dressler, 1980). Şekil 2.4'te bu ilişki görülmektedir. Küme içerisinde bulunan spiral galaksi oranı ise küme merkezinden dışarıya doğru gittikçe artmaktadır. Fakat küme içerisinde bulunan spiral galaksilerin oranı, alanda bulunan spiral galaksilere göre daha düşüktür. Küme ve grup gibi yoğun ortamlarda erken tip galaksi popülasyonu daha fazladır. Yoğun olmayan bölgelerde ise durum tam tersine dönmektedir. Düşük yoğunluklu çevrelerde eliptik galaksiler %10'dan daha az bulunurken, spiral galaksiler baskın hale gelmektedir (Bahcall, 1999). Bunlara ek olarak, yoğun bölgeler içerisindeki erken tip galaksiler, ortalamadan daha fazla kütleye, kırmızılığa, daha az gaz zenginliğine ve çok daha düşük yıldız oluşum oranına sahiptir (Kauffmann ve ark., 2004; Baldry ve ark., 2006; Weinmann ve ark., 2006). Bu durum çevrenin bir etkisi olabileceğini ima etmektedir. Ayrıca galaksilerin morfoloji ve dinamik yapılarındaki farklılıklar, farklı evrimsel süreçler için bir kanıt olarak yorumlanmaktadır (Kennicutt, 1998).



Şekil 2.4: Galaksi morfoloji-yoğunluk ilişkisi [3] (Dressler, 1980). Kırmızı çizgi eliptik galaksileri, mavi çizgi ise spiralleri göstermektedir.

Genel olarak bir galaksinin morfolojisi, yukarıda da anlatıldığı gibi bulunduğu çevredeki galaksi yoğunluğuyla çok ilişkilidir. Tablo 2.2'de galaksilerin bulundukları ortama göre morfolojilerindeki sayı değişimi görülmektedir.

Tablo 2.2: Galaksilerin bulundukları ortama göre sayı yoğunlukları.

	E	S0	Sp	(E+S0)/Sp
Düzenli Küme	%35	%45	%20	4.0
Orta küme	%20	%50	%30	2.3
Düzensiz Küme	%15	%35	%50	1.0
Alan	%10	%20	%70	0.5

[3] http://www.nottingham.ac.uk/astronomy/stages/public_ge.html

Çevre koşulları bir galaksinin oluşumunda ve evriminde önemli bir anahtardır (Niemi, 2011). Morfoloji-yoğunluk ilişkisi kullanılarak, en azından bazı eliptik ve merceksi galaksilerin, spiral galaksilerin birleşmesi sonucu oluştuğu anlaşılmıştır. Galaksi birleşmeleri, küme ve grup gibi yoğun ortamlarda bulunan erken tip galaksilerin yüksek oranda bulunmalarının olası sebebidir. Buna ek olarak, galaksi birleşmelerinin olmadığı durumda galaksilerin bünyesel (olağan) evrimi (Sellwood ve Merritt, 1994; Norman ve ark. 1996; Kormendy ve Kennicutt, 2004) ve disk kararsızlıkları da galaksilerin morfolojisini değiştirebilir (Raha ve ark. 1991; Dekel ve ark. 2009). Galaksi diski yeterince büyük ve istikrarlı olmadığında disk kararsızlığı meydana gelmektedir. Bundan dolayı morfoloji yalnız başına galaksinin oluşumunu belirleyemez. Ayrıca geçmişte meydana gelmiş olası galaksi birleşmeleri de gözönüne alınmalıdır.

Morfoloji-yoğunluk ilişkisinin orijini, birçok fiziksel işlemin bir sonucu olarak ortaya çıkmış olabilir. Örneğin, ortam yoğunluğu ile gazın yitirilmesi (ram pressure stripping), gelgit etkilenmesi (tidal stripping) ve galaksi etkileşmesi (galaxy harassment) bunlardan birkaçıdır. Çarpma basıncı soyulması, küme gibi yoğun bir ortamdan geçen herhangi bir galaksinin, çok az bir sürede sahip olduğu bütün gazı yitirmesine sebep olur. Bununla birlikte galaksiler arasında gelgit etkisi ve galaksi tacizi de bir galaksinin sahip olduğu gazı yitirmesine neden olmaktadır. Bu süreçler, spiral bir galaksinin S0 türüne ve kırmızı renkte bir spiral galaksiye dönüşmesine neden olabilir. Yani galaksilerin özellikleri, morfoloji-yoğunluk ilişkisinden de bildiğimiz üzere bulundukları çevreyle yakından ilişkilidir. Dolayısıyla çevresel bağlılıkların çoğu grup veya küme dediğimiz yoğun ortamlarda anlaşılabilir hale gelmektedir. Etkileri doğrudan çevreden kaynaklanan fiziksel mekanizmalar “nurture” olarak isimlendirilmektedir. “Nurture” en azından bazı galaksilerin oluşumu ve evriminde önemli bir rol oynamaktadır.

Galaksi morfolojisinde çevre koşullarının veya bünyesel evrimin ne derecede etkili oluğu hala tartışma konusudur. Günümüzde yapılan teorik çalışmalar sonucunda erken evrende gerçekleşen kuantum dalgalanmalarının karanlık madde halolarını oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Doğal olarak uzaydaki oluşum yerleri halo çökmelerini etkiler. Bu nedenle başlangıç koşulları ve karanlık madde halosunun evrendeki yeri, halonun merkezi içerisinde çökerek oluşan galaksi üzerinde etkilidir. Galaksi evriminin bu kısmı genellikle “nature” olarak adlandırılır. Çok büyük kütleli haloların içinde bulunan

merkezi galaksiler kırmızı renge sahiptir (Mo ve ark., 2010). Kısacası karanlık madde halosunun bulunduğu yer bir galaksinin evrimini etkileyebilir. Bundan dolayı, "nature" galaksi evrimi ve oluşumda önemli bir kısım olarak dikkate alınmalıdır. Literatürde bu durum "nature versus nurture" olarak adlandırılmaktadır.

2.4 ELİPTİK GALAKSİLERİN OLUŞUM VE EVRİM SENARYOLARI

Eliptik galaksilerin özelliklerinde (ışınım gücü, renk ve hız dispersiyonu gibi) gözlenen homojenlik nedeniyle bu galaksiler, fiziksel özellikleri arasındaki ilişkilerde (scaling relations) çok küçük sapmalar göstermektedir. Yerel evren ve yüksek kırmızıya kayma değerlerinde eğim ve ölçeklendirme ilişkisinden olan sapmalar incelenerek bu galaksilerin oluşum ve evrim süreçlerini tekdüze bir şekilde geçirdikleri ileri sürülmüştür (Stanford, Eisenhardt & Dickinson 1998; Saglia ve ark., 2000). Buna ek olarak, Cimatti ve ark., (2004) tarafından yapılan gözlemlerde olduğu gibi kırmızıya kayma aralığı $1.6 < z < 1.9$ arasında olan yaşlı ve kütleli eliptiklerin, erken evren döneminde oluştuklarına dair güçlü kanıtlar ortaya atılmıştır.

Disk galaksilerinin oluşumu oldukça basit yollarla açıklanabilirken, eliptik galaksiler için bu soruyu cevaplamak oldukça güçtür. Eliptik galaksilerin bünyesinde bulunan yıldızlar, yüksek hız dispersiyonlarına sahiptir. Bu durum onların soğuk bir gaz diskinin içinde oluşmadığı anlamına gelmektedir. Bunanla birlikte, gaz basıncı olmadan yıldız oluşumunun nasıl gerçekleştiğini anlamak zordur.

Eliptik galaksilerin özellikleri, "fundamental plane" ile çok iyi bir şekilde tanımlanmaktadır. Ayrıca kırmızıya kaymayla birlikte "fundamental plane"nin evrimi, eliptik galaksilerin içerisindeki yıldız popülasyonun pasif evrimiyle tamamen açıklanabilmektedir. Aynı şekilde bir küme içerisindeki eliptik galaksilerin renk-parlaklık ilişkisiyle çok iyi bir şekilde tanımlandığı (red cluster sequence) görülmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak belirli bir kırmızıya kayma değerindeki eliptik galaksilerin sahip oldukları yıldız popülasyonlarının, aynı yaş aralığında olduğu anlaşılmıştır. Eliptik galaksiler içerisindeki yıldız popülasyonlarının renkleri, sentetik popülasyon modelleriyle karşılaştırıldığında eliptik galaksilerin ağırlıklı olarak yaşlı yıldızlardan oluştuğu görülmüştür.

Eliptik galaksilerin oluşumu hakkında farklı oluşum senaryoları vardır. Bunlardan **yekpare çöküş (monolithic collapse)**, gözlemsel bulguları tutarlı bir şekilde açıklamaktadır. Bu tanımlamaya göre, yüksek kırmızıya kaymalı bir halo içerisindeki gaz, hızlı bir şekilde çökerek eliptik galaksi oluşturmaktadır (Eggen, Lynden-Bell & Sandage 1962; Chiosi & Carraro 2002; Kawata & Gibson 2003; Matteucci 2003). Sahip oldukları yıldızlar, 1 milyar yıldan daha az bir sürede yoğun bir yıldız oluşumu geçirerek oluşmuştur. Ayrıca bunu takip eden süreler içerisinde galaktik rüzgarlar, galaksi içerisinde bulunan gazı galaksiden dışarı doğru süpürmüş ve sonraki dönemlerde gerçekleşecek olan yıldız oluşumlarına engel olmuştur. Bu süreçler boyunca gazın büyük bir bölümü tüketilmektedir. Fakat kütleli eliptik galaksiler, sentetik işlemlerini tamamlamak ve ağır metaller üretmek için sahip oldukları gaz bileşenini daha uzun süreler boyunca muhafaza edebilmektedir. Kütle-metal bolluğu ilişkisinden biliyoruz ki, büyük kütleli galaksiler daha büyük metal bolluklarına sahiptir. Benzer kırmızıya kayma değerine sahip bütün eliptik galaksiler neredeyse benzer renklere sahiptir. Bu bilgi, eliptik galaksilerin $z \geq 2$ gibi büyük kırmızıya kayma değerlerinde oluştukları anlamına gelmektedir. Öyleyse, eliptik galaksiler genelde benzer yaşlara sahiptir. Bu senaryoda gaz, bir disk içerisinde birikmeden hemen önce hızlı bir şekilde çökerek yıldızlarını oluşturmaktadır.

Karanlık madde haloları içerisinde yaşanan kayıpsız çöküşün yüksek çözünürlüklü N-cisim simülasyonlarında (Nipoti, Londrillo & Ciotti 2006), gözlemlerle benzerlik gösteren eliptik galaksiler üretilmiştir. Çöküş senaryolarına göre bir galaksinin fotometrik ve morfolojik özellikleri, galaksinin bulunduğu yerel çevreden bağımsızdır. Bunun sonucu olarak gözlenen morfoloji-yoğunluk ilişkisi açıklanamamaktadır. Ayrıca zarf ve gelgit kuyrukları gibi morfolojik ince yapılar da açıklanamamaktadır (Malin & Carter 1983).

Aslında eliptik galaksilerin, galaksi dönüşümlerinin bir sonucu olarak oluştukları düşüncesi için güçlü nedenlerimiz vardır. Örneğin, eliptik galaksileri çoğunlukla yoğun çevreler içerisinde görmekteyiz. Büyük kütleli galaksi kümesi veya galaksi grubu gibi yapıların merkezi kısımlarında bulunma eğilimindedirler. Diğer bir deyişle, eliptik galaksilerin bulunduğu yoğun çevreler içerisinde galaksi etkileşimlerine maruz kaldıkları görülmektedir. Ek olarak, eliptik galaksiler oldukça karışık kinematiğe

sahiptir. Sıklıkla merkezleri etrafındaki küçük diskler, zarflar ve topaklaşmalar görülmektedir. Bu yapılar, galaksiler arasındaki etkileşimlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Eliptik galaksilerin evrimi ve oluşumunu açıklayan bu modelin adı literatürde "hiyerarşik büyüme" olarak geçer. Farklı kırmızıya kaymalardaki galaksi evrimi ve oluşumu için birleşme senaryosu, hiyerarşik kümelenme teorisinin doğal bir sonucudur. Birleşme senaryosunda ilk olarak küçük halolar oluşur. Sonradan bunlar birleşerek veya etraflarındaki madde yığılarak daha büyük kütleli yapılar haline gelirler (Peebles 1982; Blumenthal ve ark., 1984).

Çarpışan halolar ve bünyelerindeki gömülü galaksiler, galaksilerin özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. İki halo birleştiğinde sahip oldukları baryonik bileşenler de etkilenecektir. Çarpışan galaksiler içerisinde bu süreçlerle ilgili olarak mükemmel örnekler görülmüştür. Bu örneklerde, iki spiral galaksinin çarpışması sonucunda oluşan yeni galaksinin içerisindeki yıldız dağılımları, herhangi bir spiral galaksiyle benzerlik göstermemektedir. Haloların birleşmeleri ve bununla ilişkili galaksi çarpışmaları, galaksilerin morfolojik dönüşümlerine neden olmaktadır. Bununla birlikte, bazı galaksi çarpışmalarında aşırı yıldız oluşumu gösteren (starburst) büyük kütleli galaksiler de görülmektedir. Bu nedenle, yaşanan çarpışmalar durumları yıldız popülasyonlarında değişime neden olmaktadır.

Galaksi çarpışmalarına verilecek en güzel örneklerden biri Antennae Galaksileri'dir (Şekil 2.5). Bu iki galaksinin kütleleri yaklaşık olarak birbirlerine eşittir. Bunun yanında, farklı kütlelerdeki galaksilerin çarpışması çok daha sıktır ve bu tür birleşmelerin sonuçları daha farklı olacaktır. Galaksi çarpışmaları temel olarak iki alt türe ayrılmaktadır: Bunlar küçük çaplı (minor merger) ve büyük çaplı (major merger) birleşmelerdir. Küçük ve büyük çaplı arasındaki fark, çarpışan galaksilerin halolarının kütle oranındaki farklılıklardır. Küçük çaplı birleşmelerde haloların kütle oranları arasındaki fark büyükken (1:3 ve daha fazlası), büyük çaplı birleşmelerde kütleler benzerdir (1:1). Aynı oranlar yaklaşık olarak galaksilerin parlaklıkları arasında da görülmektedir (Conselice, 2014).

Büyük çaplı birleşme geçiren galaksiler tamamıyla değişir ve yeni bir galaksi oluşur. Bu galaksilerin disk yapısı yok olur. Disk popülasyonu, yüksek hız dispersiyonlarına sahip

olur ve küresel bir bileşene dönüşebilir. Yani sahip oldukları yıldızlar, küresel bir dağılım içerisinde yeniden düzenlenir. Bunlara ek olarak, gazın bulunduğu yörüngeler (spiral kollar) tedirgin edilir ve Antennae Galaksileri'nde olduğu gibi aşırı yıldız oluşumunu tetikleyebilir. Ayrıca yeni oluşan yıldızlar küresel yıldız popülasyonlarına katılır. Gaz yörüngelerinin tedirgin edilmesi nedeniyle galaksilerin merkezinde bulunan süper kütleli karadelik beslenebilir ve AGN (Aktif Galaktik Çekirdek) aktiviteleri başlayabilir. Şiddetli etkileşmeler nedeniyle galaksiden madde fışkırır ya da dışarı atılır. Galaksiden fırlatılan bu madde, optik gözlemlerde veya nötral hidrojenin 21 cm emisyon çizgisi gözlemlerinde gelgit kuyrukları olarak gözlenir. Bu önermeler simülasyonlar tarafından doğrulanmaktadır. Sonuç olarak, düşük kütleli normal eliptikler (cüceler hariç), yüksek kırmızıya kaymaya sahip gaz bakımından zengin (disk) galaksilerinin büyük çaplı birleşme geçirmesiyle oluşmaktadırlar. Ayrıca bu şiddetli etkileşmede gaz dışarı atılır veya çok kuvvetli bir şekilde ısıtılarak herhangi bir yıldız oluşumu engellenir.



Şekil 2.5: Antennae Galaksileri[4]. Eş kütleli iki galaksinin Hubble Uzay Teleskobu ile elde edilmiş görüntüsü.

[4] http://members.galev.org/panders/Images/AstroImages/07_AntennaeGalaxy.jpg

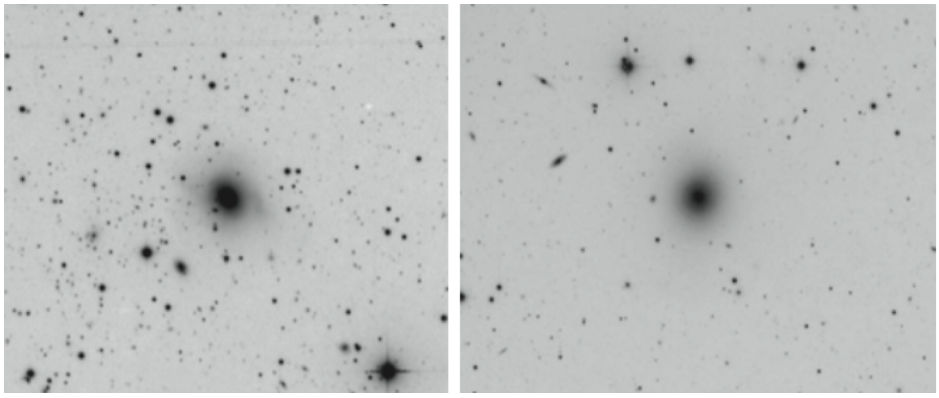
Çoğu birleşme, yüksek yoğunluklu bölgeler içerisinde meydana gelme eğilimindedir. Bu durum, eliptik galaksilerin niçin galaksi grupları veya kümelerinde bulunduklarını açıklamaktadır. Bu yoğun çevreler içerisinde eliptik galaksilerin bazıları diğer eliptik galaksilerle birleşir. Bu durum kuru birleşme (dry merger) denilen bir süreçle büyük kütleli galaksilerin oluşmasına neden olmaktadır.

İki halonun çarpışması her zaman bir birleşmeye neden olmamaktadır. Örneğin, "Kurşun Kümesi"nde (Bullet Cluster) bunu net bir şekilde görmekteyiz. Kurşun Kümesi'nde her iki galaksi kümesi birbirleri içerisinden geçip gitmektedir. Ancak karanlık madde ve yıldız bileşenleri herhangi bir çarpışmaya maruz kalmamıştır. Çarpışmadan yalnızca iki kümenin gaz bileşenleri etkilenmiştir. Ama herhangi bir birleşme meydana gelmemiştir. Birleşmenin meydana gelmemesinin nedeni, çarpışmada iki kümenin birbirlerine göre hızlarının, kendi iç hız dispersiyonlarından daha büyük olmasıdır veya çarpışma hızı, her bir küme bileşeninin kaçış hızından daha büyüktür. Birleşmenin meydana gelebilmesi için çarpışma hızı benzer bir düzeyde veya iç hız dispersiyonundan daha düşük olmalıdır. Bu durum oluşumunu tamamlamış ve dinamik olarak dengede olan büyük kütleli galaksi kümelerinde çok sayıda galaksi birleşmesinin meydana gelmediği anlamına gelmektedir. Ancak "Kurşun Kümesi" örneğinde unutulmaması gereken, çarpışan iki halonun galaksi halolarından çok daha büyük olan galaksi kümesi halosu olmasıdır. Bununla birlikte, galaksi gruplarında birleşmeler daha olası görünmektedir. Çünkü yukarıda bahsettiğimiz hız dispersiyonları yeterince düşüktür ve galaksiler arasındaki etkileşmelere olanak vermektedir. Dolayısıyla galaksi birleşmelerini galaksi grupları içerisinde beklemek mantıklı olabilir. Bir sonraki maddede ayrıntılı olarak verilecek **izole eliptik galaksiler**in de bu türden gruplardaki galaksilerin birleşmeleri ile oluştukları düşünülmektedir.

2.5 İZOLE ALAN ELİPTİK GALAKSİLER

2.5.1 IfE'ler hakkında genel bilgi

Toomre ve Toomre'nin (1972) çalışmasından beri eliptik galaksilerin, sarmal galaksilerin çarpışmaları ile oluştuğu düşünülmektedir. Bu durumda bir eliptik galaksinin yüksek yoğunluklu ve düşük hız dispersiyonlarına sahip çevreler (galaksi grupları gibi) içinde bulunma olasılığı yüksektir. Yapılan gözlemler sonucunda morfoloji-yoğunluk ilişkisi, eliptik galaksilerin büyük bölümünün yoğun çevreler içerisinde bulunduğunu göstererek yukarıda sözü edilen durumu desteklemektedir. Buna ek olarak, gözlemler (Smith ve ark., 2004; Reda ve ark., 2004; Hernández-Toledo ve ark., 2008; Norberg ve ark., 2008) eliptik galaksilerin alanda da bulunabileceğini göstermiştir. İzole galaksiler, "aşırı alan" galaksi popülasyonu olarak da belirtilir. Bundan dolayı literatürde bu galaksiler **izole alan eliptik galaksiler** olarak adlandırılırlar. Dikkatlice belirlenmiş bir izole alan eliptik galaksi örneklemi kullanılarak galaksi oluşumunda göze çarpan konuların çoğu ele alınabilir. Örneğin, yoğun çevreler içerisinde bünyesel ve çevresel evrimin ("nature versus nurture") etkilerinin ayrımı ilginç olabilir. Buna ek olarak, çok düşük yoğunluklarda bulunan izole galaksiler, çok yoğun çevreler içerisindeki galaksilerin evrimini etkileyen fiziksel süreçlerden (ram-pressure stripping (Gunn & Gott, 1972), yüksek hızlı galaksi karşılaşmaları ve galaksi kümesinin çekimsel potansiyeli altında meydana gelen etkileşmelerden (Moore, Lake & Katz, 1998)) etkilenmemektedir. Sonuç olarak, izole alan eliptik galaksilerin özelliklerinin detaylı olarak belirlenip tanımlanması, eliptik galaksilerin oluşumu ve evrimini anlamamız için çok önemlidir. Bu sayede çevresel etkilerin eliptik galaksilerin oluşumu ve evrimi üzerindeki etkilerini anlayabiliriz.



Şekil 2.6: Sol tarafta NGC 6363, sağ tarafta ise NGC 3017 galaksileri bulunmaktadır. Her iki galaksi de literatürde mevcut olan izole eliptik galaksilerdir (Smith ve ark., 2010)

Son 20 yıl içerisinde yapılan birkaç gözlemsel çalışmada, izole alan eliptikleri belirlenip özellikleri araştırılmıştır (Smith ve ark., 2004; Reda ve ark., 2004; Hernández-Toledo ve ark., 2008; Norberg ve ark., 2008). Yapılan çalışmalarda; küme ve yığınlardan oluşan çökme durumundan, evrenin erken dönemlerindeki çoklu birleşme durumlarına kadar olası farklı oluşum senaryoları önerilmiştir (Mulchaey & Zabludoff 1999; Reda ve ark., 2004, 2007). Bunlara ek olarak, eş kütleli iki galaksinin birleşmesi veya grup çökmeleri sonucu izole alan eliptik galaksi oluşumu da literatürde mevcut olan evrim senaryolarındandır.

Literatürde, izole alan eliptik galaksileri belirlemek için farklı seçim kriterleri mevcuttur. Seçim kriterlerindeki farklılığa rağmen bütün çalışmalarda benzer bir yol izlenmektedir. Buna göre IfE olarak belirlenen eliptik galaksilerin etrafında benzer boyut ve parlaklıkta bileşen galaksi bulunmamalıdır. Aşağıda farklı kriterler uygulanarak bulunan izole alan eliptik galaksileriyle ilgili bilgiler mevcuttur.

Karachentseva (1973). Bu çalışma kapsamında karachentseva kataloğu kullanılmıştır. Bu katalog, $m_B < 15.7$ ve deklinasyonu > -3 olan yaklaşık 1000 galaksiden oluşmaktadır. Katalog, Zwicky ve ark.'nın (1957) çalışmalarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Herhangi bir galaksinin çevresi Palomar Gözlemevi Gökyüzü Taraması (POSS) plakları kullanılarak incelenmiştir. İzolasyon, 20 galaksi çapı

içerisinde herhangi bir bileşenin bulunmaması üzerine kurulmuştur. Ayrıca aday galaksiyle, bileşen galaksi arasındaki parlaklık farkı ± 2 kadir olmalıdır. POSS plaklarındaki doygunluk ve düşük çözünürlük gibi birkaç nedenden dolayı, bu katalog içerisindeki eliptiklerin yarısı morfolojik olarak sınıflandırılamamıştır (Saucedo-Morales & Bieging, 2001).

Aars, Marcum & Fanelli (2001). Karachentseva (1973) kataloğundan seçilen 9 izole eliptik galaksiden oluşan bir örneklem kullanmışlardır. İzole eliptik adayların tanımlanması için iki seçim kriteri benimsenmiştir. İlk koşul; NED (NASA Extragalactic Database) veritabanından seçilen eliptik galaksilerin RC3 (The Third Reference Catalogue of Bright Galaxies) içerisindeki herhangi bir galaksiye 2.5 Mpc'den daha yakın olmamasıdır. İkinci olarak, aday galaksinin 2.5 Mpc'lik bir uzaklık (izdüşüm uzaklığı) içerisinde bilinen kırmızıya kaymasıyla birlikte M_v= -16.5 den daha parlak komşuları olmamalıdır. RC3 içerisinde 1, Karachentseva kataloğunda ise 13 galaksi bu izolasyon kriterine uymuştur. Bu kritere uyan Karachentseva kataloğunda ise 13 galaksinin, McDonald Gözlemevi'ndeki 2.1 metrelik teleskop kullanılarak V bandında geniş-alan CCD (Charge Coupled Device) görüntüleri elde edilmiştir. RC3 kataloğunda geriye kalan tek galaksi ise güney gökyüzünde olduğu için gözlenememiştir. Bunun sonucu olarak bu galaksi katalogda yer almadı. Bu galaksilerin izole olma durumları görüntüler kullanılarak kontrol edilip morfolojik tipleri onaylanmıştır. Neticede 3 galaksinin spiral 1 tanesinin de düzensiz galaksi olduğu belirlenmiştir. Nihai olarak 9 izole eliptik galaksi kullanıldı. Aars ve ark., (2001) bilinen zayıf gruplar ve kümeler için gökyüzünde galaksilerin karakteristik sayı yoğunluklarını belirlenmiştir. Belirlenen galaksilerin sayı yoğunlukları, 9 izole eliptik galaksiyle karşılaştırıldı. Sonuç olarak izole olarak belirlenen 5 galaksinin çevresi zayıf gruplarla benzerlik göstermektedir. Geriye kalan 4 galaksinin ise düşük yoğunluklu çevre içerisinde bulundukları görülmüştür.

Colbert, Mulchaey & Zabludoff (2001). Bu örneklem 30 erken tip galaksiden oluşmaktadır. Bu galaksiler, RC3 (The Third Reference Catalogue; de Vaucouleurs ve ark., 1991) kataloğundan seçilmiştir. Galaksiler ±1000 km/s lik hızlarda ve 1 Mpc içerisinde herhangi bir komşusu bulunmayanlardan seçilmiştir. Her galaksinin çevresindeki alanın görüntüsü 200 h_{100}^{-1} kpc içerisinde büyük galaksilerin olmadığını

doğrulamak için kullanılmıştır. Ancak, hedef galaksilerin bazılarının parlaklıkları katalog limitinden biraz daha parlaktır. Bunun anlamı, bazı aday izole galaksilerin, oldukça benzer parlaklıklarda yakın komşuları vardır. Sayısal Gökyüzü Taraması (Digitized Sky Survey - DSS) ile incelenen örneklem sonucunda, aday izole galaksilerin yaklaşık %50'sinin yakın komşulara sahip oldukları öne sürülmüştür.

Smith, Martinez & Graham (2004). 32 izole erken tip galaksi LEDA (Lyon-Meudon Extragalactic Data Archive[5]) katoloğu kullanılarak belirlenmiştir. Katalog içerisindeki eliptik galaksileri belirlemek için şu kriterler uygulanmıştır: $V < 10000$ km/s , $M_B \leq -19$, $b > |25°|$, de Vaucouleurs morfoloji tipi $T<-4$ olan galaksiler alınmıştır. LEDA kataloğu kullanılarak alanda seçilen galaksilerin etrafındaki sönük komşuları da belirlenmiştir. İzole alan galaksisi adayı eliptik galaksileri belirlemek için, Zaritsky ve ark. (1993)'nın geliştirdikleri izolasyon kriterini kullanmışlardır. İzolasyon kriteri çerçevesinde 1 Mpc'lik yarıçap içerisinde aday galaksi ve komşu galaksilerinin B bandındaki parlaklıkları $\Delta m_{1,2} \geq 0.7$ kadir olmalıdır, 0.5 Mpc'lik yarıçap içerisinde ise parlaklık farkları $\Delta m_{1,2} \geq 2.2$ kadir olmalıdır. Ayrıca izolasyon kriteri içerisinde herhangi bir kırmızıya kayma bilgisi bulunmamaktadır. Aday eliptik galaksilerin alanı içerisinde $M_B \leq -16$ olan bütün cüce galaksileri seçmek için UK ve Palomar Schmidt Sky Survey verileri kullanılmıştır. Seçim kriterine bağlı olarak belirlenen alan eliptik galaksilerinin sayılarındaki değişim incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda toplam 32 izole erken tip galaksi belirlenmiştir. Belirlenen eliptik galaksi örnekleminde parlak galaksilerin ($M_B \leq -17$) yerel yoğunluğu çok düşüktür. Belirlenen bazı cisimler, özellikle galaksi grupları veya kümeleriyle ilişkili değildir. Önceki çalışmalarda da olduğu gibi alan eliptik galaksilerin etraflarındaki cüce galaksi popülasyonu görülmüştür. En az 500 kpc'lik yarıçapın dışında, radyal yoğunluk profili $r^{-0.6\pm0.2}$ ve ışınım gücü fonksiyonunun eğimi $\alpha \sim -1.8$ olarak bulunmuştur.

Stocke ve ark., (2004). Erken tip galaksilerden oluşan örneklem, Karachentseva (1973) kataloğundan yararlanılarak oluşturulmuştur. 13 galaksi, POSS verisiyle kontrol edildikten ve Karachentseva tarafından aday galaksilerle karşılaştırılabilen boyuttaki bileşenlerin saptanamadığı anlaşıldıktan sonra ilk seçilen örneklemden elenmişlerdir. Örnek içerisindeki bazı galaksiler, POSS plakları ile doğru olarak sınıflandırılabilmek

[5] http://leda.univ-lyon1.fr/

için çok sönük ve küçüktür. Eliptiklerin %80'i ve S0 galaksilerinin %86'sı için Stocke ve ark.(2004) tarafından morfoloji ve izolasyon incelemesi yapılmıştır. Bu çalışmayı yaparken Mt. Hopkins 0.6 metrelik teleskobuyla alınan görüntüler ve Adams, Jensen & Stocke'nın (1980) aldıkları görüntüler kullanılmıştır. Nihai örneklem 62 Eliptik ve 36 S0 galaksisi içermektedir.

Reda (2004). 36 yakın izole erken tip galaksiden oluşan bir örneklem tanımlanmıştır. Bu örneklem, LEDA kataloğu kullanılarak oluşturulmuştur. İzole erken tip galaksileri belirlerken, izole galaksinin B bandındaki parlaklık farkının iki ve ikiden büyük olması gerekmektedir. Ayrıca izole adayı galaksinin etrafında karşılaştırılabilir bir kütleye sahip bileşen galaksinin olmaması gerekmektedir. Ayrıca 0.67 Mpc'lik bir gökyüzü düzlemi içerisinde ve 700 km/s'lik uzaklaşma hızına sahip olması gerekiyor. Örneklem içerisinde bulunan 10 izole erken tip galaksinin Anglo-Australian Teleskobuyla yeni optik görüntüleri alınarak erken tip morfolojileri ve göreli izolasyonları doğrulanmıştır. Ayrıca 4 galaksi grubunun görüntüleri de kontrol örneklemi olarak kullanılmıştır. İzole galaksilerin, ortalama etkin rengi $(B\text{-}R)_e = 1.54 \pm 0.14$ olarak bulunmuş ve yüksek yoğunluklarda bulunan türdeşleriyle benzerlik göstermişlerdir. Ayrıca izole galaksilerin, küme eliptikleriyle benzer renk-parlaklık ilişkisi eğimi ve bu eğimden küçük saçılmalar gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu galaksiler parlak küme üyesi galaksiler için bilinen yüzey parlaklığı ve büyüklük ilişkisine (Kormendy İlişkisi) de uymaktadır. Bazı özellikler izole galaksilerin küme galaksileriyle benzer dönemlerde oluştuğunu öne sürmektedir. Örneğin, sahip oldukları yıldızların çoğu yaşlıdır. İncelediklerı dokuz galaksiden dördünde toz kuşakları, zarf yapıları ve kutu benzeri diskler görmüşlerdir ki bu yapılar bu galaksilerin bir birleşme veya etkileşme geçirdiklerini göstermektedir. Hatta bazılarında yıldız oluşumu patlaması (starburst) tetiklenmiş olabilir. İzole galaksiler için ışınım gücü fonksiyonu üretilmiş ve $\alpha = -1.2$ gibi sönük bir eğim bulunmuştur. Geniş farklı çevreler içerisinde bulunan genel eğim benzerdir. Çok sönük cüce galaksilerin ($M_R \geq -15.5$) izole galaksilerle ilişkili olduğu görülmüştür. Oysa ki arka plan içerisinde herhangi bir ortalama parlaklığa sahip galaksilerin bulunduğu görülmektedir. Sonuç olarak, izole erken-tip galaksiler için olası oluşum senaryoları tartışılmıştır. Erken dönemlerdeki oluşumlar ve galaksilerin bir birleşme/yığılma geçirmesi olası senaryolardandır. Büyük dengedeki bir kümenin çökmesi mümkün görünmeyen bir durumdur. Ama fakir galaksi gruplarından geriye kalanlar tutarlıdır.

Collobert (2006). 41 galaksiden oluşan örneklem, iki kaynaktan alınan galaksilerden oluşmaktadır. İlki Anglo-Avustralya Gözlemevi'nde (Anglo-Australian Observatory - AAO) yürütülen galaksi kırmızıya kayma taraması (Colless ve ark., 2001; 2dFGRS). Seçilen galaksilerin mutlak parlaklıkları M_B= -19.13 kadirden daha parlak ve uzaklaşma hızları cz < 10 000 km/s dir. Ayrıca 2dFGRS'den alınan galaksilerin spektrumları güçlü emisyon çizgileri göstermektedir. İzole adayı galaksilerin 1 Mpc h^{-1}'lik bir yarıçap içerisinde maksimum bir tane komşu galaksisi bulunabilir. Bu galaksi de aday galaksiden parlak olamaz. Ayrıca 2 Mpc h^{-1} içerisinde ise maksimum 5 galaksi olmalıdır. Galaksilerin morfolojilerini kontrol etmek için DSS[6], NED[7] ve 2MASS[8] (2 Micron All Sky Survey) ile elde edilen görüntüler kullanılmıştır. Bunun sonucunda açıkça spiral kollar veya morfolojik bozulma gösteren galaksiler dışlanmıştır. Nihai liste 30 galaksiden oluşmaktadır. Bunların haricinde Collobert, Mulchaey & Zabludoff (2001)'un yaptığı çalışmadan 11 galaksi de bu çalışmaya eklenmiştir. Bu eklenen galaksiler RC3 kataloğundan seçilmiştir. Seçilme kriteri olarak cz < 10.000 km/s olan ve 1 Mpc h^{-1}'lik yarıçap içerisinde V = ±1000 km/s olan herhangi bir bileşeni olmaması gerekmektedir.

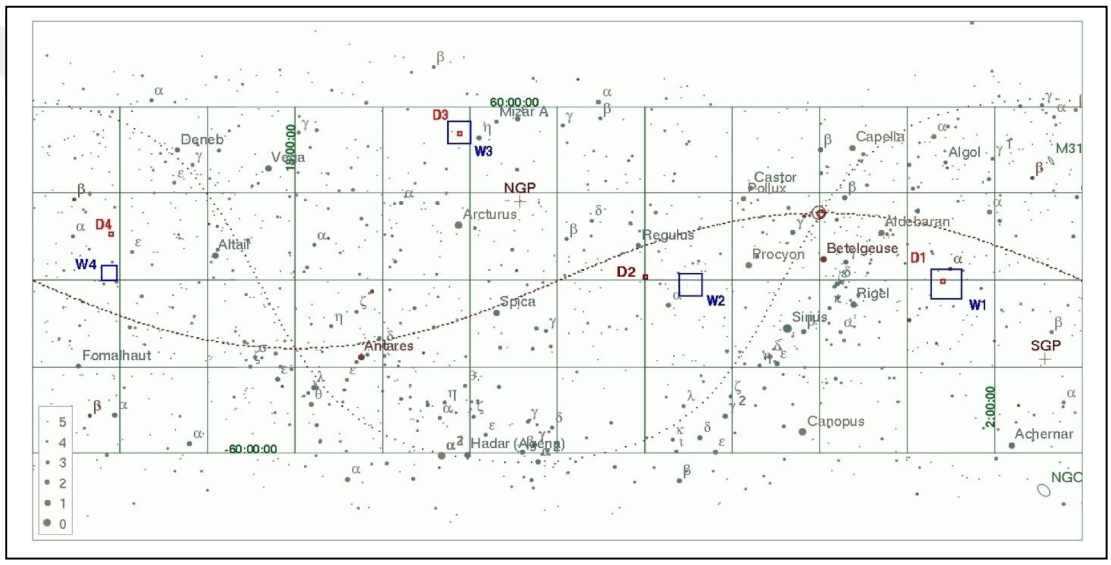
Niemi (2010) çalışmasında izole alan eliptik galaksilerin özelliklerini, evrimini ve oluşum mekanizmalarını araştırmıştır. Çalışmada IfE adayı galaksileri belirlemek için Milenyum Simülasyonu[9] verisi kullanılmıştır. İzole alan eliptikleriyle izole olmayan galaksiler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmaya esas oluşturan özellikler yaş, kütle ve renk-parlaklık ilişkileridir. Simülasyon verisine bağlı olarak, B bandında mutlak parlaklığı -19'dan daha büyük olan eliptik galaksilerin neredeyse %7'si IfE olarak sınıflandırılabilmiştir. Sonuçta 293 izole alan eliptik galaksi belirlenmiştir. İzole alan eliptik galaksilerinin oldukça düz bir ışınım gücü fonksiyonuna sahip oldukları görülmüştür (B bandında sayı yoğunlukları ~3 x $10^{-6}h^3Mpc^{-3}mag^{-1}$). IfE galaksilerinin, izole olmayan eliptik galaksilere göre daha mavi oldukları görülmüştür. Bu durumda IfE'lerin kütle ağırlıklı yaşa göre istatiksel olarak daha genç oldukları sonucu elde edilmiştir. IfE'ler, izole olmayan eliptiklerle karşılaştırıldığında daha düşük kırmızıya kayma değerlerinde oluşmuştur. IfE galaksilerinin yaklaşık %46'sı oluşumları boyunca

[6] http://archive.eso.org/dss/dss
[7] https://ned.ipac.caltech.edu/
[8] http://www.ipac.caltech.edu/2mass/
[9] http://wwwmpa.mpa-garching.mpg.de/galform/virgo/millennium/

en az bir kez büyük çaplı birleşmeye maruz kalmıştır. İzole olmayan eliptikler için bu oran %33'tür. Neredeyse bütün izole eliptik galaksilerin (%98'i) evrimleri boyunca birleşme aktivitesi geçirdiği görülmüştür. IfE galaksilerinin oluşumunda galaksi birleşmelerinin önemi ortaya çıkmıştır. İzole galaksiler için son büyük çaplı birleşmenin ortalama zamanı; z ~ 0.6'larda diğer bir deyişle 6 milyar yıl öncesidir. İzole olmayanlar için ise bu değer z ~ 1.1 veya 8 milyar öncesidir. IfE'lerin birleşme olayları 3 farklı oluşum mekanizması ile ifade edilmiştir: Yalnızlık, ikili olma durumu ve yamyamlık. Ayrıca daha önceden gözlenmemiş mavi, sönük ve düşük kütleli galaksiler öngörülmüştür. Bu yeni grup bütün IfE'lerin %26'sını oluşturmaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, CFHTLS (Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey[10]) gökyüzü taramasıyla elde edilmiş veriler kullanılmıştır. CFHTLS gökyüzü taraması 5 yıl boyunca Kanada-Fransa-Hawaii ortalığında yürütülmüştür. Gözlemler 2003 - 2008 yılları arasında 3.6 m'lik CFH teleskobunun MegaCam kamerasıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1: CFHTLS gökyüzü taraması kapsamında gözlenen derin ve geniş alanların gökyüzündeki konumları. W1, W2, W3, W4 geniş alanları; D1, D2, D3, D4 ise derin alanları göstermektedir[11].

CFHTLS verileri 5 banttaki (u*, g′, r′, i′, z′) görüntüler, galaksi katalogları ve fotometrik kırmızıya kayma kataloglarından oluşmaktadır. Toplam 4 geniş (W: Wide) alan (W1, W2, W3, W4) ve 4 derin (D: Deep) alandan (D1, D2, D3, D4) oluşmaktadır. Gözlenen alanların gökyüzündeki konumları Şekil 3.1'de görülebilir. CFHTLS-W taraması gökyüzünde toplam 171 derecekarelik bir alanı kaplamaktadır. CFHTLS-D taraması ise geniş taramaya göre en az bir kadir daha derin olmak üzere toplam 4 derecekarelik bir alanı kaplamaktadır. CFHTLS taraması 5 yılda toplam 450 gecelik gözlem

[10] http://www.cfht.hawaii.edu/Science/CFHTLS/
[11] http://terapix.iap.fr/cplt/T0007/doc/T0007-doc.pdf

dayanmaktadır. Tablo 3.1'de CFHTLS geniş ve derin alanlarına ait koordinat bilgileri ve bu alanlarda daha önce yürütülmüş başka gökyüzü taramalarına dair bilgiler verilmektedir.

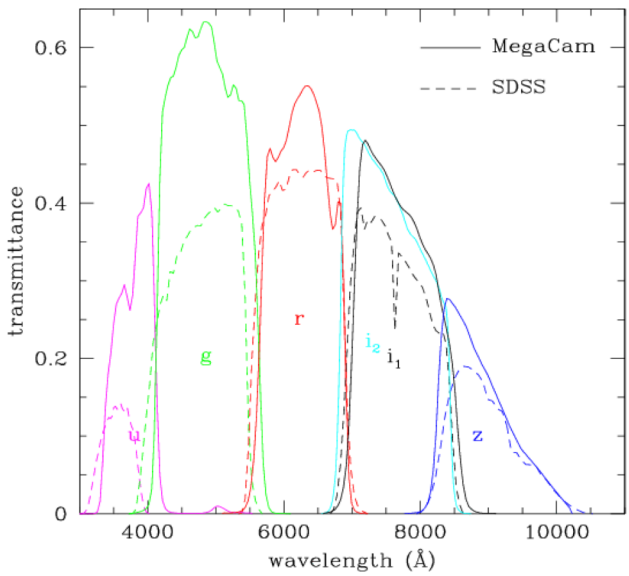
Şimdiye kadar CFHTLS gökyüzü taraması verileri kullanılarak, evrenin geometrisi, galaksi kümelerinin uzaklığı, yüksek kırmızıya kaymalı galaksi kümelerinin özellikleri, galaksi morfolojileri, Tip-Ia süpernova patlamaları, galaksilerdeki yıldız oluşumu ve evrenin geniş ölçekli yapısı gibi çeşitli konularda çalışmalar yapılmıştır.

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

CFHTLS D/W	Alan	α (h m s)	δ (° ′ ″)	Kapsadığı alan
D1 alanı	1° x 1°	02 26 00	-04 30 00	In W1
D2 alanı	1° x 1°	10 00 20	+02 12 21	On the COSMOS/ACS survey field
D3 alanı	1° x 1°	14 17 54	+52 30 31	In W3
D4 alanı	1° x 1°	22 15 31	-17 44 05	Around the quasar LBQS2212-17
W1 alanı	8° x 9°	02 18 00	-07 00 00	On the XMM LSS field
W2 alanı	5° x 5°	08 54 00	-04 15 00	
W3 alanı	7° x 7°	14 17 54	+54 30 31	On the Groth Strip
W4 alanı	1° x 25°	22 13 18	+01 19 00	On the VDSS 22h & UKIDSS DXS fields

3.1 CFHTLS GÖRÜNTÜLERİ VE CİSİM KATALOGLARI

CFHTLS gözlemleri, 3.6 m'lik CFH teleskobunda bulunan MegaCam kamerasıyla yapılmıştır. MegaCam kamerası 36 adet 2048x4612 piksellik CCD'den oluşmuş ve 1 derecekarelik görüş alanına sahip bir kameradır. Kamera 340 megapiksellik bir çözünürlüğe sahiptir ve piksel ölçeği 0.186″/pikse'ldir. Kameranın etkin görüş alanı 0.96 x 0.94 derecekaredir. 5 bantta (u*, g′, r′, i′, z′) alınan görüntüler $3500 < \lambda < 9400$ Å dalgaboyu aralığını kapsamaktadır. Filtrelere ait geçirgenlik eğrileri Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2: CFHTLS filtrelerinin geçirgenlik eğrileri. MegaCam ve SDSS filtrelerinin karşılaştırılması[12].

CFHTLS gökyüzü taramasında fotometrik bilgiler SExtractor[13] (Source Extractor) (Bertin, 1999) programıyla elde edilmiştir. SExtractor, bir astronomi görüntüsündeki cisimleri tespit edip parlaklık ve biçim bilgilerini belirlemeye yarayan bir programdır. Cisimlerin koordinatları, yüzey parlaklıkları, etkin yarıçapları gibi birçok özelliğinin belirlenmesini sağlar. Ayrıca tespit edilen cismin yıldız ya da yaygın bir kaynak (galaksi gibi) olup olmadığı hakkında da bir olasılık hesaplar. SExtractor, FITS

[12] http://www.cadc-ccda.hia-iha.nrc-cnrc.gc.ca/en/megapipe/docs/filt.html
[13] http://www.astromatic.net/software/sextractor

(Flexible Image Transport System) görüntü formatını desteklemektedir. 2 GHz'lik bir işlemciyle saniyede 1 megapiksellik görüntüyü işleyebilmektedir. Yüksek hız kabiliyeti sayesinde günümüzde bütün büyük tarama projelerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

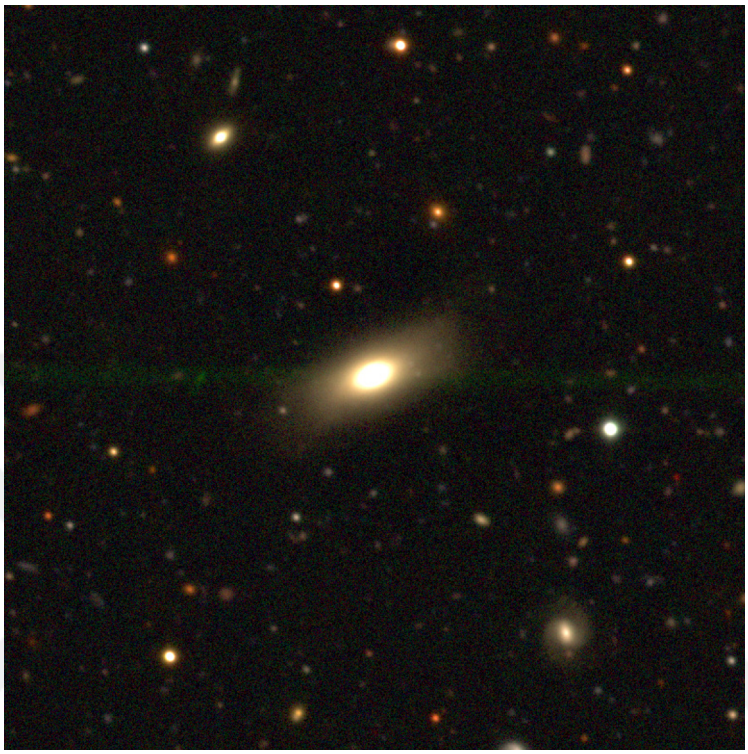
CFHTLS gökyüzü taraması yedinci ve son veri sürümü olan T0007 ile son bulmuştur. Veriler Paris Astrofizik Enstitüsünde (IAP) bulunan Terapix[14] veri indirgeme merkezi tarafından sunulmuştur. T0007 veri sürümü üç bileşenden oluşmaktadır: MegaCam görüntüleri, cisim ve fotometrik kırmızıya kayma katalogları.

CFHTLS verilerine eşlik eden fotometrik kırmızıya kaymalar ve spektrel tipler LePhare (Arnouts ve ark., 1999) programı ile hesaplanmış ve tüm veriler ile birlikte Terapix tarafından sunulmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında izole alan eliptik galaksileri belirlemek için dört geniş alandan biri olan, 72 derecekarelik W1 alanına ait veriler kullanılmıştır. W1 alanı toplamda 72 ayrı MegaCam yönlenmesinden (herbiri 1 derecekare) oluşmaktadır. Her bölgeye ait görüntüler 19354x19354 pikselden oluşmaktadır. CFHTLS-W alanları içerisinde W1, en geniş alan olmasından dolayı en çok galaksiyi içeren alandır. W1 alanına ait ham SExtractor kataloğu 4.6 milyon cisim içermektedir (Yelkenci, 2015). Yıldızlar ve görüntülerdeki sorunlu kısımlar maskelendikten sonra $16 \leq i' \leq 25$ kadir aralığında 3.540.395 galaksi bulunmaktadır.

Elimizdeki FITS görüntülerinden g, r ve i filtrelerindeki görüntüler birleştirilerek renkli görüntüler elde edilmiştir. CFHTLS taramasının sonlarına doğru MegaCam filtrelerinden i filtresinin kırılması üzerine, bu filtre i'ye çok yakın olan y′ filtresi ile değiştirilmiştir. Çalışmamızda bu nedenle, W1'in bazı bölgelerinde i′ filtresindeki görüntü yerine y filtresindeki görüntü kullanılmıştır. g′, r′ ve i′ (veya y′) filtrelerindeki FITS görüntüleri, STIFF[15] (Bertin, 2012) programı yardımıyla birleştirilerek JPG formatında renkli görüntüler oluşturulmuştur. Şekil 3.3'te bu şekilde üretilmiş bir örnek görüntü verilmektedir. Ayrıca EK-1'de farklı kırmızıya kayma aralığında bulunan 9 IfE'ye ait görüntüler mevcuttur.

[14] http://terapix.iap.fr
[15] http://www.astromatic.net/software/stiff



Şekil 3.3: CFHTLS-W1 alanına ait g, r ve i bantları kullanılarak oluşturulan renkli görüntü. Merkezdeki galaksi çalışmada belirlediğimiz IfE'lerden biridir.

3.2 CFHTLS FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMA VERİLERİ

Fotometrik kırmızıya kayma yöntemi 1990'lı yılların sonlarına doğru sık kullanılmaya başlanmıştır. Galaksilerin kırmızıya kaymalarının tayfsal yöntemlerle belirlenmesi uzun gözlem süreleri gerektirdiğinden gökyüzü taramalarında fotometrik kırmızıya kayma yöntemi tercih edilmektedir. Galaksilerin kırmızıya kaymalarının fotometrik olarak belirlenebilmesi için tayfsal enerji dağılımlarına (SED: spectral energy distribution) ihtiyaç vardır. Bir galaksinin tayfsal enerji dağılımı, farklı Hubble galaksi tipleri için elde edilmiş ve referans tayflarla karşılaştırılarak fotometrik kırmızıya kayması belirlenmektedir (Gwyn, 1995). CFHTLS gökyüzü taramasında galaksilere ait fotometrik kırmızıya kaymaların nasıl belirlendiği Sezen (2008)'de ayrıntılı verilmiştir.

Buna göre, fotometrik kırmızıya kaymalar LePhare (Arnouts ve ark., 1999) programı kullanılarak belirlenmiştir. LePhare programı, Marsilya Astrofizik Laboratuvarından (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille) Stéphan Arnouts ve Olivier Ilbert tarafından geliştirilmiştir. LePhare, Fortran dilinde yazılmış bir dizi programdan oluşmaktadır. Temel olarak incelenen galaksiye ait tayfsal enerji dağılımı ile referans tayflardan üretilen model tayfsal enerji dağılımları karşılaştırılmakta ve en iyi uyumun sağlandığı model enerji dağılımının türü (eliptik, spiral, düzensiz gibi) ve kırmızıya kayması alınmaktadır. CFHTLS gökyüzü taramasında galaksiler için toplam 6 model tayfsal enerji dağılımı kullanılmıştır. Bunların 4 tanesi Coleman, Wu ve Weedman'ın (CWW, 1980) gözledikleri galaksilere ait spektrumlardan, iki tanesi ise Kinney ve ark. (1996)'nın, gözledikleri yoğun yıldız oluşumu gösteren galaksilerden yararlanılarak elde edilmiştir (Ilbert ve ark., 2006).

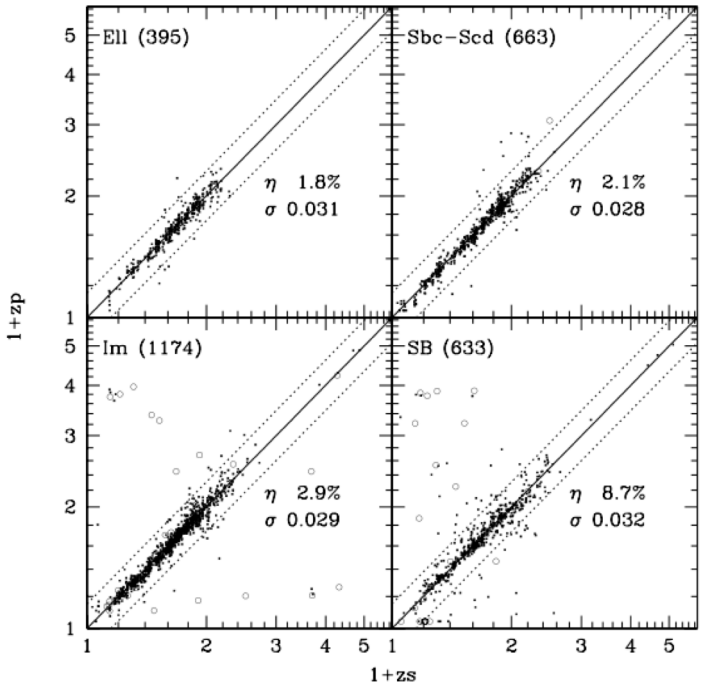
Program temel olarak üç kısımdan oluşur. İlk olarak gözlenen parlaklıklar tayfsal enerji dağılımına dönüştürülür. Daha sonra model tayfsal enerji dağılımları oluşturulup, ilgili filtrelerin geçirgenlik fonksiyonları üretilir. Son kısım karşılaştırma aşamasıdır. Gözlenen SED'ler, χ^2 yöntemi ile model SED'lere uydurulmaya çalışılır ve galaksilerin fotometrik kırmızıya kaymaları belirlenir. Fotometrik kırmızıya kayma hesabı için farklı dalgaboylarındaki parlaklık ölçümlerinin olması gerekmektedir. Kırmızıya kaymaların yüksek doğrulukla belirlenebilmesi; çoklu filtrelerde gözlem yapılmasına bağlıdır. Ne kadar fazla sayıda filtre ile gözlem yapılırsa doğruluk o kadar artar. Özellikle yakın kırmızıöte bölgede ölçümlerin olması büyük kırmızıya kaymaların daha doğru belirlenebilmesi için elzemdir. Fotometrik kırmızıya kaymaların doğrulukları tayfsal kırmızıya kaymalar kullanılarak belirlenmektedir ($dz = (zphot-zspec)/(1+z_{spec})$. Örneğin CFHTLS projesinde beş bant kullanılarak elde edilen fotometrik kırmızıya kaymaların doğruluğu dz~0.03'tür. COSMOS gökyüzü taramasında ise bu değer dz~0.007'dir. Bunun sebebi COSMOS gökyüzü taramasındaki fotometrik kırmızıya kaymaların 30 farklı fotometrik bant kullanılarak belirlenmiş olmasıdır.

Her ne kadar fotomerik kırmızıya kayma yöntemi tayfsal gözlemlere göre çok daha az zaman alsa bile, günümüzde çoklu tayf alabilen tayfçekerler de kullanılmaya

başlanmıştır. Bazı tayfçekerler (ESO-VIMOS[16]) aynı anda yaklaşık 1000 kadar cismin tayfını almaya imkan tanımaktadır. Dört metrelik bir teleskop üzerindeki geniş alan görebilen bir mozaik CCD kamera kullanılarak 1 derecekare içerisinde, 1 saat poz süresi ile yaklaşık 10^5 galaksinin tayfı ölçülebilmektedir.

Pratik avantajının yanısıra, fotometrik kırmızıya kaymalara körü körüne güvenilmemelidir. Verilen bir gökyüzü taraması için bu kırmızıya kaymalar tayfsal takip gözlemleri ile karşılaştırılmalı ve fotometrik kırmızıya kaymaların parlaklığa, kırmızıya kaymaya ve galaksi tipine bağlılıkları ortaya konmalıdır. Bu karşılaştırmalar yapıldığında bir veri setindeki katastrofik hatalar belirlenebilmektedir. Bu hatalar, tayfsal kırmızıya kaymanın $\pm 3\sigma$ dışında kalan galaksilere ait fotometrik kırmızıya kaymaları ifade etmektedir. Şekil 3.4'te Ilbert ve ark. (2006) tarafından CFHTLS fotometrik kırmızıya kaymaları için yapılan çalışmanın sonuçları verilmektedir. Sözkonusu çalışmada, CFHTLS gökyüzünü taraması için üretilen fotometrik kırmızıya kaymaların doğrulukları VIMOS-VLT derin alan tayfsal gökyüzü taraması ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3.4'te verilen karşılaştırma ve bu konudaki başka çalışmalarda, eliptik galaksilerin kırmızıya kaymalarının en büyük doğrulukla belirlendiği görülmektedir (Ilbert ve ark., 2006).

[16] http://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/vimos.html



Şekil 3.3: Ilbert ve ark.'nın (2006) yılında yaptıkları çalışmasında galaksi tipine göre fotometrik ve tayfsal kırmızıya kaymaların karşılaştırılması. Bu örneklem için $17 \leq i_{AB} \leq 24$ parlaklığı arasındaki 2865 galaksi kullanılmıştır.

3.3 TAYFSAL VERİLER

Bu tez çalışması kapsamında tayfsal verilerin kullanılmasının iki esas sebebi vardır. Bunlardır ilki; belirlenen IfE'lerin duyarlı konumlarını belirlemektir. Bu sebeple GAMA (Galaxy and Mass Assembly[17]) tayfsal gökyüzü taraması kullanılarak bir kontrol örneklemi oluşturulmuştur. Bu kontrol örneklemi içerisinde tayfsal kırmızıya kayma verisi kullanılarak IfE adayları belirlenmiştir. Bu sayede tayfsal kırmızıya kayma verisi kullanılarak fotometrik yollardan belirlenen IfE'lerin testi yapılmıştır. Ayrıca hem GAMA hem de VIPERS[18] gökyüzü taramaları kullanılarak bu galaksilerin gerçek konumlarını gösteren koni diyagramları oluşturulmuştur. Bu sayede belirlenen IfE'lerin kümeler gibi yoğun bölgeler ya da izole alanlar içerisinde olup olmadıkları kontrol edilmiştir. Tayfsal verileri kullanmamızdaki ikinci sebep belirlenen IfE'lerin yıldız oluşumu aktivitesi gösterip göstermediğini incelemektir. Bu incelemeyi yapabilmek için

[17] http://www.gama-survey.org
[18] http://vipers.inaf.it

belirlenen IfE'lere ait [OIII], Hβ, [NII], Hα çizgi akı değerleri kullanılmıştır. Bu değerler SDSS DR12 verisi içerisinde bulunan "emissionlinesport" adlı tablodan alınmıştır.

3.3.1 SDSS Tayf Verisi

Sloan Sayısal Gökyüzü Taraması (SDSS - Sloan Digital Sky Survey[19]), bugüne kadar yapılmış en iddialı astronomik çalışmalardan biridir. SDSS tüm gökyüzünün yaklaşık 1/4'ünü haritalamıştır. Bu gökyüzü taramasıyla yaklaşık 100 milyon gökcisminin koordinatları ve parlaklıkları belirlenmiştir. Ayrıca bir milyondan fazla galaksinin uzaklıkları da ölçülmüştür.

Sloan Sayısal Gökyüzü Taraması, New Mexico'daki Apache Point Gözlemevinde bulunan 2.5 m'lik teleskop kullanılarak yürütülen bir projedir. SDSS, Alfred P. Sloan Vakfı, Ulusal Bilim Vakfı (NSF, ABD), Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA, ABD), Max-Planck Enstitüsü (Almanya), Amerikan Enerji Bakanlığı (ABD), Monbukagakusho (Japonya) ve vb. büyük kuruluşlar tarafından desteklenmiş büyük bir projedir.

SDSS projesi kapsamında Kuzey Yarıküre'deki gökyüzünün büyük bir bölümü görüntülenmiştir. Ayrıca gözlemler 2000 yılından bu yana aralıksız devam etmektedir.

Apache Point Gözlemevindeki 2.5m'lik teleskopla gözleme uygun geceler boyunca gökyüzünün farklı bölgelerinden görüntü ve spektrumlar alınmaktadır. Gözlemler boyunca 142 megapiksele sahip bir CCD kullanılmıştır. Bu yapı bütün bir CCD değil, 30 tane ayrı CCD'nin bir araya getirilmesi ile oluşturulmuş bir mozaik CCD'dir. Günümüzde yapılan diğer gökyüzü taramalarında da mozaik yapılı CCD'leri görmekteyiz. Örnek olarak Karanlık Enerji Gökyüzü Taramasını (Dark Energy Survey - DES[20]) söyleyebiliriz. 570 megapiksellik CCD kamerası aslında 74 tane CCD'den meydana gelmektedir.

[19] http://www.sdss.org
[20] http://www.darkenergysurvey.org

SDSS'de kullanılan CCD sayesinde 1.5 derecekarelik bir alan tek seferde görüntülenebilmektedir. Çoklu tayfsal yöntemler (multi-spektroscopy) kullanılarak aynı anda 600 gökcisminin spektrumu alınabilmekte ve böylece büyük kolaylık sağlanmaktadır. Fotometrik ölçümler için beş bant kullanılmaktadır. Bunlar u, g, r, i ve z bantlarıdır. Kullanılan bu filtreler 3000-10000 Å dalgaboyu aralığında fotometrik ölçümler yapılmasına olanak tanımaktadır.

Sloan Sayısal Gökyüzü Taraması, 2000 yılından itibaren gözlem programlarına devam etmektedir. SDSS I/II; 2000-2008 yılarını kapsarken, SDSS III; 2008-2014 yılları arasında yapılmıştır. Günümüzde ise SDSS IV (2014-2020) programı kapsamında gözlemler devam etmektedir. SDSS çerçevesinde elde edilen veriler düzenli aralıklarla veri sürümü (Data Release - DR) olarak tüm dünyayla paylaşılır. Bu tez çalışmasında kullanılan veriler DR12'den[21] alınmıştır. Sloan Sayısal Gökyüzü Taraması, birçok cisme ait fotometrik ve tayfsal özellikleri kataloglamıştır. Bu cisimlere ait fiziksel parametrelere, SDSS'in kendi bünyesindeki tabloları kullanarak ulaşabiliriz. Bu tez çalışması kapsamında SDSS DR12 verisi içerisinde bulunan emissionlinesPort tablosu kullanılmıştır. EmissionlinesPort, SDSS ve BOSS galaksilerine ait emisyon çizgileri değerlerini içermektedir. Bu tablodaki emisyon çizgileri GANDALF (Gas and Absorption Line Fitting) programı ile belirlenmiş (Sarzi ve ark., 2006). Çalışmamızda belirlediğimiz IfE'ler arasında yıldız oluşumu gösterenlerin olup olmadığı bu sayede incelenmiştir. Bu işlem için ilk olarak belirlenen IfE'ler, SDSS veritabanında bulunan galaksilerle eşleştirilmiştir. İkinci aşamada ise eşleşen galaksilere ait emisyon çizgilerin akı değerleri toplanmıştır.

Literatürde galaksilerin yıldız oluşumu gösterip göstermediğini belirlemek için kullanılan araçlardan biri BPT diyagramıdır (Baldwin, Phillips ve Terlevich, 1981). BPT diyagramı kullanılarak, AGN (Aktif Galaktik Çekirdek) ve yıldız oluşumu gösteren galaksilerin ayrımı yapılabilmektedir. Tez çalışması kapsamında bu incelemenin yapılabilmesi için EmissionlinesPort tablosu içerisinde bulunan [OIII], Hβ, [NII], Hα çizgilerine ait akı değerleri kullanılmıştır.

[21] http://www.sdss.org/dr12/

3.3.2 GAMA Kırmızıya Kayma Verileri

GAMA (Galaxy And Mass Assembly) tayfsal gökyüzü taraması, galaksilerin oluşumu ve evrimi çalışmaları için yapılan yeni nesil projelerdendir. Bu proje kapsamında r < 19.8 olan ~ 300.000 galaksinin tayfı elde edilmiştir. Bu gözlemler Anglo-Avustralya Teleskobu ve bu teleskoba bağlı AAOmega çoklu cisim tayfçekeri kullanarak gerçekleştirilmiştir. Gözlemler gökyüzünde 286 derecekarelik bir alana karşılık gelmektedir. GAMA projesi 2008-2014 yılları arasında 210 gecenin üzerinde gözlem yapılarak tamamlanmıştır. Bu gökyüzü taraması önceki tayfsal taramaları SDSS, 2dFGRS ve Milenyum Galaksi Kataloğu referans alınarak yapılmıştır (Baldry ve ark., 2010).

GAMA'nın temel amacı, boyutları 1 kpc ile 1 Mpc arasında bulunan yapıları araştırmaktır. İncelenen bu boyutlar, galaksi kümelerini, gruplarını, çarpışmalarını ve galaksi yapısının kaba ölçümlerini kapsamaktadır.

Proje kapsamında birincil hedef soğuk karanlık madde modeli içerisinde ortaya konulan yapıların oluşumlarını test etmektir. Öncelikli amaçlar şöyle sıralanabilir:

- Galaksi grupları içerisinde yıldız oluşumu aktivitesini belirleyerek, galaksi oluşum modellerinin test edilmesi.
- Yıldız oluşumu, yıldız kütlesinin artması ve bu iki süreç arasındaki bağlantının belirlenmesi
- Galaksilerdeki yıldız bileşeni sayısını arttıran mekanizmaların detaylı olarak ortaya çıkarılması
- Son galaksi birleşme oranını doğrudan ölçmek

GAMA gökyüzü taraması yukarıda listelenmiş amaçları yerine getirebilmek için hem çok bant fotometrisine ve hem de tayfsal verilere sahiptir. Alan, tayfsal derinlik, yüksek uzaysal çözünürlük ve geniş dalgaboyu kapsamıyla rakipsiz bir kombinasyona sahiptir.

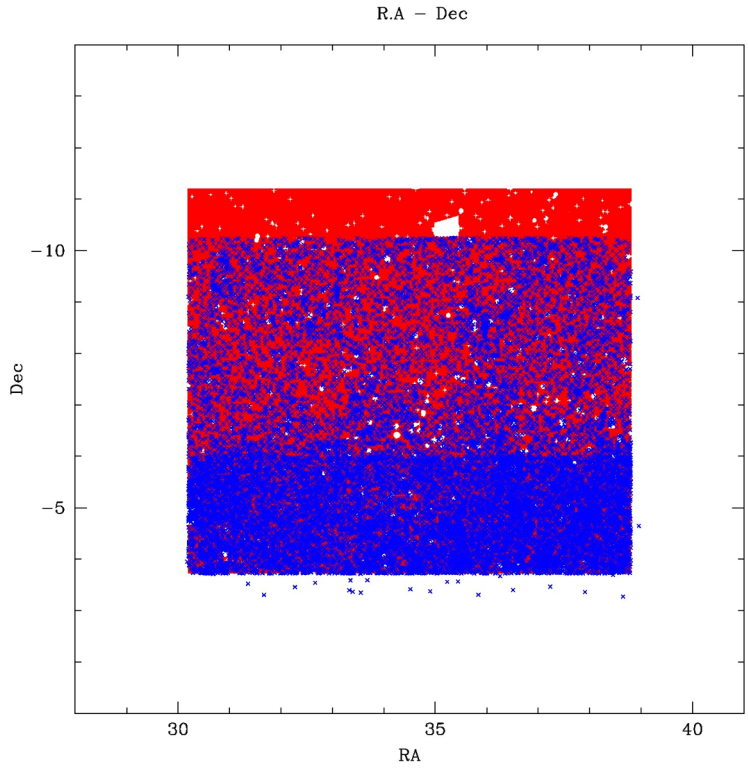
GAMA tayfsal gökyüzü taraması, düşük ve orta kırmızıya kayma değerlerine sahip galaksi çalışmalarında eşsiz bir kapasite sunmaktadır. GAMA taramasının ulaştığı kırmızıya kayma aralığı $0 \leq z \leq 0.4$ dır. GAMA gökyüzü taramasında gözlenen bölgeler Tablo 3.2'de görülmektedir.

Tablo 3.2: GAMA projesi kapsamında gözlenen bölgelerin koordinatları ve parlaklık limitleri.

Bölge	RA (°)	Dec (°)	Parlaklık limiti
G02	30.2 – 38.8	-10.25 – -3.72	r < 19.8
G09	129.0 – 141.0	-2 – +3	r < 19.8
G12	174.0 – 186.0	-3 – +2	r < 19.8
G15	211.5 – 223.5	-2 – +3	r < 19.8
G23	339.0 – 351.0	-35 – -30	i < 19.2

Çalışmamızda G02 bölgesine ait veriler kullanmıştır. Bunun temel sebebi CFHTLS-W1 alanı, GAMA-G02 bölgesini içermesidir. Bu sayede CFHTLS-W1 alanı içerisinde bulunan 33277 galaksiye ait tayf bilgileri GAMA projesinden sağlanmıştır.

GAMA verisini kullanmamızın iki temel sebebi vardır. Bunlardan ilki tayfsal kırmızıya kaymalara dayanan bir kontrol örneklemi oluşturup, IfE'leri belirlemede fotometrik kırmızıya kaymaların etkisini araştırmaktır. Bölüm 3.3'te de vurgulandığı üzere IfE'leri belirlerken fotometrik kırmızıya kayma verisi kullanılmıştır. Her ne kadar günümüzde fotometrik ve tayfsal kırmızıya kayma değerleri arasındaki fark küçük olsa da, kozmolojik boyutlar içerisinde bu farklılık bir önem arz etmektedir. Bu kapsamda hem CFHTLS hem de GAMA verisi içerisinde bulunan galaksilerin sayı yoğunluklarının birbirlerine en yakın olduğu koordinat aralıkları belirlenmiştir. Şekil 3.5'de her iki gökyüzü taramasına ait galaksi dağılımları görülmektedir. Koordinat aralıkları belirlendikten sonra taysal kırmızıya kayma verisi kullanılarak IfE'ler araştırılmıştır. GAMA verisini kullanmamızdaki ikinci temel sebep ise belirlenen IfE'lerin gerçek konumlarını görmek istememizdir. Literatürde bu sınamayı yapmak için koni diyagramları oluşturulmaktadır. Fakat koni diyagramlarında kullanılacak kırmızıya kayma değerlerinin tayfsal olması gerekmektedir. Bu sebeple fotometrik olarak belirlenen IfE'lerin, GAMA verisinden alınan tayfsal kırmızıya kayma değerleri kullanılarak koni diyagramları oluşturulmuş ve gerçekten izole bir ortamda bulunup bulunmadıkları incelenmiştir.



Şekil 3.5: GAMA-G02 ile CFHTLS-W1 alanı içerisinde bulunan galaksilere ait sağ ve dik açıklık (RA-Dec) dağılımı görülmektedir. Kırmızı noktalar CFHTLS-W1 alanı, mavi noktalar ise GAMA-G02 alanı içerisindeki galaksileri temsil etmektedir.

3.3.3 VIPERS Kırmızıya Kayma Verileri

VIPERS gökyüzü taraması (VIMOS Public Extragalactic Redshift Survey) şimdiye kadar benzeri görülmemiş bir hacim içerisinde, kırmızıya kayma değeri $0.5 \leq z \leq 1.2$ olan galaksilerin uzaysal dağılımlarını detaylı bir şekilde haritalandırmaya devam etmektedir. VIPERS projesi kapsamında VLT (Very Large Telescope[22]) teleskobu kullanılarak yaklaşık 100.000 galaksinin kırmızıya kayması belirlenmiştir. Bu ölçümler VIMOS çoklu cisim tayfçekeri ile yapılmıştır. Ölçümü yapılan galaksilerin parlaklığı $i < 22.5$ kadirdir.

VIPERS projesi için VLT teleskobunda yaklaşık 450 saatlik gözlem zamanı ayrılmıştır. Proje kapsamında 24 derecekarelik alan ve $5x10^7$ h^{-3} Mpc^3 gibi geniş bir hacim

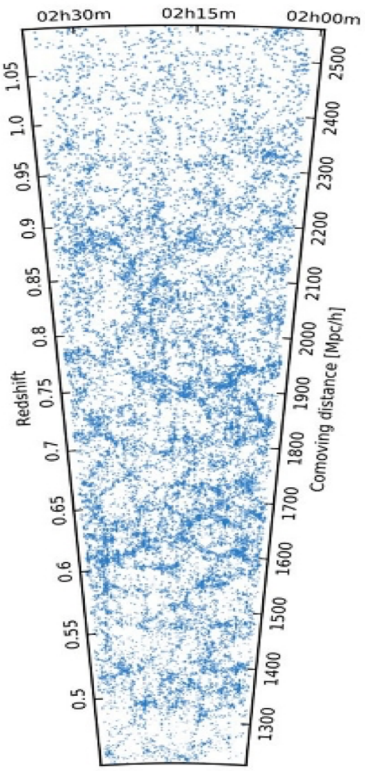
[22] http://www.eso.org/public/teles-instr/paranal/

içerisinde bulunan galaksilerin gözlemleri yapılmıştır. VIPERS, galaksi taramalarındaki boşlukları benzersiz bir şekilde doldurmaktadır

VIPERS gökyüzü taraması, Evrenin günümüzdeki yaşının yarısına karşılık gelen bir dönemde geniş ölçekli yapıların ve kozmolojik parametrelerin ölçümlerine odaklanmıştır. Aynı zamanda, gözlenen kırmızıya kayma aralığında yüksek istatistiksel doğrulukla parlak galaksilerin, grupların ve kümelerin özelliklerini aydınlatabilme imkanı sunmaktadır.

Şekil 3.6'da VIPERS verisine ait ilk sonuçlardan elde edilen galaksi dağılımlarını görüyoruz. Bu koni diyagramında, hacim ve dinamik aralığın benzersiz bir kombinasyonu görülmektedir. Ayrıca Evrenin yaşı 5 ile 8 milyar iken büyük ölçekli yapıların hem detaylı hem de büyük resmini görmemizi sağlamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında VIPERS PDR-1 kataloğu kullanılmıştır. Bu katalogda Ocak 2012 yılına kadar yapılan gözlemler mevcuttur. Katalog içerisinde toplam 55358 galaksiye ait fiziksel parametreler vardır. Bu galaksi sayısı nihai kataloğun %60'nı kapsamaktadır.



Şekil 3.6: Evrenin 0.45<z<1.1 kırmızıya kayma aralığındaki geniş ölçekli yapısının görüntüsü. Bu koni diyagramında VIPERS W1 alanı içerisindeki yaklaşık 25000 galaksinin dağılımı mevcuttur (Guzzo et al. 2013). Diyagram üzerindeki her bir nokta, B bandında ölçümü yapılmış galaksiye karşılık gelmektedir.

VIPERS projesi, CFHTLS-W1 ve W4 alanlarını gözlemek üzere tasarlanmıştır. Bu sebeple CFHTLS-W1 alanı içerisinde $0.4 < z \leq 1.0$ aralığında bulunan eliptik galaksilere ait tayfsal veriler VIPERS gökyüzü taramasından elde edilmiştir. VIPERS tayfsal kırmızıya kayma değerleri kullanılarak belirlediğimiz IfE'lerin Şekil 3.6'da da gösterildiği gibi koni diyagramları oluşturulmuştur. 0.4 ile 1.0 tayfsal kırmızıya kayma aralığında bulunan IfE'lerin gerçekten izole bir ortamda bulunup bulunmadıkları incelenmiştir.

3.4 İZOLE ALAN ELİPTİK GALAKSİLERİNİN BELİRLENMESİ

CFHTLS-W1 alanına ait fotometrik kırmızıya kayma kataloğu, galaksilerin fotometrik kırmızıya kaymalarını, spektrel tip bilgisini ve parlaklık gibi bazı bilgileri içermektedir. Bu katalogda geçerli bir kırmızıya kayması olan ve 5 bantta parlaklıkları ölçülmüş toplam 3.540.507 galaksi bulunmaktadır.

IfE'leri belirleyebilmek için öncelikle CFHTLS-W1 alanı içerisindeki eliptik galaksi örneklemini oluşturmak gerekmektedir. Bu amaçla fotometrik kırmızıya kayma kataloğundaki spektrel tip bilgisi kullanılmıştır. Galaksilere ait spektrel tipler, LePhare (Arnouts ve ark., 1999) programı ile fotometrik kırmızıya kaymalar belirlenirken bir yan ürün olarak elde edilmektedir.

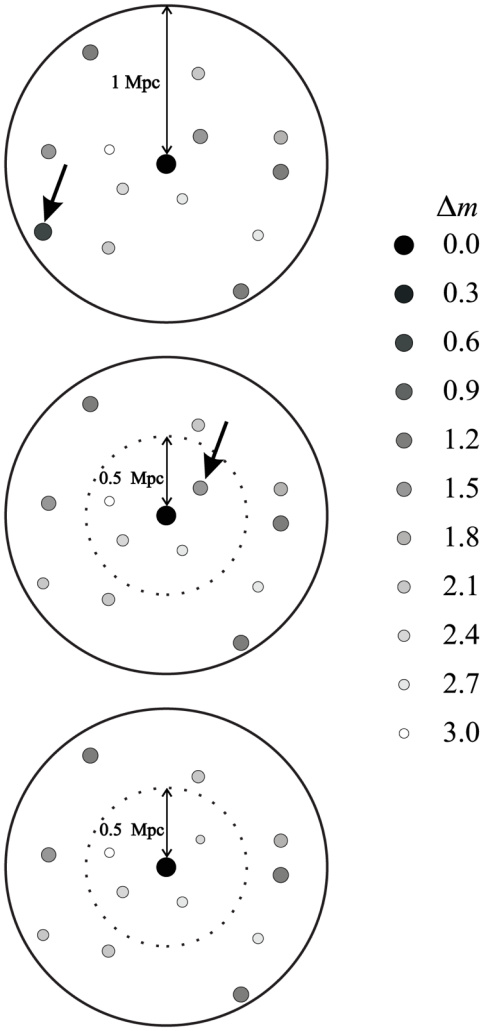
Çalışmamızda kullanacağımız eliptik galaksiler, $M(r) \leq -21$ olacak şekilde belirlenmiştir. Uygulanan bu mutlak parlaklık limitinden sonra elimizde toplam 215590 eliptik galaksi kalmıştır.

Her bir eliptik galaksinin izole olup olmadığı, Smith ve ark. (2004) tarafından verilen izole olma kriteri ile sınanmıştır. Bir galaksinin izole olabilmesi için;

- 0.5 Mpc'lik yarıçap içerisinde kendisiyle parlaklık farkı 2.2 kadirden daha az,
- 1 Mpc'lik yarıçap içerisinde kendisiyle parlaklık farkı 0.7 kadirden daha az

bir galaksi bulunmamalıdır. Başka türlü ifade etmek gerekirse, 0.5 Mpc'lik alan içerisinde bulunan galaksiler, aday galaksiden en az 2.2 kadir daha sönük olmalıdır. Benzer şekilde, 1 Mpc'lik alan içerisinde bulunan galaksiler de en az 0.7 kadir daha sönük olmalıdır. Smith ve ark. (2004) tarafından verilen bu kriter Şekil 3.7'de şematik olarak gösterilmektedir.

Bu sebeple, aday eliptik galaksilerimizi içeren kataloğun yanısıra, ayrıca bütün galaksileri içeren bir de ana galaksi kataloğu oluşturulmuştur. Bu ikinci katalog, eliptik galaksi kataloğundan 2.2 kadir daha sönüktür. Bu şekilde elde ettiğimiz ana galaksi kataloğumuz 3007187 galaksiyi içermektedir.

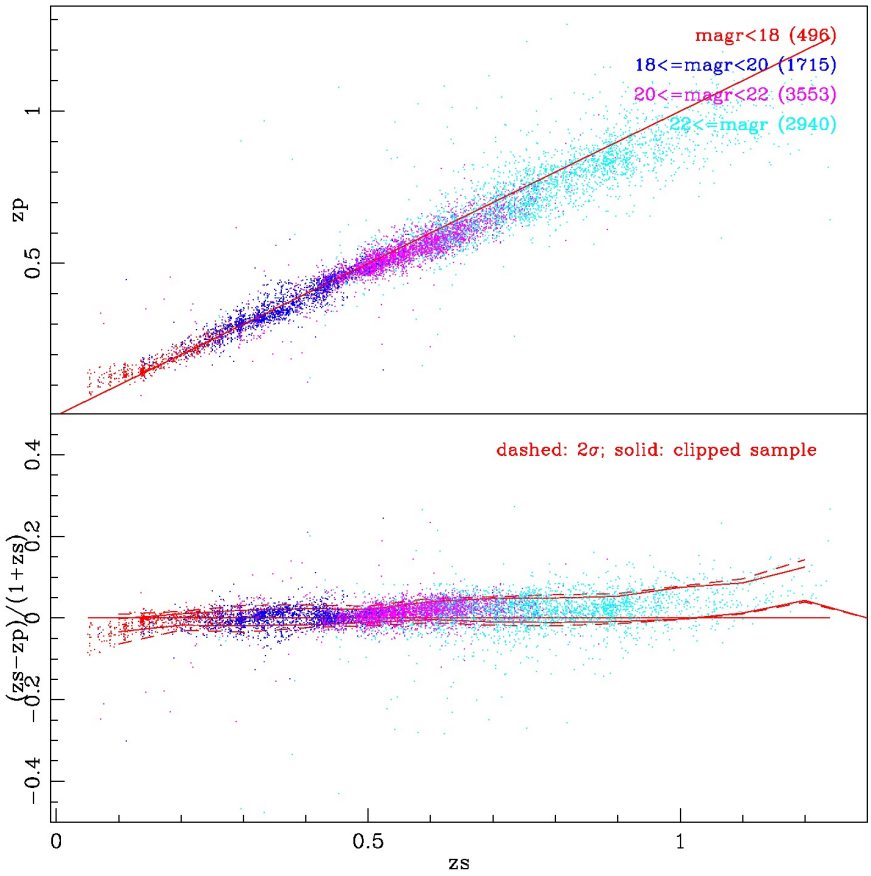


Şekil 3.7: İzole olma kriterinin şematik gösterimi. En üstteki şekilde 1 Mpc içerisinde merkezdeki eliptik galaksiyle okla gösterilen galaksi arasındaki parlaklık farkı 0.7'den büyük olmadığı için izole olma koşulu sağlanamamıştır. Ortada bulunan şekilde merkezdeki eliptik galaksiyle okla gösterilen galaksi arasındaki parlaklık farkı 1 Mpc içerisinde izole olma koşulunu sağlarken 0.5 Mpc'lik uzaklık içerisinde izole olma koşulunu bozmaktadır. En alttaki şekilde ise bir galaksinin izole olma kriteri tam olarak sağlanmıştır (Smith ve ark., 2004).

CFHTLS-W1 alanındaki IfE'ler, yukarıda verilen izole olma kriterine dayanarak ve aşağıda anlatıldığı gibi belirlenmiştir:

Aday eliptik galaksilerimizin 1 Mpc uzağına kadar olan galaksileri sınayabilmek amacıyla, her birinin çevresinde 1.25 Mpc'lik bir yarıçap içerisindeki tüm galaksileri içeren bir mini katalog oluşturulmuştur.

Bu mini kataloglardaki galaksilerin, aday galaksilerle aynı kırmızıya kayma aralığında bulunup bulunmadıkları belirlenmiştir. Bu çalışmada kullandığımız fotometrik kırmızıya kaymalar daha önce de belirtildiği gibi galaksilerin tayfsal enerji dağılımlarının üretilen model tayflarla uyumundan elde edilmiştir. Bu türden yöntemlerde verilen fotometrik kırmızıya kaymalar aslında bir olasılık fonksiyonu ile ifade edilmektedir ve bu fonksiyonun tepe noktası ise en olası değer olarak kabul edilmektedir. Ancak bir galaksinin gerçek kırmızıya kayması, verilen bu en olası değerden ± 3σ kadar farklı olabilir. Fotometrik kırmızıya kaymanın doğasından gelen bu etkiyi en aza indirebilmek için; IfE adayı eliptik galaksinin çevresindeki galaksilerin, eliptik galaksinin kırmızıya kaymasının ±2 σ içinde olmaları koşul olarak kabul edilmiştir. Böylece iki galaksinin birbirleri ile aynı uzayda oldukları %95 olasılıkla belirlenmiştir. Yaptığımız bu tercihi, Bölüm 3.5'de GAMA projesinden alınan tayfsal kırmızıya kaymalar ile test edilmiştir



Şekil 3.8: CFHTLS-W1 alanındaki eliptik galaksilerin fotometrik ve tayfsal kırmızıya kaymalarının karşılaştırılması. Grafikte tayfsal kırmızıya kayması bilinen yaklaşık 9000 eliptik galaksi bulunmaktadır. Fotometrik kırmızıya kaymanın hatası ±1 ve ±2σ olarak sırasıyla düz ve kesikli çizgilerle belirtilmiştir. Özellikle z < 0.1 ve z > 1.0 için fotometrik kırmızıya kaymadaki yanlılık dikkat çekmektedir (Aliş, 2015).

Şekil 3.8'de CFHTLS-W1 alanındaki 9000 eliptik galaksinin tayfsal ve fotometrik kırmızıya kaymaları karşılaştırılmaktadır (Aliş, 2015). Buna göre z < 0.1 ve z > 1 için güçlü bir yanlılık etkisi görülmektedir. Fotometrik kırmızıya kaymaların hatası grafikteki saçılmadan belirlenmektedir. Ilbert ve ark. (2006) ve Coupon ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmalarda CFHTLS fotometrik kırmızıya kaymaları için bu saçılma dz = (zspec-zphot) / (1+zspec) = 0.03 (zp = zphot, zs = zspec) olarak elde edilmiştir. Genel olarak eliptik galaksiler için bu saçılma (σ), diğer galaksi türlerine

göre daha küçüktür. Ayrıca Şekil 3.8'den de görülebildiği gibi dz, kırmızıya kaymaya da bağlıdır. Tez çalışmasında σ = 0.03 olarak kabul edilmiştir. Aslında dz değeri eliptik galaksiler için birçok z aralığında 0.03'ten daha küçüktür; ancak IfE'leri belirlerken eliptik galaksileri her türden galaksi ile karşılaştırdığımızdan, herhangi bir yanlılık katmamak için tüm galaksilerin fotometrik kırmızıya kaymalarına aynı dz değeri uygulanmıştır.

%95 olasılıkla ($\pm 2\sigma$) aynı kırmızıya kayma aralığında bulunan galaksiler ile IfE adayı eliptik galaksi arasındaki uzaklıklar hesaplanmıştır. Uzaklıklar hesaplanırken genel kabul gördüğü üzere galaksilerin gökyüzü düzlemi üzerindeki izdüşümleri dikkate alınmıştır. IfE adayı çevresinde bulunan ve aynı kırmızıya kayma aralığındaki her bir galaksi ile IfE adayı arasındaki açısal ayrıklıklar aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\cos d = (\sin \delta_1 * \sin \delta_2) + (\cos \delta_1 * \cos \delta_2 * \cos (\alpha_1 - \alpha_2) \quad (3.1)$$

Burada α ve δ sırasıyla galaksilerin sağaçıklık ve dikaçıklıklarını temsil etmektedir.

Hesaplanan açısal ayrıklıklar (d), aday eliptik galaksinin kırmızıya kayması kullanılarak lineer uzaklıklara dönüştürülmüştür. Böylece açısal olarak belirlediğimiz ayrıklıklar, Mpc cinsinden fiziksel uzaklıklara dönüştürülmüşdü. Fiziksel uzaklıkların belirlenmesi sırasında, standart ΛCDM kozmolojisi çerçevesinde Ω_m=0.3, Ω_Λ=0.7 ve H_0= 72 km s^{-1} Mpc^{-1} olarak kullanılmıştır.

Son aşamada Smith ve ark. (2004) tarafından verilen kriter sınanarak, her bir IfE adayı eliptik galaksinin çevresinde, 0.5 Mpc ve 1.0 Mpc'lik yarıçaplardaki galaksiler ile aday galaksinin parlaklıkları karşılaştırılmıştır. Bu yarıçaplar içerisinde aday galaksi ile komşu galaksiler arasındaki parlaklık farkının sırasıyla $\Delta m_{12} \geq 2.2$ ve $\Delta m_{12} \geq 0.7$ olması şartı aranmıştır. Tüm aşamaları geçip bu şartı sağlayan galaksiler, izole alan eliptik galaksisi olarak işaretlenmiştir. Bu galaksilere ait parlaklık, kırmızıya kayma, etkin yarıçap vb gibi tüm fotometrik bilgiler bir katalogda toplanmıştır. Bölüm 4'te verilen bulgular bu sonuç kataloğu kullanılarak elde edilmiştir. IfE'lerle diğer eliptik galaksilerin özellikleri karşılaştırılırken, belirlenen IfE'ler ana eliptik galaksi kataloğundan çıkarılmış ve karşılaştırmalar o şekilde yapılmıştır.

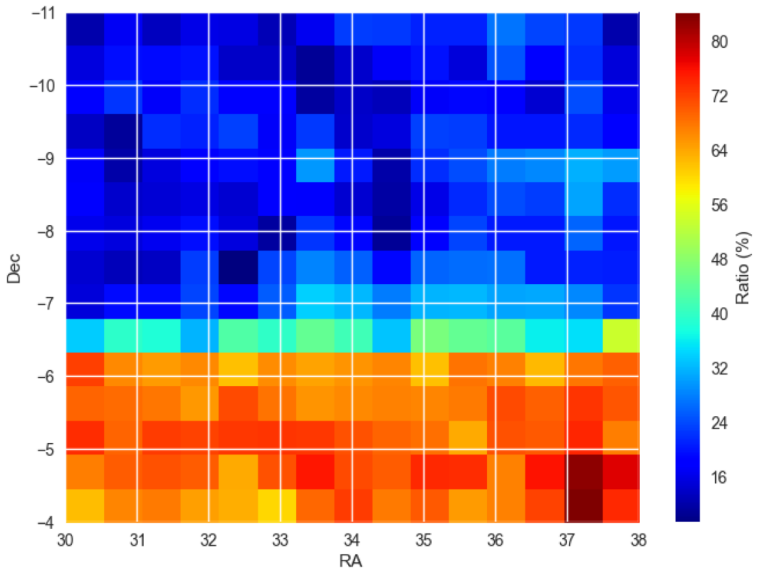
Yukarıda ayrıntılı olarak anlatılan aşamalar, tez kapsamında yazılan ana bir bilgisayar programı ile yapılmıştır. Sözkonusu program Fortran programlama dilinde yazılmıştır. Ana program gerektiği hallerde bazı yardımcı modüller kullanarak, girdi kataloglarından itibaren IfE'leri belirlemekte ve bunları bir dosyaya yazdırmaktadır. Bulgular bölümünde verilen grafikler ise yine tez çalışması kapsamında yazılmış bir "betik" ile ana program çıktısı üzerinden otomatik olarak üretilmektedir. Tez kapsamında üretilen grafiklerin büyük bölümü SuperMongo çizim dili kullanılarak üretilmiştir. Bazı hallerde Python kütüphaneleri ve araçları da kullanılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında 215590 aday eliptik galaksiden toplam 60 tane IfE belirlenmiştir.

3.5 ALGORİTMANIN TAYFSAL VERİLERLE SINANMASI

Daha önce de belirtildiği gibi tez çalışmamızda IfE'leri belirlerken fotometrik kırmızıya kaymalar kullanılmıştır. Bu kırmızıya kaymalardaki yanlılık ve hataların IfE'leri belirlememizdeki etkilerini araştırmak için GAMA tayfsal kırmızıya kaymaları kullanılarak bir kontrol örneklemi oluşturulmuştur. GAMA gökyüzü taraması, Bölüm 3.3.2'de de anlatıldığı gibi tayfsal bir taramadır. GAMA-G02 bölgesi CFHTLS-W1 alanındaki 33.277 galaksinin tayfsal kırmızıya kaymasını içermektedir.

G02 bölgesinin kapsadığı alan GAMA projesi süresince birkaç kez gözden geçirildiğinden, tüm G02 bölgesi homojen bir galaksi yoğunluk dağılımı göstermemektedir. Şekil 3.9'da W1 alanındaki ve CFHTLS ve GAMA galaksilerinin yoğunluklarının nasıl değiştiği görülmektedir.



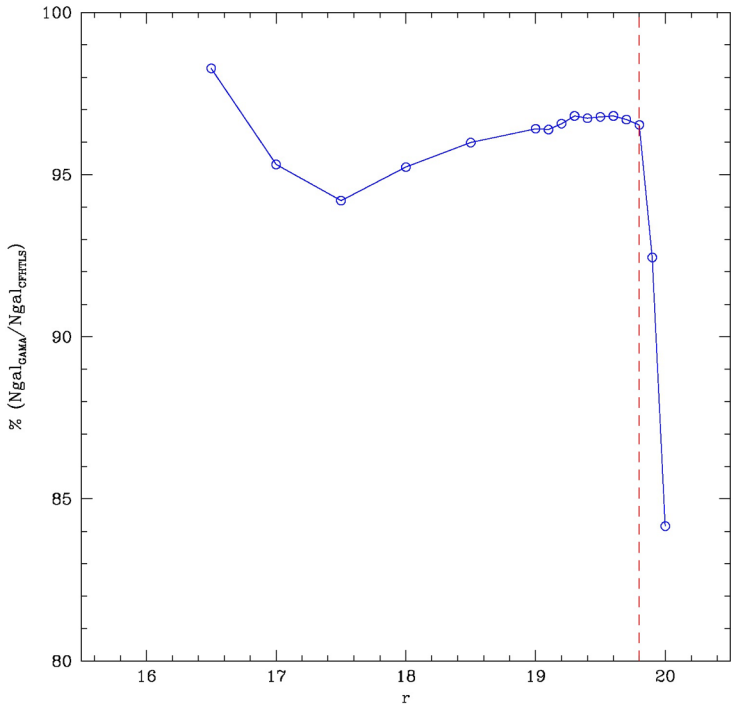
Şekil 3.9 : CFHTLS-W1 alanı içerisinde bulunan CFHTLS ve GAMA galaksilerinin yoğunluk dağılımı. Grafik iki katalogdaki bütün galaksileri içermektedir ve herhangi bir parlaklık sınırlaması uygulanmamıştır. Grafiğin sağında bulunan ölçek GAMA galaksi sayısının CFHTLS galaksi sayısına oranını göstermektedir. Buna göre mavi bölgeler GAMA galaksilerinin az sayıda olduğu bölgeleri, kırmızı bölgeler ise çok sayıda olduğu bölgeleri göstermektedir. Algoritmamızın tayfsal verilerle sınanması için Dec ≤ -6° olan bölgedeki galaksiler dikkate alınmıştır.

Çalışmamızda izlediğimiz algoritmanın sınanabilmesi için fotometrik ve tayfsal kırmızıya kaymaya sahip galaksilerin karşılaştırılabilir ölçüde sayı yoğunluğuna sahip olması gerektiğinden, Şekil 3.9'da kırmızı tonlarla görülen bölge kullanılmıştır. Böylece hem GAMA hem de CFHTLS galaksilerinden Dec ≤ -6° olanlar seçilmiştir. Dikkate aldığımız bölgenin kabaca koordinatları 30° ≤ RA ≤ 39° ile -3° ≤ Dec ≤ -6° arasında kalmaktadır.

Elimizdeki GAMA kataloğu yalnızca galaksilerin koordinatlarını ve tayfsal kırmızıya kaymalarını içermekteydi. IfE'leri belirleyebilmek için parlaklık ve spektrel tip bilgisine ihtiyaç duyduğumuz için, ilk adım olarak GAMA kataloğu ile CFHTLS kataloğunu eşleştirilmiştir. Böylece GAMA galaksilerine ait fotometrik bilgileri derlemiş olduk. Başlangıç GAMA kataloğunda bulunan 33.277 galaksi CFHTLS kataloğundaki 27.489 galaksi ile eşleşmiştir. Eşleşen galaksi sayısındaki farklılık, CFHTLS alanındaki

maskelerden ve görüntülerdeki sorunlu alanlardan kaynaklanmaktadır. GAMA taraması tayfsal bir tarama olduğu için, görüntülerle ilgili sorunlardan etkilenmemektedir.

Algoritmanın GAMA galaksileri üzerinde çalıştırılmasından önce, GAMA'nın parlaklık limitleri dikkate alınması ve iki kataloğun da aynı derinlikte olduklarından emin olunması gerekmektedir. GAMA projesinin tanıtımında tamlık sınırının r~19.5 olduğu belirtilmektedir (Baldry ve ark., 2010). Ancak, bu durum bu çalışamada kullanılan kataloglar kullanılarak yeniden ortaya konulmuştur. CFHTLS taraması GAMA'dan çok daha derinlere ulaştığı için GAMA'nın tamlık sınırının belirlenmesinde bir referans olarak kullanılabilir.



Şekil 3.10: GAMA kataloğundaki galaksi sayısının parlaklıkla değişimi. CFHTLS kataloğu referans alındığında, GAMA kataloğunun tamlık sınırının r~19.8 kadir olduğu görülmektedir.

.

Şekil 3.10'da GAMA kataloğunun tamlık sınırı r~19.8 kadir olarak görülmektedir. Buradan hareketle GAMA kataloğunu r ≤ 19.5 kadir olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Aday eliptik galaksi kataloğumuz Bölüm 3.4'de bahsedildiği gibi ana galaksi kataloğundan 2.2 kadir daha parlak olmalıdır. Bu durumda, GAMA'dan seçilen eliptik galaksileri içeren kataloğumuzu r ≤ 17.3'de kesilmiştir. Böylece IfE'leri belirlemek için kullanacağımız GAMA eliptik galaksileri 130 galaksiyi içerirken, ana galaksi kataloğu 11.282 galaksi içermektedir. Aday eliptik galaksilerin IfE olup olmadıklarını belirlerken, önceki bölümde bahsedilen algoritma tek bir farklılıkla uygulanmıştır. Farklılık GAMA tayfsal kırmızıya kaymalarının kullanılmasından ileri gelmektedir. IfE adayı eliptik galaksi ile çevresindeki galaksilerin aynı kırmızıya kayma uzayında olup olmadıkları belirlenirken dz = 0.003 olarak kullanılmıştır. Bu değer 1000 km/s'lik uzaklaşma hızlarına karşılık gelmektedir ve literatürde de iki galaksinin ayrıklığını belirlemek için kullanılmaktadır.

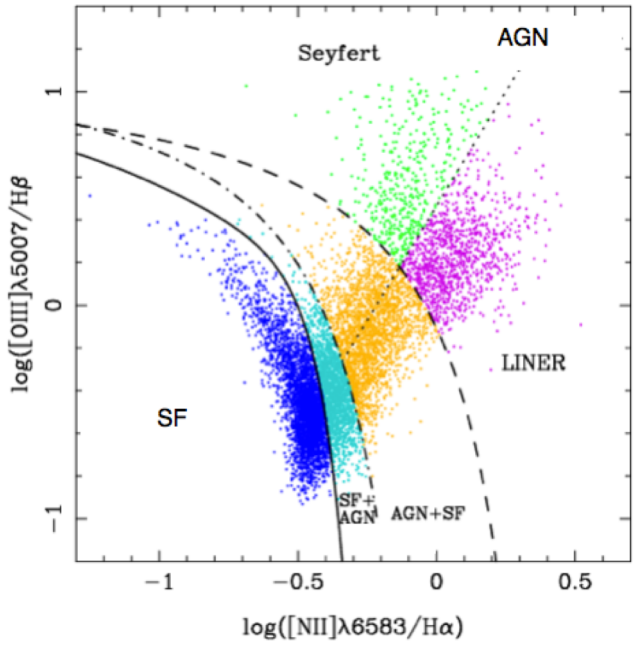
Sonuç olarak; GAMA tayfsal kırmızıya kaymaları kullanılarak 130 eliptik galaksiden 38 tanesi IfE olarak belirlenmiştir.

Bu aşamada, GAMA galaksileri için uyguladığımız (bu bölümün başında verilen) koordinat ve parlaklık limitlerini CFHTLS kataloğuna da uygulanmıştır. Aynı koordinat ve parlaklık aralıklarında CFHTLS kataloğundan 139 eliptik galaksi belirlenmiştir. Bu galaksileri karşılaştıracağımız ana galaksi kataloğu ise 11.657 galaksiden oluşmaktadır. Bölüm 3.4'te anlatıldığı gibi IfE'ler belirlendiğinde, 1σ (dz) için 14; 2σ (2*dz) için 9; 3σ (3*dz) için 3 IfE belirlenmiştir. Bu IfE'ler tayfsal kırmızıya kaymalardan belirlenen 38 IfE ile karşılaştırıldığında sırasıyla 1σ, 2σ ve 3σ için 12, 7 ve 3 IfE'nin ortak olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlara göre; tayfsal kırmızıya kayma kullanılarak belirlenen IfE'lerin neredeyse tamamı fotometrik kırmızıya kaymalarla da belirlenebilmiştir. Böylece IfE'leri sağlıklı bir şekilde belirleyebilmek ve fotometrik kırmızıya kaymadan ileri gelen belirsizlikten olabildiğince az etkinlenmek için; galaksilerin içinde bulunacakları kırmızıya kayma aralığının 2σ olarak uygulanmasına karar verilmiştir. Bu değer CFHTLS-W1 alanındaki IfE'leri belirlerken kullanılmıştır. Bu şekilde, galaksilerin aynı kırmızıya kayma uzayında oldukları (ya da olmadıkları) belirlenmiştir.

3.6 GALAKSİLERDE YILDIZ OLUŞUM ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Bu tez çalışması kapsamında bulunan IfE'lerin, yıldız oluşumu gösterip göstermediklerini belirlemek için Baldwin-Phillips-Terlevich (1981) tarafından geliştirilen BPT diyagramı kullanılmıştır. BPT diyagramı, AGN'ler (Aktif Galaksi Çekirdeği) ile yıldız oluşumu gösteren galaksileri ayırabilmek için geliştirilmiş tanı araçlarındandır. BPT diyagramı galaksilerin emisyon çizgileri kullanılarak oluşturulabilmektedir. Bir galakside gözlenen emisyon çizgileri, kütleli OB yıldızlarının (yıldız oluşumu gösteren bölgelerde bulunurlar) ya da bir AGN'nin varlığına işaret etmektedir (Lacerna ve ark., 2015). Baldwin-Phillips-Terlevich (1981), emisyon çizgileri baskın olan galaksileri sınıflandırmak için tanımlayıcı üç diyagram önermiştir. Bu diyagramlar, optik bölgedeki tayflarda görülen dört çizginin farklı oranlarına dayanmaktadır. Bu çizgi oranları; [OIII]/Hβ, [NII]/Hα, [SII]/ Hα ve [OI]/Hα çizgi oranlarıdır. Şekil 3.11'de örnek bir BPT diyagramı verilmektedir.



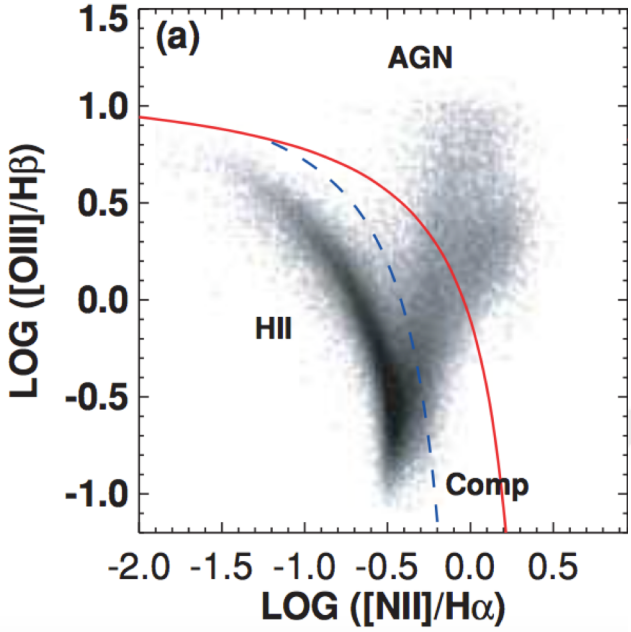
Şekil 3.11: Örnek bir BPT[23] diyagramı. Galaksiler emisyon çizgi oranlarına göre sınıflandırılmaktadır.

[23] http://inspirehep.net/record/796804/plots

Kewley ve ark. (2001), yıldız popülasyonlarına ait sentetik modelleri kullanarak BPT diyagramı üzerinde yıldız oluşumu gösteren galaksilerin bulunduğu bölgeyi yeniden tanımlamıştır.

Genel olarak, incelenen galaksi bu çizginin altında ise yıldız oluşumu göstermesi olasıdır. BPT diyagramında yıldız oluşumu gösteren galaksilerin bulunduğu bölge ile AGN'ler arasında geçiş (composite) sınıfı galaksiler bulunmaktadır. Geçiş sınıfı galaksilerin, yıldız oluşumu gösteren galaksilerle karışmaması için Kauffmann ark., (2003) yıldız oluşumu gösteren galaksilerin bulunduğu bölgeyi yeniden tanımlamıştır. Şekil 3.12'de Ke01 ve Ka03 sınıflandırma çizgileri düz ve kesikli olarak görülmektedir. Ka03 çizgisinin altında kalanlar yıldız oluşumu gösteren galaksiler olarak belirtilmektedir. Yıldız oluşumu gösteren galaksiler, düşük metal bolluğundan yüksek metal bolluğuna doğru ince bir kol oluşturmaktadır. Bu kol literatürde yıldız oluşumu kolu olarak adlandırılmaktadır. İki sınıflandırma çizgisi arasında kalan galaksiler ise AGN-yıldız oluşumu gösteren galaksilerden oluşan karışık bir koldur. Geçiş sınıfı galaksilerin metalce zengin yıldız popülasyonlarına sahip olmaları ve aktif galaksi çekirdeği içermeleri muhtemeldir. BPT diyagramı üzerinde Ka03 çizgisinin üzerinde kalanlar ise AGN olarak sınıflandırılmaktadır (Kewley ve ark., 2006).

Tez çalışması kapsamında BPT diyagramları oluşturulurken en çok çizgi akı değerlerine sahip olduğumuz [OIII]/Hβ ve [NII]/Hα çizgi akı oranları kullanılmıştır. İhtiyaç duyduğumuz çizgi akıları Bölüm 3.3.1'de anlatıldığı gibi SDSS DR12 verilerinden elde edilmiştir.



Şekil 3.12: BPT diyagramı. Düz kırmızı çizgi Ka03 teorik çizgisini temsil ederken, kesikli siyah çizgi Ke01 teorik çizgisini temsil etmektedir. Ka03 çizgisinin altında kalanlar yıldız oluşumu aktivitesi gösteren galaksiler olarak, Ke01 çizgisinin üstünde bulunan galaksiler ise AGN olarak sınıflandırılmıştır (Kewley ve ark., 2006).

Kewley ve ark. (2006 yaptıkları çalışmada yıldız oluşumu gösteren galaksileri belirlemek için aşağıdaki denklemini kullanmışlardır:

$$\log([\mathrm{OIII}]/\ \mathrm{H}\beta) < (0.61/(\log([\mathrm{NII}]/\ \mathrm{H}\alpha) - 0.05) + 1.3) \quad (3.3)$$

Bu denklemi sağlayan galaksiler, yıldız oluşumu kolu üzerinde bulunmaktadır. Aynı çalışmada geçiş sınıfı galaksileri belirlemek için aşağıdaki denklem kullanılmıştır:

$$\log([\mathrm{OIII}]/\mathrm{H}\beta) > 0.61/[\log([\mathrm{NII}]/\mathrm{H}\alpha) - 0.05] + 1.3 \quad (3.4)$$

Bu denklemi sağlayan galaksiler ise geçiş sınıfı galaksiler olarak belirlenmektedir ve bunlar yukarıda da belirtildiği üzere, BPT diyagramı üzerinde Ke01 ile Ka03 çizgileri arasında bulunur.

4. BULGULAR

4.1 IFE'LERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Bu tez çalışması kapsamında 215590 aday eliptik galaksiden toplam 60 tane IfE belirlenmiştir. IfE'leri belirleyebilmek için öncelikle 72 derecekarelik CFHTLS-W1 alanı içerisinde bulunan eliptik galaksilerden bir örneklem oluşturulmuştur. Eliptik galaksi örneklemi, $M(r) \leq -21$ kadir ile sınırlandırılmıştır. Tez çalışması kapsamında ana eliptik galaksi örneklememiz normal eliptikler olarak isimlendirilmektedir. İzole olma koşulu uyguladıktan sonra toplam 118 tane IfE belirlemiştir. STIFF programı aracılığıyla belirlenen IfE'lere ait g, r ve i görüntüleri kullanılarak renkli görüntüler oluşturulmuştur. İncelenen görüntülerde şüpheli adaylar liste dışına çıkarılmıştır. Böylece toplam 60 tane izole alan eliptik galaksi belirlenmiştir. Şüpheli adayların program çıktısında IfE olarak belirlenmesinin sebebi, LePhare programı tarafından yanlış sınıflandırılmalarıdır. Yapılan inceleme sonunda büyük bir şişkin bölgeye sahip spiral galaksilerin bazılarının eliptik olarak sınıflandırıldığı görülmüştür.

Tez çalışması kapsamında belirlenen IfE'ler, ana eliptik galaksi örnekleminden (normal eliptikler) çıkarılıp, hem normal eliptik galaksilerle hem de küme eliptikleriyle fotometrik ve morfolojik özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Bu işlem için ilk olarak küme eliptik galaksilere, IfE'ler ve normal eliptikler gibi $r \leq -21$ parlaklık limiti uygulanmıştır. Ayrıca belirlenen küme eliptikleri normal eliptik galaksi örneklememizden çıkarılmıştır. Aynı parlaklık limitine sahip üç farklı eliptik galaksi grubu birbirleriyle karşılaştırılarak, eliptik galaksilerin oluşum ve evrim süreçlerinde çevrenin ne kadar önemli olduğu araştırılmıştır. Çalışmamız kapsamında 72 derecekarelik W1 alanı içerisinde 60 IfE, 2177 küme eliptik galaksi ve 213353 normal eliptik galaksi bulunmaktadır. Bu üç eliptik galaksi grubu renk, parlaklık, kırmızıya kayma dağılımı, etkin yarıçap, uzaysal dağılımları bakımından karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte yıldız oluşumu etkinliği hem IfE'ler hem de normal eliptik galaksiler için verilirken bileşen galaksilerin dağılımı yalnızca IfE'ler için verilmiştir.

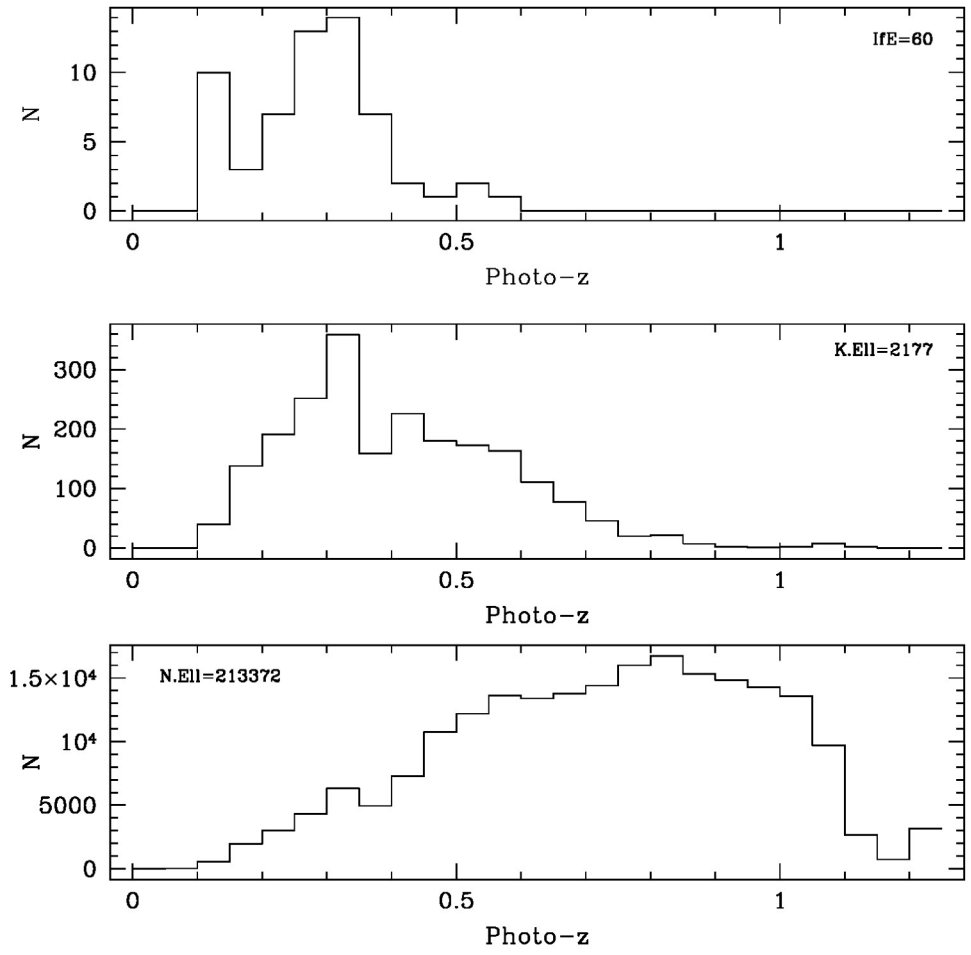
W1 alanı içerisinde:

- Derecekare başına 0.8 IfE
- ~ 266691 galaksi/derecekare 1'i IfE adayı
- ~ 3555 eliptik galaksiden 1'i IfE adayı
- IfE'ler, bütün normal eliptik galaksi örneklememizin yalnızca % 0.027 oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında belirlenen IfE'lerin kırmızıya kayma dağılımları $0.1 \leq z \leq 0.6$ değerleri arasında görülmektedir. Üç farklı eliptik galaksi grubuna ait kırmızıya kayma değerleri incelendiğinde, IfE'lerin hem normal eliptik galaksilere hem de küme üyesi eliptik galaksilere göre daha geç zamanlarda oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.1). IfE'lerin kırmızıya kayma değerinin ortalaması zphot=0.285 olarak belirlenirken normal eliptiklerin ve küme eliptiklerin ise sırasıyla 0.732 ve 0.405 olarak belirlenmiştir. Tablo 4.1'de zphot değerine ait sonuçlar görülmektedir.

Tablo 4.1: Üç farklı eliptik galaksi grubuna ait fotometrik kırmızıya kayma dağılımının istatistiksel sonuçları görülmektedir. N.Eliptik normal eliptikleri ifade ederken, K.Eliptik küme eliptik galaksilere karşılık gelmektedir. Sonuçlar $\pm 1\sigma$ ve $\pm 3\sigma$ koşulu uygulandıktan sonra elde edilmiştir.

zphot	N (1σ)	Ortalama	std. sapma	N (3σ)	Ortalama	std. sapma
IfE	60	0.284	0.105	60	0.284	0.105
N.Eliptik	213372	0.732	0.241	213314	0.732	0.240
K.Eliptik	2177	0.410	0.168	2162	0.405	0.160



Şekil 4.1: Üç farklı eliptik galaksi grubuna ait fotometrik kırmızıya kayma (zphot) dağılımı.

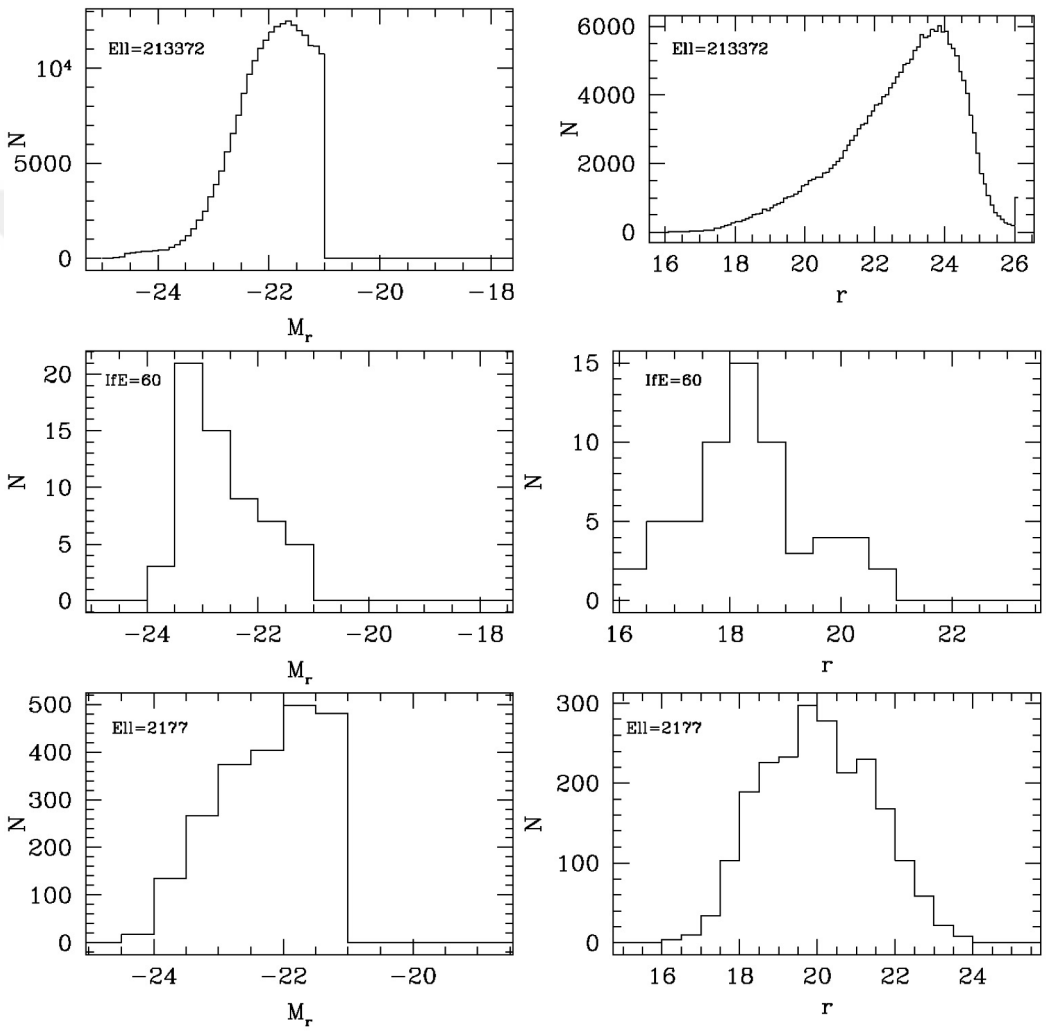
İstatistik biliminde normallik sınamaları için bir çok parametrik olmayan sınama vardır. Bunlardan bir tanesi de Kolmogorov-Smirnov (K-S) testidir. K-S testi iki değişik problem için hipotez sınaması olarak kullanılmaktadır. Bunlarda ilki tek örneklem için K-S testi, diğeri ise iki örneklem için K-S testidir. İki örneklem testi, bağımsız iki örneğin aynı ana kitleden gelip gelmediğini inceleyen bir testtir. Bu tip problemde sıfır Hipotezi H_0, iki örneklemin de aynı ana kitle olasılık dağılımından gelmiş olduğunu söyler. Çıkan sonuca göre hipotezin doğru ya da yanlış olduğu belirlenir.

Galaksilere ait kırmızıya kayma dağılımlarını detaylı inceleyebilmek için K-S testi uygulanmıştır (Tablo 4.2). İlk olarak IfE'lerle küme eliptik galaksilerin kırmızıya kayma dağılımı aynı ana kitleden mi yoksa farklı ana kitle dağılımından mı geldikleri incelenmiştir. K-S testine göre p-değeri %1'den çok küçük olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuç doğrultusunda, IfE'lerin ve küme eliptik galaksilerinin kırmızıya kayma dağılımı aynı ana kitleden gelmemektedir. İkinci olarak da IfE'lerle normal eliptik galaksilerin kırmızıya kayma dağılımları karşılaştırılmıştır. K-S testi sonucuna göre p-değeri %1'den çok küçük olarak belirlenmiştir. Küme eliptiklerinde olduğu gibi sıfır hipotezi reddedilebilir. Bu durumda, IfE'lerin ve normal eliptik galaksilerin kırmızıya kayma dağılımı aynı ana kitleden gelmemektedir.

Tablo 4.2: IfE'lerin kırmızıya kayma dağılımlarını hem küme eliptikleriyle hem de normal eliptik galaksilerle karşılaştıran K-S testinin sonuçları.

zphot	p-değeri	%
IfE- Normal Eliptik	2.3324e-36	< %1
IfE- Küme Eliptik	6.0785e-53	< %1

IfE'lere ve diğer iki eliptik galaksi grubuna ait r bandı parlaklık dağılımları Şekil 4.2'de verilmiştir. r bandı parlaklık dağılımı incelendiğinde IfE'lerin daha parlak tarafta yığıldıkları görülmektedir.



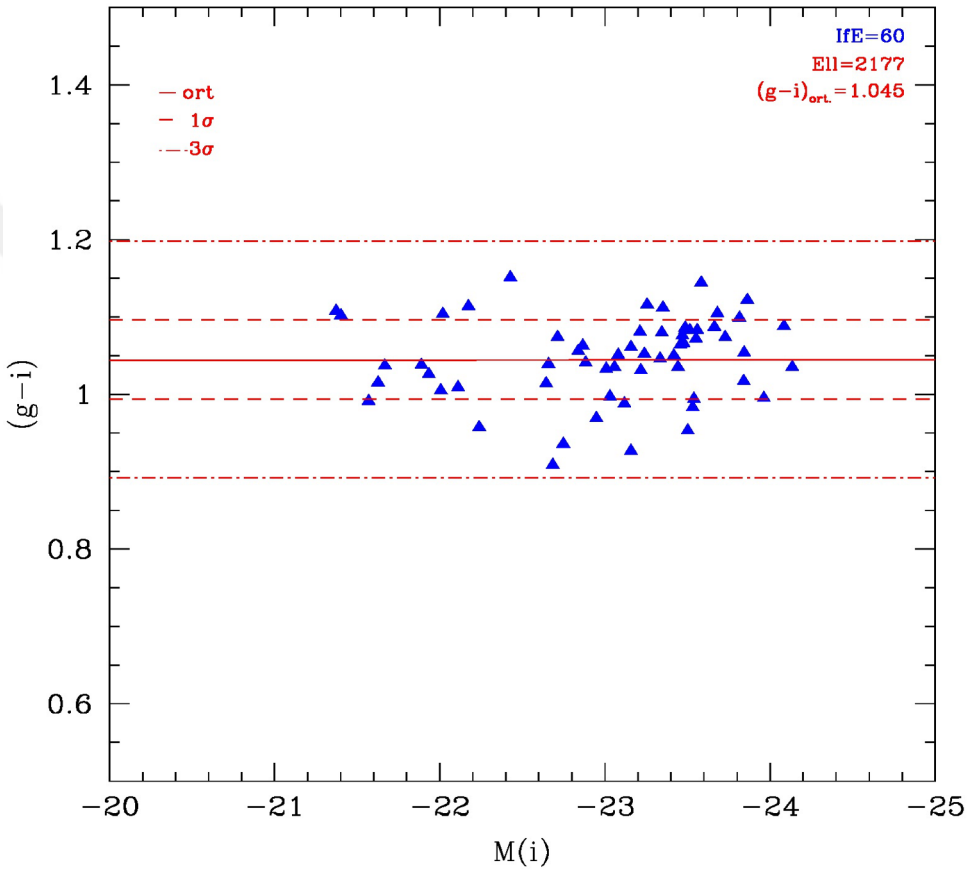
Şekil 4.2: M(r) ≤ -21 kadir ile sınırlandırılan üç farklı eliptik galaksi grubuna ait görünen parlaklık (r) ve mutlak parlaklık M(r) dağılımı.

4.2 RENK PARLAKLIK DİYAGRAMI

Galaksilerin renk-parlaklık diyagramları incelendiğinde belirgin bir şekilde iki kutuplu bir dağılım görülür. Eliptik ve S0 galaksileri kırmızı bir kol üzerinde sıralanırken, spiral galaksiler mavi bulut olarak adlandırılan geniş bir alana dağılmıştır. Bu sebeple renk-parlaklık diyagramı galaksilerin sınıflandırılmasına yardımcı olan bir diyagram olarak kullanılmaktadır.

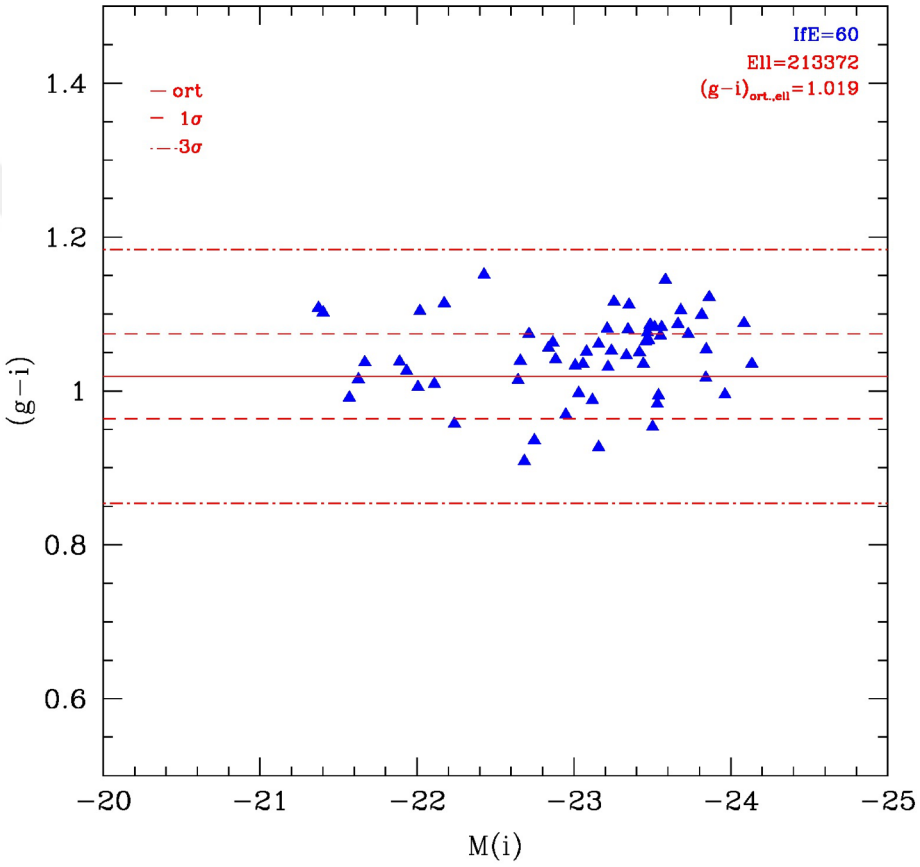
Bu tez çalışması kapsamında belirlenen 60 IfE'nin hem normal eliptik galaksilerden hem de küme eliptiklerinden ne kadar farklı olduklarını incelemek için ilk olarak renk-parlaklık ($(g-i)$-M_i) diyagramları oluşturulmuştur.

Şekil 4.3'de verilen renk-parlaklık diyagramında IfE'ler küme eliptikleriyle karşılaştırılmaktadır. Diyagram üzerinde mavi üçgenler 60 IfE'yi temsil ederken, düz kırmızı çizgi 2177 küme üyesi eliptik galaksinin (g-i) rengine ait ortalama değeri temsil etmektedir ($(g-i)_{ort.}=1.045$). Küme üyesi eliptik galaksilere ait g-i rengine sırasıyla $\pm 1\sigma$ ve $\pm 3\sigma$ uygulanmıştır. $\pm 1\sigma$ içerisinde IfE'lerin %65'i, $\pm 3\sigma$ da ise IfE'lerin hepsinin limit sınırları içerisinde yer aldığı görülmüştür.



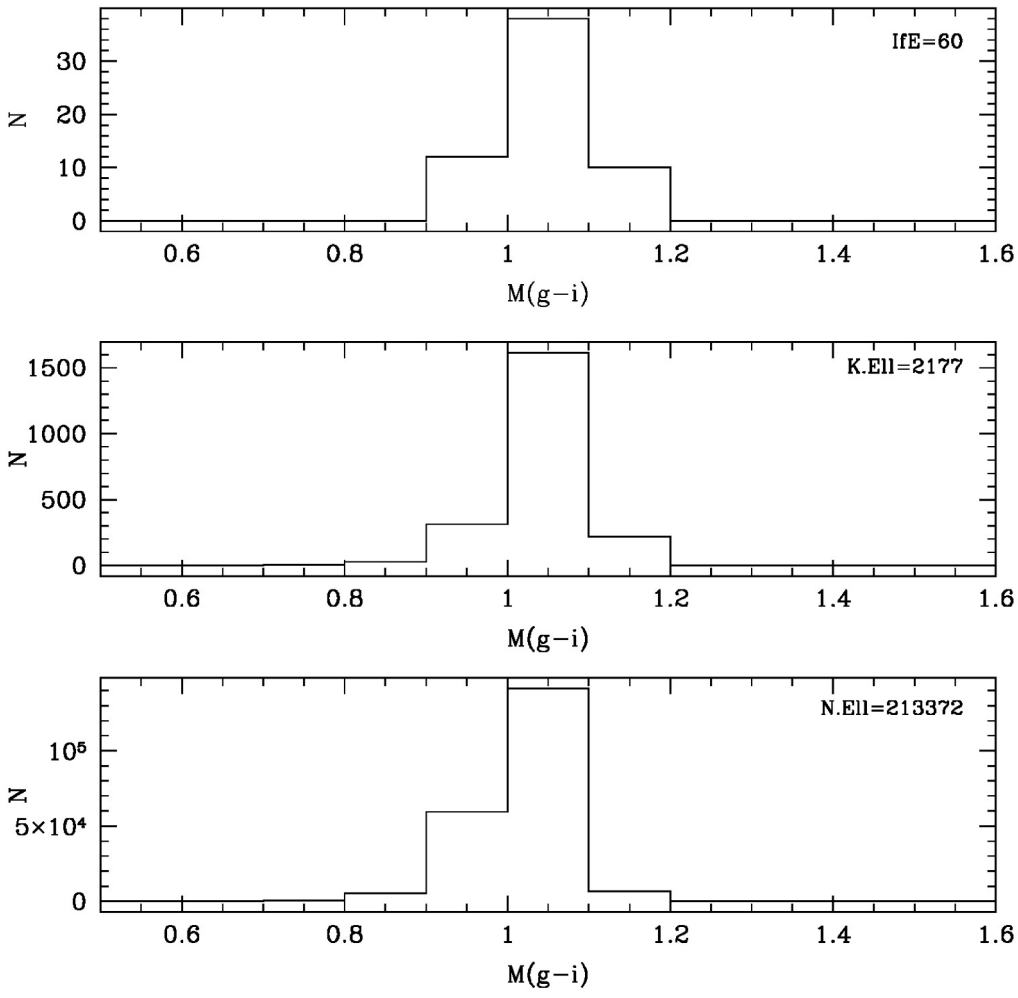
Şekil 4.3: IfE'lerin ve küme eliptiklerin renk parlaklık diyagramı. Mavi üçgen IfE'leri, düz kırmızı çizgi ise küme eliptiklerine ait (g-i) renginin ortalama değerini temsil etmektedir. Kesikli çizgiler küme eliptiklerinin (g-i) renginin $\pm 1\sigma$ karşılığı noktalı kesikli çizgi ise $\pm 3\sigma$ karşılığıdır.

Şekil 4.4'de IfE'lerin normal eliptiklerle karşılaştırılması verilmiştir. Bu dağılımın küme üyesi eliptiklerle benzer olduğu, ancak $\pm 1\sigma$ uygulandığında ise IfE'lerin yalnızca %55'ini içerdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.4: IfE'lerin ve küme eliptiklerin renk parlaklık diyagramı. Mavi üçgen IfE'leri, düz kırmızı çizgi ise normal eliptiklere ait (g-i) renginin ortalama değerini temsil etmektedir. Kesikli çizgiler normal eliptiklerin (g-i) renginin $\pm 1\sigma$ karşılığı, noktalı kesikli çizgi ise $\pm 3\sigma$ karşılığıdır.

Oluşturulan diyagramlar ve hesaplanan istatiksel sonuçlar doğrultusunda da eliptik galaksilerin, bulundukları çevreden bağımsız olarak benzer bir renk dağılımı gösterdikleri görülmektedir (Şekil 4.5). Bu sonuçlar doğrultusunda eliptik galaksi evriminde çevre koşullarının, galaksinin rengi üzerinde pek bir etkisi olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.5: Üç farklı eliptik grubunun mutlak parlaklık M(g-i) renk dağılımı.

Üç eliptik galaksi grubuna ait g-i renginin istatistiksel sonuçları Tablo 4.3'de görülmektedir. Sonuçlar, $\pm 1\sigma$ ve $\pm 3\sigma$ içerisinde kalan galaksiler için verilmiştir. Yukarıdaki kısımda da belirtildiği üzere g-i rengi için üç farklı eliptik galaksi grubu da benzer dağılımları vermektedir.

Tablo 4.3: Üç farklı eliptik galaksi grubu için (g-i) renk dağılımının istatistiksel sonuçları. N.Eliptik normal eliptiklere, K.Eliptik ise küme eliptik galaksilere karşılık gelmektedir. İlk üç kolon g-i rengine $\pm 1\sigma$ uyguladıktan sonra geriye kalan galaksilerin ortalama ve standart sapma değerlerini gösterirken, son 3 kolon ise $\pm 3\sigma$ uyguladıktan sonra geriye kalan galaksilere ait değerleri temsil etmektedir.

g-i	N (1σ)	Ortalama	std. sapma	N (3σ)	Ortalama	std. sapma
IfE	60	1.047	0.053	60	1.047	0.053
N. Eliptik	213372	1.019	0.055	213183	1.019	0.054
K. Eliptik	2177	1.045	0.051	2174	1.044	0.050

Bu çalışma kapsamında renk bilgisi (g-i) için K-S testi uygulanmıştır (Tablo 4.4). İlk olarak IfE'lerle küme eliptik galaksilerin g-i rengi için aynı ana kitle dağılımından mı yoksa değişik anakitle dağılımından mı geldikleri incelenmiştir. K-S testine göre p-değeri 0.59479 (%59) olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuç %10'dan daha büyük olduğu için IfE'lerin ve küme eliptik galaksilerin g-i rengi için aynı ana kitle dağılımından geldiği söylenebilir. İkinci olarak ise IfE'lerle normal eliptik galaksilerin g-i rengi dağılımları karşılaştırılmıştır. K-S testi sonucuna göre p-değeri 0.00075 olarak belirlenmiştir. Elde edilen değer %1'den az olduğu için sıfır hipotezi reddedilebilinir. Bu durumda IfE'lerin ve normal eliptik galaksilerin g-i rengi için aynı ana kitle dağılımından gelmediğini söylenebilir.

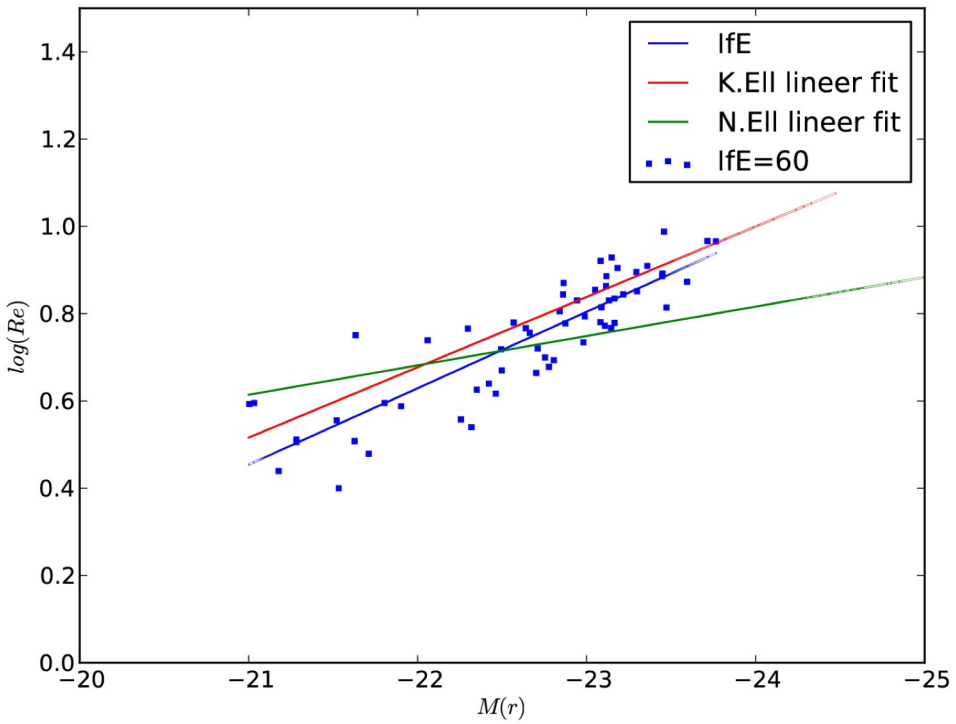
Tablo 4.4: IfE'lerin g-i dağılımını hem küme eliptikleriyle hem de normal eliptik galaksilerle karşılaştıran K-S testinin sonuçları.

g-i	p-değeri	%
IfE- Normal Eliptik	0.00075	< %1
IfE- Küme Eliptik	0.59479	%59

4.3 MUTLAK PARLAKLIK – ETKİN YARIÇAP İLİŞKİSİ

CFHTLS gökyüzü taramasında galaksilere ait etkin yarıçap bilgisi piksel ölçeği cinsinden verilmektedir. Tez çalışması kapsamında galaksilere ait piksel ölçeğindeki etkin yarıçap ilk olarak açısal bir büyüklüğe sonra da fiziksel büyüklüğe dönüştürülmüştür. Sonuç olarak IfE'lerin kiloparsek (kpc) cinsinden ektin yarıçapları belirlenmiştir. Eliptik galaksilerde mutlak parlaklık ile etkin yarıçap arasında bir ilişki mevcuttur. Artan etkin yarıçapla birlikte, eliptik galaksilerde mutlak parlaklık değeri de artmaktadır.

Yapılan inceleme sonucunda IfE'lerde de benzer bir ilişki görülmüştür. Şekil 4.6'da verilen mutlak parlaklık–etkin yarıçap (M(r) – log(Re)) diyagramı üzerinde mavi noktalar IfE'leri temsil ederken, kırmızı ve yeşil çizgiler sırasıyla küme ve normal eliptik galaksilere ait eğimi göstermektedir. Diyagram üzerinde IfE'lerin diğer iki eliptik galaksi grubuna göre biraz daha dik bir eğim göstermesi etkin yarıçapa daha duyarlı olduklarını belirtmektedir. Denklem 4.1, 4.2 ve 4.3 sırasıyla IfE'ler, küme ve normal eliptik galaksilere ait lineer fit denklemlerine karşılık gelmektedir.



Şekil 4.6: Mutlak parlaklık–etkin yarıçap diyagramı üzerinde mavi noktalar IfE'leri temsil etmektedir. Mavi, kırmızı ve yeşil çizgiler sırasıyla IfE, küme ve normal eliptik galaksilere ait eğimi göstermektedir. Diğer galaksiler sayı bakımından IfE'lere göre çok oldukları için nokta olarak gösterilmemiştir.

M(r) – log(Re) diyagramında görülen üç eliptik galaksi grubuna ait lineer çizgilerin denklemleri aşağıda verilmiştir.

IfE'ler için:

$$\log Re = (-0.1752 \pm 0.0130) * M(r) + (-3.2251 \pm 0.2950)) \quad (4.1)$$

Küme eliptik galaksiler için:

$$\log Re = (-0.1612 \pm 0.0024) * M(r) + (-2.8695 \pm 0.0538) \quad (4.2)$$

Normal eliptik galaksiler için:

$$\log Re = (-0.0673 \pm 0.0003) * M(r) + (-0.7995 \pm 0.0077) \quad (4.3)$$

Her üç eliptik galaksi grubuna ait etkin yarıçap bilgisinin istatistiksel sonuçları Tablo 4.5'de verilmiştir. Üç farklı eliptik galaksi grubu içerisinde, IfE'lerin hem normal eliptiklerden hem de küme üyesi eliptiklerden daha büyük oldukları görülmüştür.

Tablo 4.5: Üç farklı eliptik galaksi grubu için etkin yarıçap dağılımının istatistiksel sonuçları. İlk üç kolon $\pm 1\sigma$ uyguladıktan sonra geriye kalan galaksilerin ortalama ve standart sapma değerlerini gösterirken, son 3 kolon ise $\pm 3\sigma$ uyguladıktan sonra geriye kalan galaksilere ait değerleri temsil etmektedir.

Re (kpc)	N (1σ)	Ortalama	Std. Sapma	N (3σ)	Ortalama	Std. Sapma
IfE	60	5.832 kpc	1.783	60	5.832 kpc	1.783
Normal Eliptik	213372	4.976 kpc	1.484	210914	4.901 kpc	1.256
Küme Eliptik	2177	5.523 kpc	2.239	2149	5.397 kpc	1.916

IfE'lere ait etkin yarıçap bilgisi K-S testi uygulanarak diğer iki eliptik galaksi grubu ile de karşılaştırılmıştır (Tablo 4.6). K-S testi sonucunda elde edilen verilere göre p-değerlerinin her ikisi de %1'den çok küçük olduğu için sıfır hipotezi reddedilebilir. Bu durumda etkin yarıçap dağılımına göre IfE'ler, ne küme eliptikleriyle ne de normal eliptiklerle aynı ana kitleden gelmemektedir.

Tablo 4.6: IfE'lerin sahip olduğu etkin yarıçap dağılımını hem küme eliptikleriyle hem de normal eliptik galaksilerle karşılaştıran K-S testinin sonuçları.

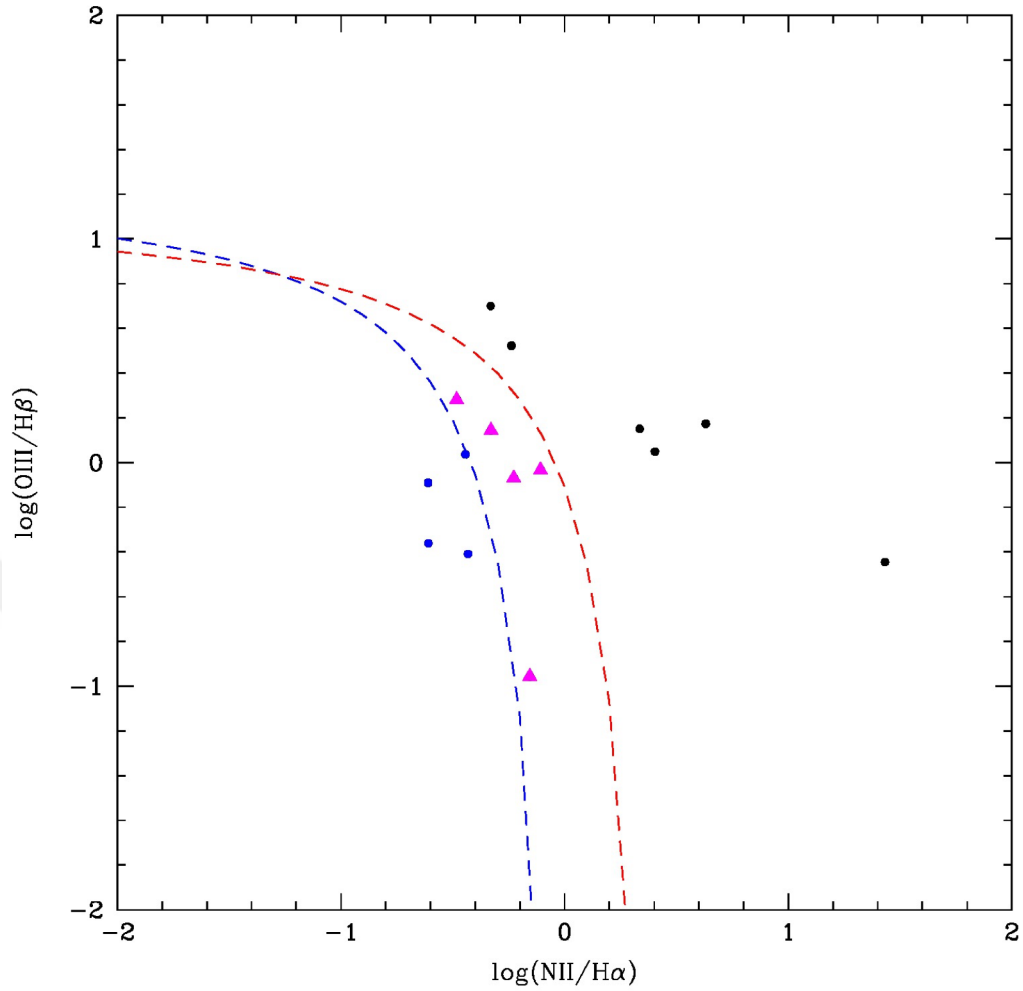
Re	p-değeri	%
IfE- Normal Eliptik	1.4772e-06	< %1
IfE- Küme Eliptik	0.0076	< %1

4.4 YILDIZ OLUŞUMU GÖSTEREN IFE'LER

IfE'lerin, yıldız aktivitesi geçirip geçirmediğini belirleyebilmek için Baldwin-Phillips-Terlevich (1981) tarafından geliştirilen BPT diyagramı kullanılmıştır. Bu incelemede IfE'lere ait [OIII]/Hβ ve [NII]/Hα çizgi oranlarından yararlanılmıştır. Bu diyagram için kullanılan bilgiler, SDSS verisi içerinden bulunan "emissionLinesPort" ve "galSpecLine" tablolarından alınmıştır. SDSS verisindeki yetersizliklerden dolayı sadece 24 galaksiye ait verilere ulaşılabilmiştir. Bunun sebebi SDSS içerisindeki galaksilerin tayfsal ölçümleri yapılmış olsa da bazı galaksilere ait çizgi akı değerleri tam olarak belirlenememiştir. SDSS içerisinde emisyon çizgi değerleri bulunan IfE'lerin, 19 tanesi emissioLinesPort'dan, 5 tanesi ise galSpecLine tablosundan alınmıştır. Fakat bunlar içerisinde toplam 15 tane IfE'ye ait değerler BPT diyagramında kullanılmıştır. Bazı IfE'lere ait çizgi oranları negatif olarak belirlendiği için logaritmaları hesaplanamamıştır. Şekil 4.7'de verilen BPT diyagramında 15 IfE'ye ait çizgi akı oranları görülmektedir. Bölüm 3.6'da verilen 3.3 ve 3.4 denklemleri uygulandığında 4 tane yıldız oluşumu aktivitesi gösteren galaksi ve 5 tane de geçiş sınıfı galaksisi belirlenmiştir. Geriye kalan 6 galaksi ise AGN adayı olarak sınıflandırılmıştır. Tablo 4.7'de hem yıldız oluşumu aktivitesi gösteren hem de geçiş sınıfı galaksilerine ait fiziksel parametreler görülmektedir.

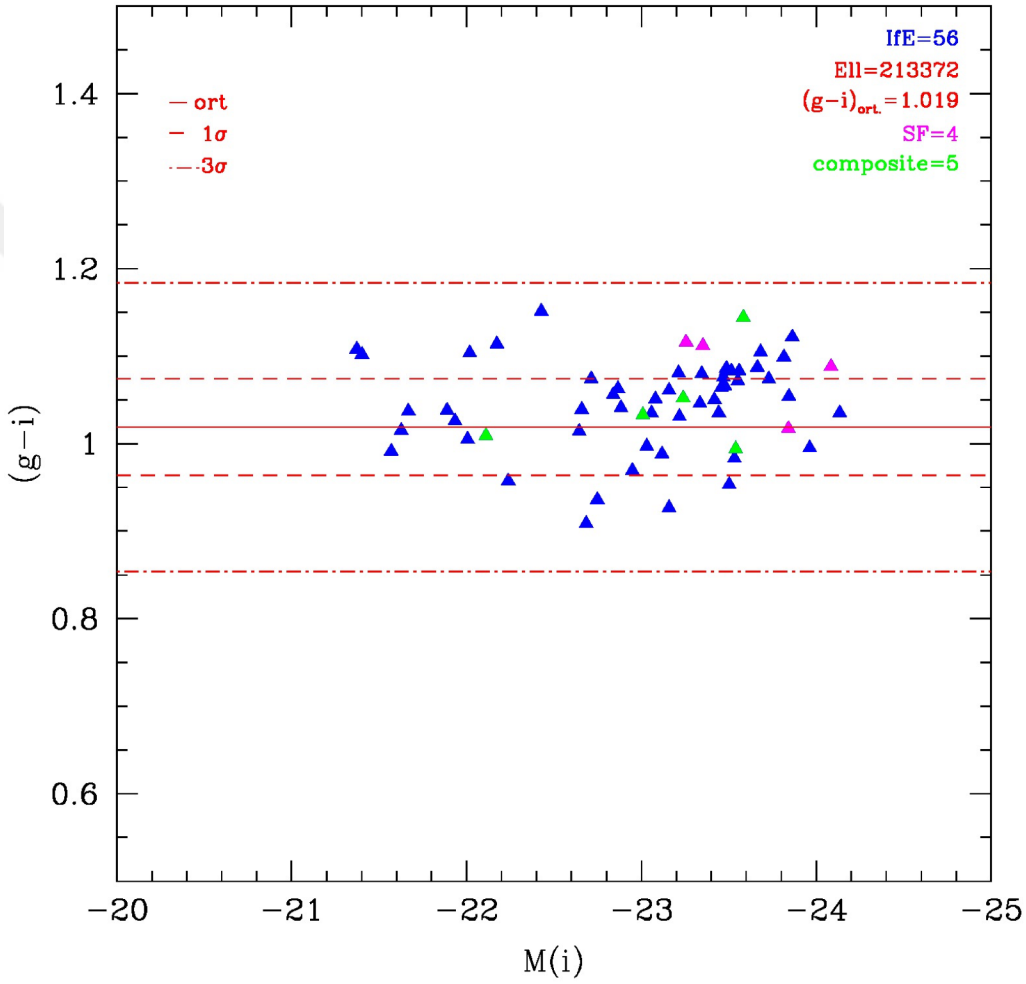
Tablo 4.7: Hem yıldız oluşumu aktivitesi geçiren galaksilere hem de geçiş sınıfı galaksilerine ait konum ve çizgi oranları. Tür kısmında SF olarak belirtilen galaksiler yıldız oluşumu aktivitesi geçiren galaksileri temsil etmektedir. "Composite" olarak sınıflandırılan ise geçiş sınıfı galaksileridir.

RA (°)	Dec (°)	zphot	log(OIII/Hb)	log(NII/Ha)	Tür
33.274901	-6.150333	0.1394	0.036415	-0.444089	SF
31.091247	-5.140380	0.3320	-0.090715	-0.610611	SF
30.740861	-4.602958	0.5073	-0.361084	-0.609417	SF
38.396555	-4.095149	0.3011	-0.408968	-0.432675	SF
35.223772	-3.927119	0.2230	-0.069160	-0.227095	Composite
30.991531	-4.391332	0.2531	0.143646	-0.329781	Composite
36.626327	-7.955128	0.4180	0.282512	-0.482823	Composite
30.311420	-5.225581	0.1320	-0.957520	-0.155649	Composite
35.655575	-7.915093	0.1390	-0.033045	-0.107654	Composite



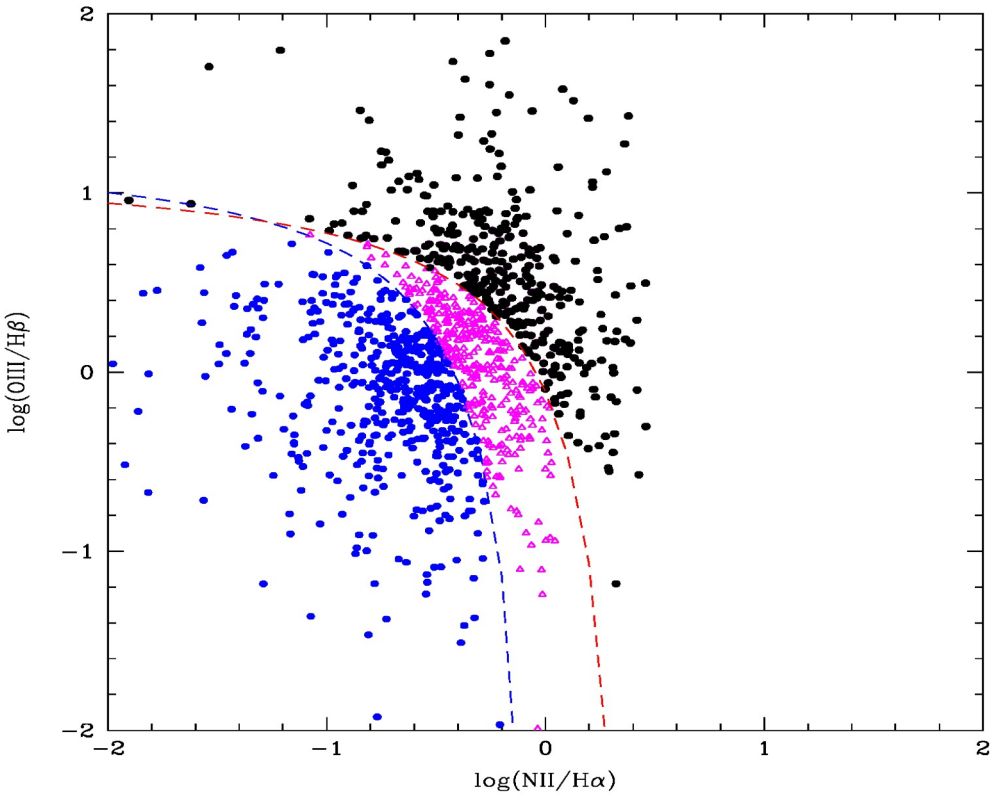
Şekil 4.7: 15 IfE'ye ait BPT diyagramı. Mavi noktalar yıldız oluşumunu gösteren galaksiler, magenta renkteki üçgenler geçiş sınıfı galaksiler, siyah noktalar ise AGN olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca mavi ve kırmızı kesikli çizgiler sırasıyla Ka03 (Kauffmann, 2003) ve Ke01 (Kewley, 2001) teorik çizgileridir.

BPT diyagramına göre hem yıldız oluşumu aktivitesi geçiren hem de geçiş sınıfı galaksileri olarak tanımlanan IfE'lerin diğer IfE'lere göre ne ölçüde farklı olduklarını görmek için renk-parlaklık diyagramı oluşturulmuştur. Şekil 4.8'de görüldüğü belirlenen bütün IfE'ler benzer bir dağılım göstermektedir.



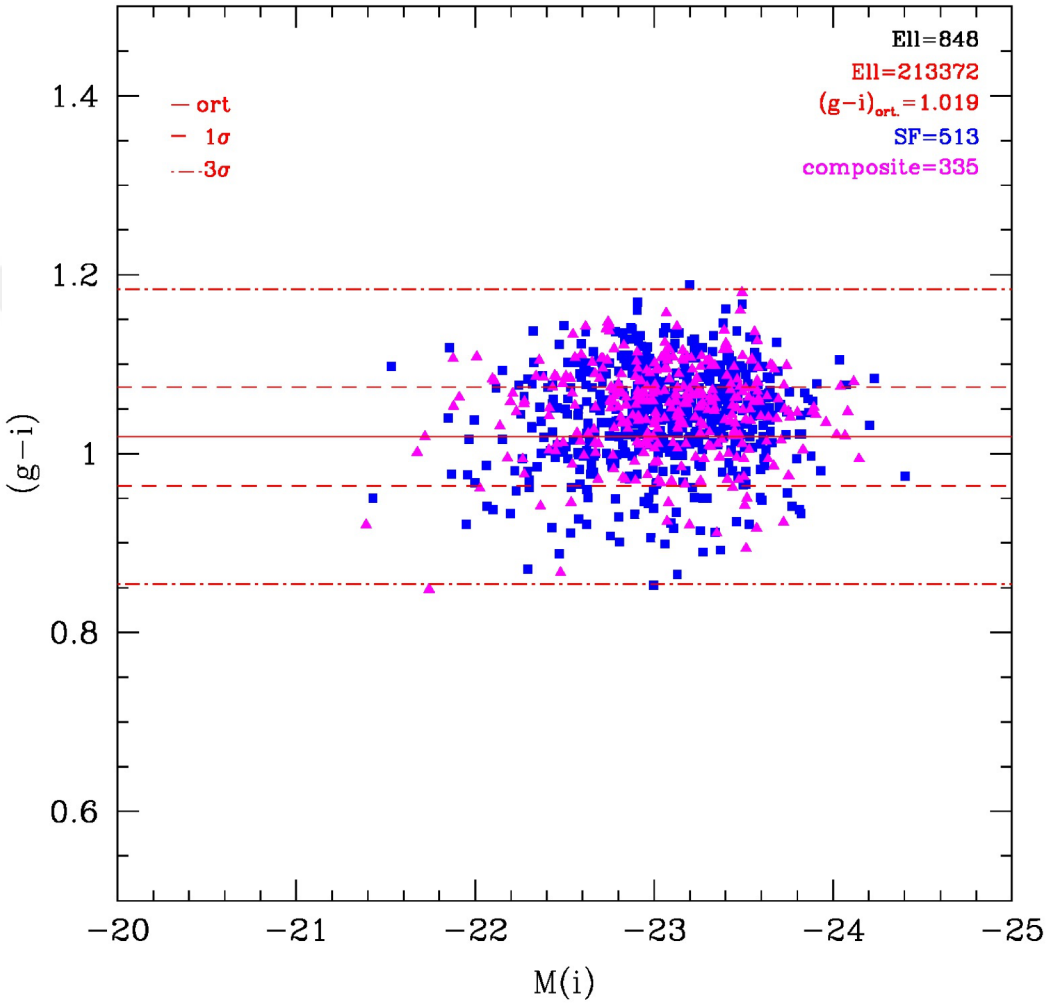
Şekil 4.8: IfE'lere ait renk-parlaklık diyagramı. Mavi üçgenler 56 IfE'yi, magenta rengine sahip olan üçgenler yıldız oluşumu gösteren IfE'leri, yeşil olan üçgenler ise geçiş sınıfı galaksilerini temsil etmektedirler. Düz kırmızı çizgi ise normal eliptik galaksilere ait (g-i) renginin ortalama değerini temsil etmektedir. Kesikli çizgiler normal eliptik galaksilerin (g-i) renginin $\pm 1\sigma$ karşılığı noktalı kesikli çizgi ise $\pm 3\sigma$ karşılığıdır.

Benzer işlemler normal eliptik galaksiler için de yapılmıştır. Küme eliptiklerine ait BPT diyagramının oluşturulamamasının sebebi verinin olmamasıdır. 213353 normal eliptik galaksiden sadece 1244 tanesine ait emisyon çizgi değerleri bulunmuştur. Bölüm 3.6'da verilen 3.3 ve 3.4 denklemleri uygulandığında yıldız oluşumu aktivitesi gösteren galaksi sayısı 514 iken, geçiş sınıfı galaksisi sayısı 336 olarak belirlenmiştir. Şekil 4.9'da verilen BPT diyagramında 1244 normal eliptik galaksiye ait çizgi akı oranları görülmektedir



Şekil 4.9: 1244 normal eliptik galaksiye ait BPT diyagramı. Mavi noktalar yıldız oluşumunu gösteren galaksiler, magenta renkteki üçgenler geçiş sınıfı galaksiler, siyah noktalar ise AGN olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca mavi ve kırmızı kesikli çizgiler sırasıyla Ka03 (Kauffmann, 2003) ve Ke01 (Kewley, 2001) teorik çizgileridir.

Şekilde 4.10'da hem yıldızı oluşumu aktivitesi geçiren hem de geçiş sınıfı galaksisi olarak tanımlanan normal eliptik galaksilerin dağılımları benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.10: 848 normal eliptik galaksiye ait renk-parlaklık diyagramı. Mavi kareler yıldız oluşumu aktivitesi gösteren normal eliptikleri, magenta rengine sahip olan üçgenler ise geçiş sınıfı galaksilerini temsil etmektedir. Düz kırmızı çizgi ise normal eliptik galaksilere ait (g-i) renginin ortalama değerini temsil etmektedir. Kesikli çizgiler normal eliptik galaksilerin (g-i) renginin $\pm 1\sigma$ karşılığı noktalı kesikli çizgi ise $\pm 3\sigma$ karşılığıdır.

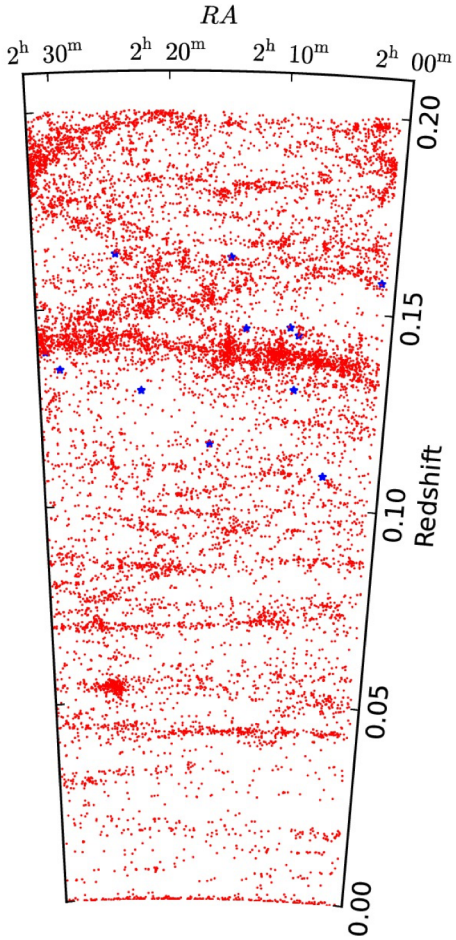
BPT diyagramı kapsamında sınıflandırılan 15 IfE'ye ait fiziksel parametreler bütün IfE'lerle karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda IfE'ler üç örneklem altında toplanmıştır. İlk örneklem bütün IfE'leri, ikinci örneklem sadece yıldız aktivitesi gösteren IfE'leri, üçüncü örneklem ise hem yıldız aktivitesi hem de geçiş sınıfı galaksilerini içermektedir. Üç örnekleme ait zphot, Re(kpc) ve g-i değerleri incelenmiştir. Tablo 4.6'da bu üç örnekleme ait değerler mevcuttur. Tablo 4.6'dan görüleceği gibi, yıldız oluşumu aktivitesi geçiren IfE'lerin diğer IfE örneklemine göre daha büyük etkin yarıçapa sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca zphot dağılımları incelendiğinde bu IfE'lerin daha geç dönemlerde oluştuğu görülmektedir. IfE'lere uygulanan incelemenin benzeri normal eliptik galaksiler için de yapılmıştır. Eliptik galaksi örneklemimiz de iki alt gruba ayrılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, IfE'lerde görülen durum normal eliptik galaksilerde belirlenememiştir. Tablo 4.8'de görülen normal eliptik galaksilerin hepsinde benzer dağılım görülmektedir.

Tablo 4.8: Hem IfE'lere hem de normal eliptik galaksilere ait kırmızıya kayma, etkin yarıçap ve (g-i) renk bilgisi. İlk üç satır IfE'lere ait bilgileri içerirken, son üç satır normal eliptik galaksilere aittir. Bu iki eliptik galaksi grubu BPT diyagramı kullanılarak alt gruplara ayrılmıştır.

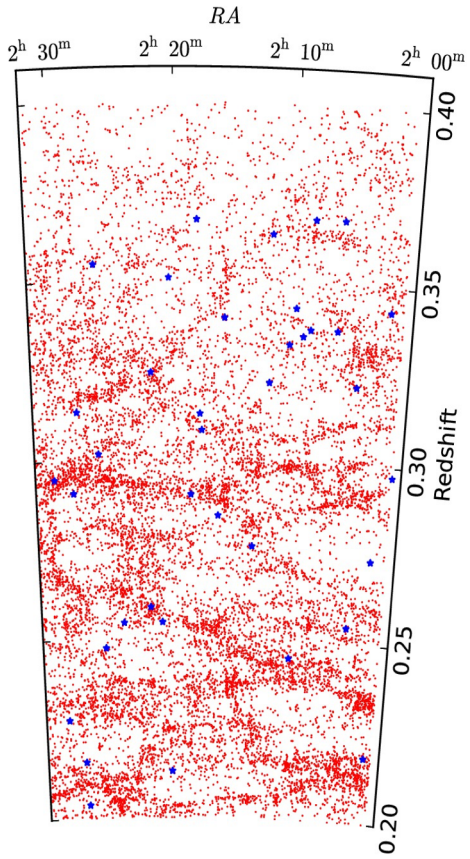
	zphot	Re	g-i
IfE	0.285	5.702	1.044
SF IfE	0.332	6.898	1.083
Ell	0.357	6.235	1.046
SF Ell	0.368	6.278	1.042

4.5 IFE'LERİN UZAYSAL DAĞILIMLARI

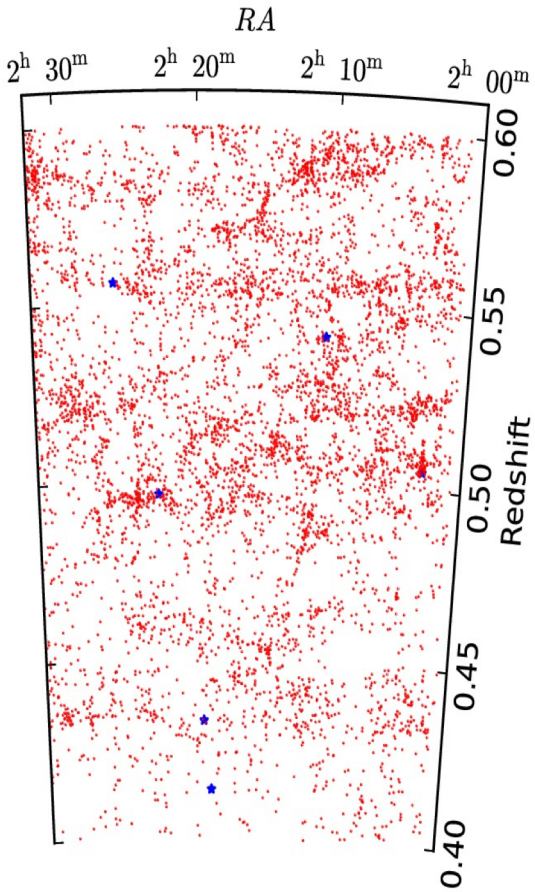
IfE'lerin uzaysal dağılımlarını görebilmek için Koni diyagramları oluşturulmuştur. Koni diyagramları, evrenin geniş ölçekli yapısını inceleyen çalışmalarda galaksilerin evrendeki dağılımlarını belirleyebilmek kullanılan diyagramlardır. Bu dağılımlar zphot ile elde edilemez (hatalarından dolayı). Bu nedenle çeşitli tayfsal tarama projeleri ile galaksilerin kırmızıya kaymaları belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında IfE'lerin uzaysal dağılımlarını incelemek için hem GAMA hem de VIPERS tayfsal verileri kullanılmıştır. Kırmızıya kayma değeri $0 \leq z \leq 0.4$ arasında olan IfE'ler için GAMA gökyüzü taraması kullanılırken, $0.4 \leq z \leq 0.6$ arasında bulunan IfE'ler için VIPERS kullanılmıştır. Oluşturulan koni diyagramlarında IfE'ler için fotometrik kırmızıya kayma kullanılmaktadır. Fakat etraflarında bulunan galaksiler için tayfsal kırmızıya kayma verisi kullanılmıştır. Bunun sebebi fotometrik kırmızıya kayma uzayında izole olarak belirlenen IfE'lerin tayfsal kırmızıya kayma uzayından da izole olup olmadıklarının testini yapmaktır. Bu diyagramlar incelendiğinde IfE'lerin büyük bir oranda izole ortamlar içerisinde bulundukları ve filament gibi yoğun yapılar üzerinde olmadıkları görülmektedir. IfE'lerin uzay dağılımları oluşturulurken RA ve kırmızıya kayma kullanılmaktadır. IfE'lerin uzaysal dağılımları, Şekil 4.11, 4.12 ve 4.13'de zbin = 0.2'lik kırmızıya kayma aralıklarına ayrılmış biçimde verilmiştir.



Şekil 4.11: Kırmızıya kayma değeri $0 \leq z \leq 0.2$ olan galaksilere ait koni diyagramı. GAMA verisi kullanılarak oluşturulmuştur. Mavi noktalar fotometrik kırmızıya kayma kullanılarak belirlenen IfE'leri temsil ederken, kırmızı noktalar ise GAMA taysal kırmızıya kayma verisine sahip olan galaksileri temsil etmektedir.



Şekil 4.12: Kırmızıya kayma değeri $0.2 < z \leq 0.4$ olan galaksilere ait koni diyagramı. GAMA verisi kullanılarak oluşturulmuştur. Mavi noktalar fotometrik kırmızıya kayma kullanılarak belirlenen IfE'leri temsil ederken, kırmızı noktalar ise GAMA taysal kırmızıya kayma verisine sahip olan galaksileri temsil etmektedir.



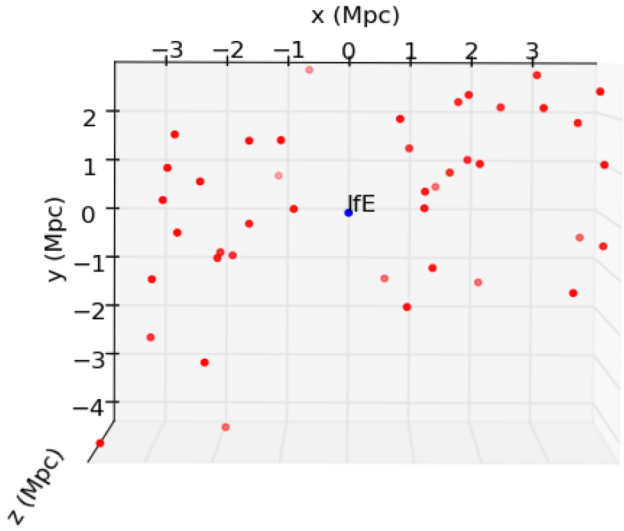
Şekil 4.13: Kırmızıya kayma değeri $0.4 < z \leq 0.6$ olan galaksilere ait koni diyagramı. VIPERS verisi kullanılarak oluşturulmuştur. Mavi noktalar fotometrik kırmızıya kayma kullanılarak belirlenen IfE'leri temsil ederken, kırmızı noktalar ise VIPERS taysal kırmızıya kayma verisine sahip olan galaksileri temsil etmektedir.

Koni diyagramları incelendiğinde bazı IfE'lerin yoğun bir ortam içerisinde bulundukları gözükse de gerçek durum böyle değildir. Oluşturulan koni diyagramlarında galaksilerin konumlarının tek bir düzlem üzerindeki görüntüsü verilmektedir. IfE'lerin izole bir ortamda bulunlarını göstermek için filamet bir yapının üzerinde görünen bir IfE

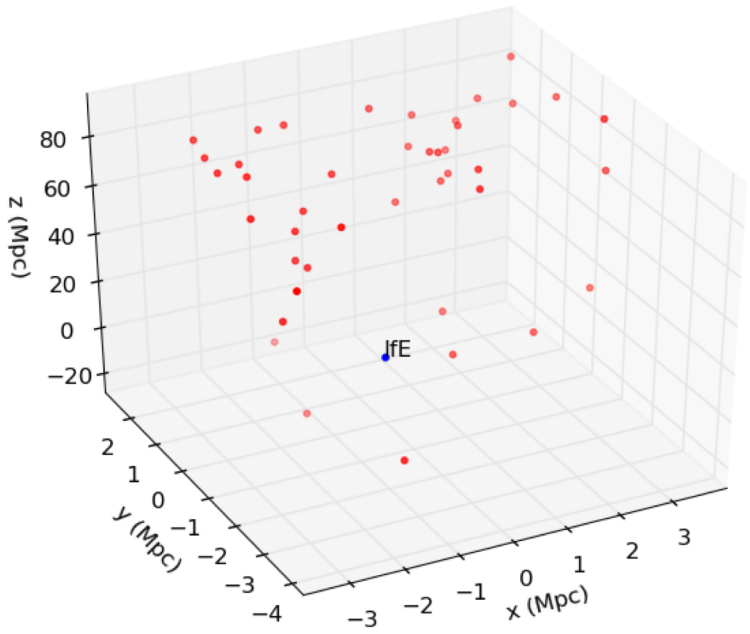
adayımızı test etmek için kullandık. Belirlenen IfE adayının kırmızıya kayma değeri 0.2589, sağaçıklık ve dikaçıklık değerleri sırayla 35.4885979 (deg), -8.7773542 (deg) dir. Koni diyagramı için kullanılan GAMA verisi içerisinde kırmızıya kayma değeri $0.23 \leq z \leq 0.27$ ve sağaçıklığı $34° \leq RA \leq 36°$ değerleri arasında bulunan galaksiler belirlenmiştir. Uygulanan bu limit değerlerinden sonra IfE'nin etrafında toplam 957 galaksi belirlenmiştir. Bu galaksilerin IfE'den olan uzaklıklarının ne kadar olduğunu ve IfE olarak belirlenen galaksinin ne ölçüde izole olduğunu görmek, için bu galaksilerin 3 boyutlu uzayda dağılımları incelenmiştir. Bunun için ilk olarak sağaçıklık ve dikaçıklık bilgisi kullanılan galaksilerin, kartezyen koordinatlardaki konumlarına geçilmiştir. Bu işlem için ilk olarak hem belirlenen IfE'nin hem de etrafındaki her bir galaksinin kırmızıya kayma bilgileri kullanılarak, uzaklık bilgileri elde edilmiştir (birbirine olan uzaklık değil). Belirlenen uzaklıklar, Denklem 4.4'de verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem içerisinde kullanılan z kırmızıya kayma, h ise normalize edilmiş Hubble parametresidir. Denklem içerisinde h sabit bir değer olup 0.72 olarak alınmıştır

$$D = 3000*z / h \tag{4.4}$$

Uzaklık bilgisi elde edilen galaksilerin kartezyen koordinatları da kullanılarak o uzaklıktaki konumları belirlenmiştir. 3 boyutlu koordinatlarda uzaklık birimi Mpc cinsinden alınmıştır. Şekil 4.14 ve 4.15'de de görüldüğü üzere IfE'nin etrafında bulunan galaksiler izole olma şartını bozmamaktadır. Mavi nokta IfE'yi, kırmızı noktalar IfE'nin etrafında bulunan galaksileri temsil etmektedir.



Şekil 4.14: Koni diyagramı üzerinde belirlenen bir IfE'nin ve etrafındaki galaksilerin 3 boyutlu uzayda nasıl dağıldıkları görülmektedir. Mavi nokta IfE'yi temsil ederken kırmızı noktalar GAMA verisinden alınmış IfE'nin etrafındaki galaksilerdir. Her bir koordinatın birimi Mpc cinsindendir.

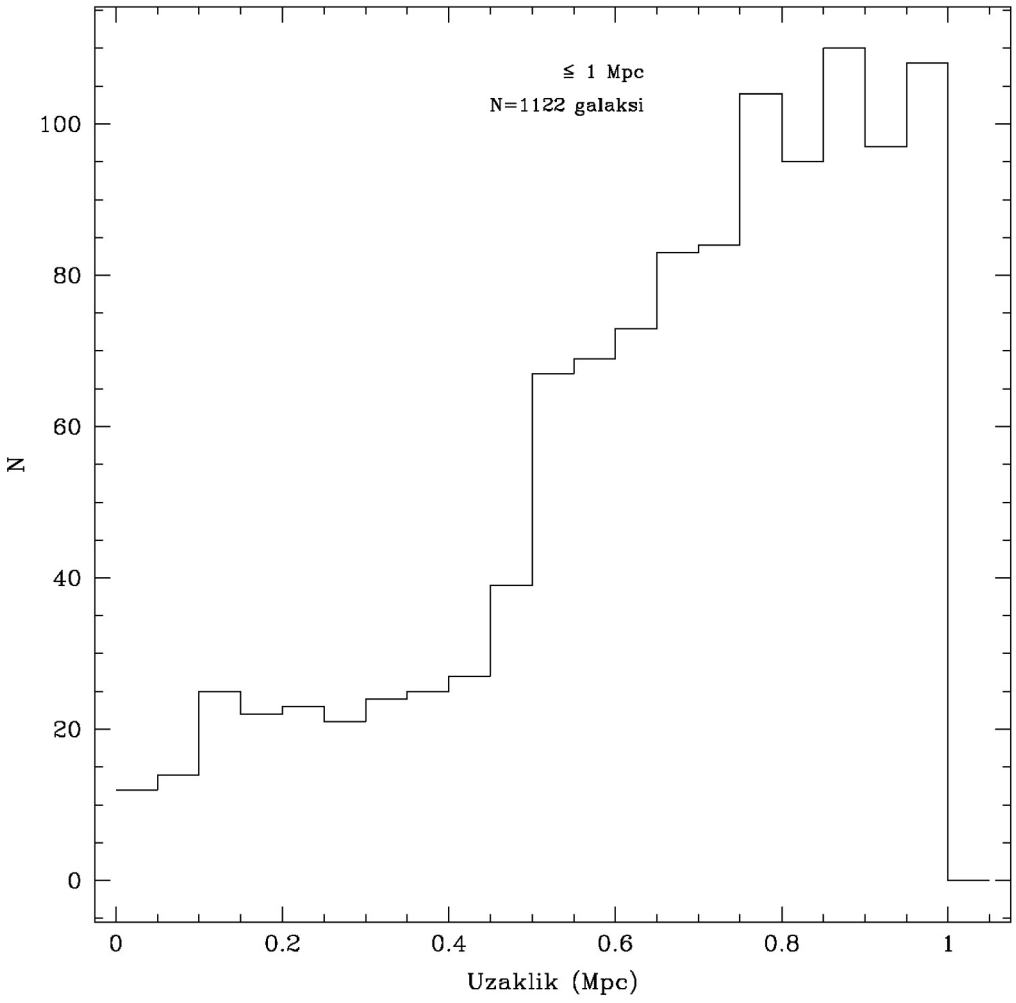


Şekil 4.15: Mavi nokta IfE'yi temsil ederken kırmızı noktalar ise GAMA verisinden alınmış IfE'nin etrafındaki galaksilerdir. Her bir koordinatın birimi Mpc cinsindendir.

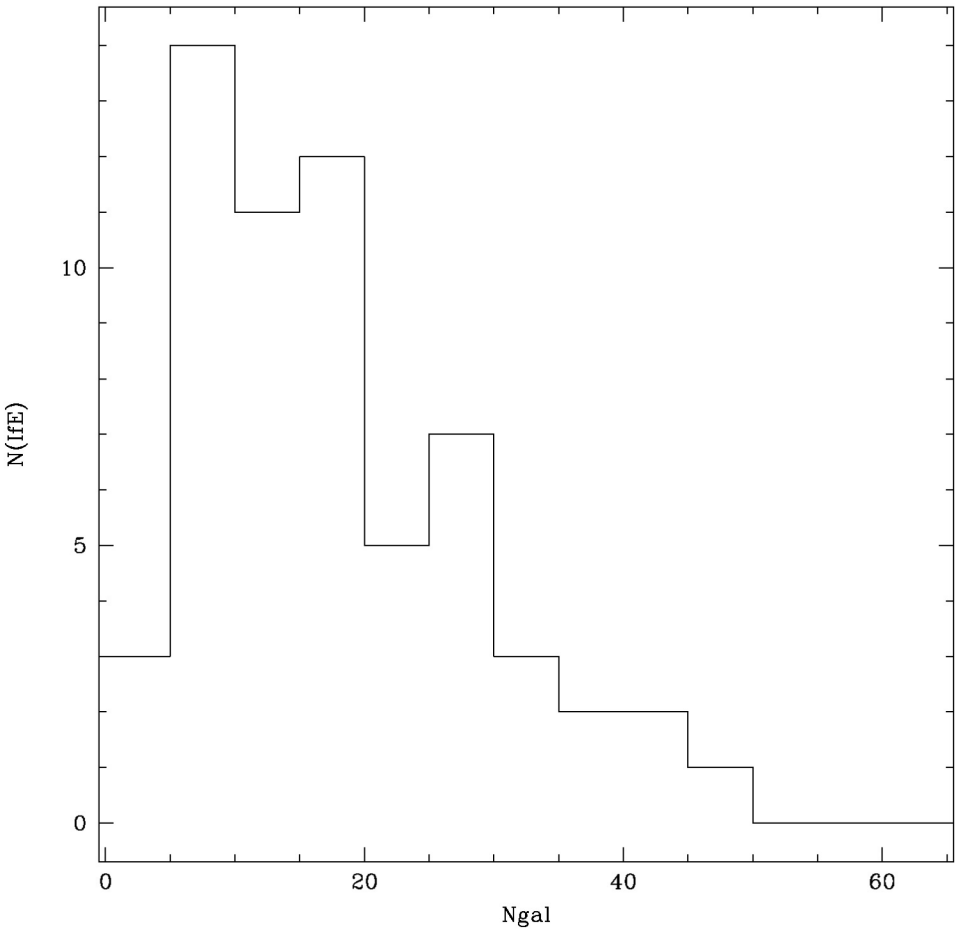
4.6 IFE'LERİN ETRAFINDA BULUNAN BİLEŞEN GALAKSİLER

Tez çalışması kapsamında 60 IfE'nin etrafında bulunan bileşen galaksiler belirlenmiştir. Bunun için her bir IfE'nin etrafında 1 Mpc'lik yarıçaplar oluşturulmuştur. Bu işlem için genel algoritma içerisinde bahsedilen uzaklık hesabı yöntemi kullanılmıştır. Uzaklıklar hesaplanırken genel kabul gördüğü üzere galaksilerin gökyüzü düzlemi üzerindeki izdüşümleri dikkate alınmıştır. IfE adayı çevresinde bulunan ve aynı kırmızıya kayma aralığındaki her bir galaksi ile IfE adayı arasındaki açısal ayrıklıklar hesaplanmıştır. Hesaplanan açısal ayrıklıklar, aday eliptik galaksinin kırmızıya kayması kullanılarak Mpc cinsinden lineer uzaklıklara dönüştürülmüştür. Bu sayede Merkezde IfE bulunucak şekilde 1 Mpc içerisinde bileşen galaksilerin IfE'ye göre uzaklıkları belirlenmiştir. Belirlenen IfE'lerin etrafındaki bileşen galaksilerin sayı dağılımları Şekil 4.16'da

görülmektedir. 60 IfE'nin etrafında toplam 1122 bileşen galaksi belirlenmiştir. 1 Mpc'lik yarıçap içerisinde bulunan bileşen galaksilerin IfE'den olan uzaklıkları dikkate alındığında, 0.5 Mpc'den sonra bileşen sayılarında bir artış görülmektedir. Şekil 4.17'de ise bileşen galaksilerin sayı dağılımı görülmektedir.



Şekil 4.16: Her bir IfE'nin etrafında 1 Mpc'lik yarıçap içerisinde bulunan bileşen galaksilerin IfE'den olan uzaklıklarına göre sayı değişimi. 60 IfE'nin etrafında 1 Mpc'lik yarıçap içerisinde toplam 1122 bileşen galaksi bulunmaktadır.



Şekil 4.17: IfE'lerin, 1 Mpc'lik yarıçap içerisinde sahip oldukları bileşen galaksilere ait sayı dağılımları.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dressler'in (1980) ortaya koyduğu morfoloji-yoğunluk ilişkisine (Dressler, 1980) göre galaksi grupları ve galaksi kümeleri gibi yoğun ortamlarda, eliptik galaksiler diğer galaksilere göre sayıca daha fazladır. Bunun temel sebebi, eliptik galaksilerin, artan ortam yoğunluğu ile galaksi çarpışmaları ve galaksi birleşmeleri yoluyla oluşmasıdır. Fakat son 20 yıl içerisinde yapılan gözlemsel çalışmalarda (Smith ve ark., 2004; Reda ve ark., 2004; Hernández-Toledo ve ark., 2008; Norberg ve ark., 2008), eliptik galaksilerin, izole alanlar içerisinde de bulundukları gözlenmiştir. İzole alan eliptik galaksilerinin özellikleri detaylı bir şekilde araştırılmamıştır. Bu konuyla ilgili olarak literatürde yalnızca birkaç gözlemsel ve simülasyon çalışması mevcuttur.

İzole alan eliptik galaksilerin özelliklerinin, detaylı olarak belirlenip tanımlanması, eliptik galaksilerin oluşumu ve evrimini anlamamız için çok önemlidir. Bu sayede çevresel etkilerin eliptik galaksilerin oluşumu ve evrimi üzerindeki etkilerini anlayabiliriz.

Bu tez çalışması kapsamında, 72 derecekarelik CFHTLS-W1 alanı içerisinde, mutlak parlaklığı $M(r) \leq -21$ kadir olan 215590 eliptik galaksi incelenmiştir. Yapılan analizlerde izole alan eliptik galaksilerini (IfE) belirlerken Smith ve ark.(2004)'nın verdikleri izolasyon kriteri kullanılmıştır. Kullanılan bu izolasyon kriteri sonucunda toplam 118 IfE galaksisi belirlendi. g, r ve i görüntüleri kullanılarak tüm aday IfE'lerin renkli görüntüleri oluşturulmuş ve bu adaylar görsel olarak incelenerek, şüpheli adaylar liste dışına çıkarılmıştır. Şüpheli adayların program çıktısında IfE olarak belirlenmesinin sebebi, bunların LePhare programı tarafından yanlış sınıflandırılmalarıdır. Yapılan inceleme sonunda büyük bir şişkin bölgeye sahip spiral galaksilerin bazılarının eliptik olarak sınıflandırıldığı görülmüştür. Nihai listede toplam 60 IfE bulunmaktadır. Bulgular kısmında hesapladığımız etkin yarıçap ve bileşen galaksi sayılarını da içeren IfE kataloğu EK-2'de bulunmaktadır. Belirlenen IfE örneklememiz, incelediğimiz aday eliptik galaksilerin % 0.027'sine karşılık gelmektedir. Başka bir ifadeyle W1 alanı içerisinde derecekare başına 0.8 IfE

düşmektedir. Bulgularımızı, Niemi ve ark.'nın (2010) yaptıkları çalışmayla karşılaştırdığımızda, IfE sayılarında farklılıklar mevcuttur. Niemi ve ark. (2010), IfE'leri belirlerken, Milenyum Simülasyon verilerini kullanarak Smith ve ark. (2004) verdikleri izolasyon kriterini uygulamışlardır. Yaptıkları çalışma kapsamında toplam 293 IfE belirlenmiştir. İnceledikleri eliptik galaksilerin yaklaşık olarak % 7'sini IfE'ler oluşturmaktadır. Belirlediğimiz IfE'lerin sayı yoğunluğu, Niemi ve ark. (2010)'nın belirledikleri sayı yoğunluğundan daha azdır. Bunun sebebi Niemi ve ark. (2010)' nın kullandıkları eliptik galaksi örneklemine $M(B) \leq -19$ kadir parlaklık limiti uygularken, bu çalışmada ise $M(r) \leq -21$ kadir limiti uygulanmıştır. Bu durumda eliptik galaksi örneklememiz sadece parlak galaksilerden oluşmaktadır.

Üç eliptik galaksi grubuna ait kırmızıya kayma dağılımları göz önüne alındığında, IfE'lerin hem normal eliptiklerden hem de küme eliptiklerinden daha geç zamanlarda oluştuğu görülmektedir. IfE'lerin ortalama kırmızıya kayması zphot = 0.284 iken, normal ve küme eliptik galaksilerin ortalama kırmızıya kayma değerleri sırasıyla 0.732 ve 0.410 olarak belirlenmiştir. Bu bulgu, galaksilerin morfoloji – yoğunluk ilişkisi ile uyumludur. Yoğun ortamlar (galaksi kümeleri, galaksi grupları) içerisinde bulunan galaksilerin birbirleriyle etkileşmeleri ve birleşme olayları daha çok gerçekleştiğinden, bu ortamlar içerisinde fazla bulunan eliptik galaksiler, kozmik zaman ölçeğinde daha erken oluşmaktadır. Niemi ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, IfE'lerin geçirdikleri son galaksi birleşmesinin z~0.6'larda (6 milyar yıl önce), normal eliptiklerin ise z~1.1'lerde (8 milyar yıl önce) olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada elde ettiğimiz sonuçlar Niemi ve ark. (2010)'nın çalışması ile tutarlıdır. Fakat normal eliptik galaksilerin, küme eliptik galaksilere göre neden daha erken oluştukları ise açıklama bekleyen bir bulgudur.

Eliptik galaksi gruplarına ait renk-parlaklık diyagramları incelendiğinde galaksilerin benzer bir dağılım gösterdiği görülmüştür (Şekil 4.3, Şekil 4.5). IfE'lerin ortalama g-i renk değeri 1.047 iken, normal ve küme eliptik galaksilerin ortalama g-i renk değerleri sırasıyla 1.019 ve 1.045'dir (Tablo 4.3). Oluşturulan diyagramlar ve hesaplanan istatiksel sonuçlar doğrultusunda, eliptik galaksilerin bulundukları çevreden bağımsız olarak, benzer bir renk dağılımı gösterdikleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda eliptik galaksilerin evriminde çevre koşullarının, galaksilerin rengi üzerinde pek bir etkisi olmadığı yorumu yapılabilmektedir. Buna benzer sonuçlar hem Reda ve ark.

(2004)'nın hem de Lacerna ve ark. (2015)'nın yaptıkları çalışmalarda da görülmektedir. Reda ve ark. (2004), yaptıkları çalışma kapsamında toplam 36 tane izole erken tip galaksi belirlemişlerdir. Belirledikleri izole erken tip galaksilerin B-R renginin ortalaması 1.54 kadir. Bu sonucu, 4 galaksi grubu içerisinde bulunan erken tip galaksilerle karşılaştırdıklarında benzer bir sonuç elde etmişlerdir. Ayrıca belirledikleri izole galaksiler, Coma kümesi içerisinde bulunan erken tip galaksilerle benzer bir eğime sahiptir. Bununla birlikte, Lacerna ve ark. (2015) da izole ortam içerisinde bulunan eliptik galaksilerle, Coma kümesi içerisinde bulunan eliptik galaksileri karşılaştırmışlardır. Lacerna ve ark. (2015) yaptıkları analizler sonucunda, izole eliptik galaksilere ait g-i renginin ortalama değerini 1.18, küme üyesi eliptiklerin ise 1.20 kadir olarak belirlemişlerdir. Bu durumda farklı yoğunluklar içerisinde bulunan iki eliptik galaksi grubunun aynı renk dağılımına sahip oldukları belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde ettiğimiz bulgular, hem Reda ve ark. (2004'nın hem de Lacerna ve ark. (2015)'nın yapmış oldukları çalışmalarla tutarlıdır.

Bunların haricinde IfE'lere ait g-i renginin, diğer eliptik galaksi gruplarıyla ne ölçüde benzer veya farklı olduklarını görmek için g-i rengine ayrıca K-S testi uygulanmıştır. Yapılan testin sonucunda IfE'lerle, küme eliptik galaksilere ait g-i renk dağılımı karşılaştırıldığında, p-değeri 0.5947 (%59)'dır. Elde edilen sonuç %10'dan daha büyük olduğu için IfE'lerin ve küme eliptik galaksilerin g-i rengi için aynı ana kitle dağılımından geldiği söylenebilir. İkinci olarak IfE'lerle normal eliptik galaksiler karşılaştırıldığında K-S testi sonucuna göre p-değeri 0.00075 dır. Elde edilen değer %1'den az olduğu için sıfır hipotezi reddedilir. Bu durumda iki eliptik grubunun g-i renk dağılımı aynı anakitleden gelmemektedir. K-S testi sonucuna göre IfE'ler ile küme eliptikleri karşılaştırıldığında g-i renk dağılımı aynı anakitleden gelirken neden IfE'ler ile normal eliptik galaksiler karşılaştırıldığında gelmiyor? Bu durum açıklama bekleyen bir bulgudur. Niemi ve ark. (2010)'nın yaptıkları simülasyon çalışması incelendiğinde: IfE'lerin, normal eliptiklere göre farklı bir renk dağılımı gösterdiği belirlenmiştir. IfE'lerin renkleri, normal eliptiklerle karşılaştırıldığında K-S testi sonucunda göre aralarında çok büyük farklılıklar vardır. Her iki eliptik galaksi grubuna K-S testi uygulandığında B-R ve B-V renk dağılımlarına ait p-değeri $< 10^{-15}$ olarak hesaplanmıştır. Simülasyon eliptiklerinin, simülasyon IfE'lerine göre neden daha farklı

bir dağılımın gösterdikleri açıklama bekleyen bir başka bulgudur. Bununla birlikte gözlenen IfE'ler (Reda ve ark., 2004) ile simülasyon IfE'leri (Niemi ve ark., 2010) karşılaştırıldığında B-R rengi için p-değeri ~%33 olarak belirlenmiştir. Bu durumda sıfır hipotezi geçerlidir ve B-R değeri için hem gözlenen IfE'ler hem de simülasyon IfE'leri aynı ana kitleden gelmektedir. B-V renk değeri için gözlenen IfE'lerle (Marcum ve ark., 2004), simülasyon IfE'leri karşılaştırıldığında p-değeri ~ % 63 olarak belirlenmiştir ve her iki eliptik galaksi örneklemi aynı anakitleden gelmektedir.

Galaksiler etkin yarıçaplarına göre karşılaştırıldıklarında, IfE'lerin, normal ve küme eliptiklerinden daha büyük oldukları görülmüştür. IfE'lerin ortalama yarıçapları 5.832 kpc iken, normal ve küme eliptik galaksilerin yarıçapları ise sırasıyla 4.976 kpc, 5.523 kpc olarak hesaplanmıştır. Ayrıca IfE'lere ait etkin yarıçap bilgisine K-S testi uygulanarak diğer iki eliptik galaksi grubuyla da karşılaştırılmıştır (Tablo 4.6). K-S testi sonundan elde edilen verilere göre p-değerlerinin her ikisi de %1'den çok küçük olduğu için sıfır hipotezi reddedilebilir. Bu durumda etkin yarıçap dağılımına göre IfE'ler, ne küme eliptikleriyle ne de normal eliptiklerle aynı ana kitleden gelmemektedir. Çalışmamızda belirlenen IfE'lerin, normal ve küme eliptiklerinden neden daha büyük oldukları açıklama bekleyen bir bulgudur.

Tez çalışması kapsamında, IfE'lerin 1 Mpc'lik yarıçap içerisinde sahip oldukları bileşen galaksiler belirlenmiştir. Belirlenen 60 IfE'nin etrafında ortalama olarak ~ 19 tane bileşen galaksi bulunmaktadır. Ayrıca 1 Mpc'lik yarıçap içerisinde bulunan bileşen galaksilerin IfE'den olan uzaklıkları dikkate alındığında, 0.5 Mpc'den sonra bileşen sayılarında bir artış görülmektedir (Şekil 4.17). Niemi ve ark. (2010)'nın yaptıkları çalışmada ise simülasyon IfE'lerinin 0 ile 30 arasında değişen bileşen galaksilere sahip oldukları tespit edilmiştir. IfE'lerin düşük yoğunluklu bölgeler içerisinde ortalama olarak ~ 11 tane bileşen galaksiye sahip oldukları görülmüştür.

Tez çalışmasında kapsamında 15 IfE için oluşturulan BPT diyagramında galaksiler üç ayrı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4.7). Bunların 4 tanesi yıldız oluşum aktivitesi geçiren galaksiler, 5 tanesi geçiş sınıfı galaksileri ve geriye kalan 6 tanesi ise AGN olarak

sınıflandırılmıştır. Normal eliptik galaksilere benzer işlem yapıldığında ise toplam 1244 normal eliptik galaksinin emisyon çizgi değerlerine ulaşılmıştır. Bunların 513 tanesi yıldız oluşum aktivitesi geçiren galaksiler, 335 tanesi geçiş sınıfı galaksileri ve geriye kalan 396 tanesi ise AGN olarak sınıflandırılmıştır. Küme eliptik galaksilerine ait emisyon çizgi değerlerine ulaşılamadığı için BPT diyagramları oluşturulamamıştır. BPT diyagramları oluşturulmuş IfE'ler ve normal eliptik galaksiler karşılaştırıldığında yıldız oluşumu aktivitesi gösteren IfE'lerin diğer IfE'lere göre kozmik zamanda daha geç oluştukları ve daha büyük etkin yarıçapa sahip oldukları görülmüştür. Bu durum normal eliptik galaksilerde ise mevcut değildir.

Bilinen IfE'lerin sayısını arttırmak ve bu galaksileri, yoğun ortamda bulunan eliptik galaksilerle karşılaştırmak, eliptik galaksilerin nasıl oluştukları konusunda ipuçları verebilecektir. Bugüne kadar yapılan izole alan eliptik galaksi belirleme çalışmaları Tablo 5.1'de verilmektedir.

Tablo 5.1: Bugüne kadar yapılan IfE çalışmalarına ait belirlenen galaksi sayısı ve kullanılan katalog bilgisi.

Çalışma	**IfE Sayısı**	**Veri**
Collobert ve ark. (2001)	30	Third Reference Catalog (RC3)
Smith ve ark. (2004)	32	LEDA
Reda ve ark. (2004)	36	LEDA
Niemi ve ark. (2010)	293	Millenium Simülasyonu
Lacerna ve ark. (2015)	89	UNAM-KIAS
Bu çalışma (2016)	60	CFHTLS-W1

Bu çalışma CFHTLS verileri kullanılarak yapılan ilk IfE belirleme çalışmasıdır. Bundan sonraki analizlerde BPT diyagramı kullanılarak AGN olarak sınıflandırılmış IfE'lerin, X-ışın çalışmalarında belirlenip belirlenmediği ve genel olarak IfE'lerin fosil gruplarla ne ölçüde ilişkili oldukları araştırılacaktır. Literatürde IfE'lerin fosil gruplarla ilişkilendirilmesinin nedeni, her iki sistemin olası oluşumun mekanizmalarının benzer ya da ilişkili olabileceği düşüncesidir. Gözlenen IfE'ler ile fosil grupların optik olarak belirlenmesi, benzer izolasyon kriterleri kullanılarak yapılmaktadır. Her iki sistemde de birincil galaksi ile ikincil galaksi arasında büyük bir parlaklık farkı vardır. Tabi ki fosil grupların tersine, IfE'lerde X-ışın salımı görülmesi için bir neden yoktur. Fosil grupların IfE'lerle ne ölçüde ilişki oldukları XXL[24] projesinden yararlanılarak incelenecektir.

İzole alan eliptik galaksiler, az yoğun ortamlarda bulunduklarından oluşum senaryoları hakkındaki tartışmalar hala sürmektedir. Gözlemsel çalışmalar temel alındığında, şimdiye kadar fakir grupların kendi üzerine çökmesinden, çoklu galaksi birleşmelerine kadar farklı oluşum senaryoları önerilmiştir (Mulchaey & Zabludoff 1999; Reda ve ark., 2004, 2007). Ayrıca, eş kütleli iki galaksinin birleşmesi veya grup çökmeleri sonucu izole alan eliptik galaksi oluşumu da literatürde mevcut olan evrim senaryolarındandır. Yapılan teorik çalışmalar ise izole eliptik galaksilerin spiral galaksi çiftleriyle, daha büyük izole eliptiklerinse küçük galaksi gruplarının birleşmesi sonucunda oluşabilecekleri önerilmektedir (Jones ve ark. 2000; D'Onghia ve ark., 2005). Bu çalışma kapsamında IfE'lerin oluşum mekanizmalarıyla ilgili olarak şu anlık bir yorum yapılamamaktadır. Bunun için detaylı gözlemler yapılmalıdır. Belirlenen IfE'lerin yapılacak gözlemleri sonucunda birleşme, çarpışma veya çökme izleri aranacaktır. Örneğin büyük çaplı bir birleşme sonucunda IfE'ler oluşuyorsa ya CAS yaklaşımı (Conselice, 2003) ya da Gini/M_{20} oranı (Lotz ve ark., 2004) kullanılmalıdır. Bu yöntemler, galaksilerdeki yapısal farklılıkları inceleyerek galaksilerin olası dış etkilere maruz kalıp kalmadığını belirleyen yöntemlerdir. Bu bilgiler ışığında ilerideki dönemlerde parlak ve büyük IfE'ler için gözlem projesi verilecektir.

[24] http://irfu.cea.fr/en/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_technique.php?id_ast=3015

KAYNAKLAR

Aars C. E., Marcum P. M., Fanelli M. N., 2001, A Study of the Projected Galaxy Density around Nine Isolated Elliptical Galaxies, *The Astronomical Journal,* 122, 2923

Adams, M. T., ve ark., 1980, A continuum radio survey of isolated galaxies, *The Astronomical Journal,* 85, 1010

Aliş, S. ve ark., 2015*, ?,* in prep.

Arnouts, S. ve ark., 1999, Measuring and modelling the redshift evolution of clustering: the Hubble Deep Field North *, Monthly Notices of The Royal Astronomical Society,* 310, 540

Bahcall, Neta A., 1999, Abell's Catalog of Clusters of Galaxies, *The Astrophysical Journal,* 525C, 873

Baldry, Ivan K. ve ark., 2004, Quantifying the Bimodal Color-Magnitude Distribution of Galaxies, *The Astrophysical Journal,* 600, 681-694

Baldry, Ivan K. ve ark., 2006, Galaxy bimodality versus stellar mass and environment, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society,* 373, 469-483

Baldry, I. K., ve ark., 2010, Galaxy And Mass Assembly (GAMA): the input catalogue and star-galaxy separation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 404, 86-100

Baldwin, J. A., Phillips, M. M., Terlevich, R., 1981, Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects, *Publications of the Astronomical Society of the Pasific,* 93, 5

Balogh, Michael L. ve ark., 2004, The Bimodal Galaxy Color Distribution: Dependence on Luminosity and Environment, *The Astrophysical Journal,* 615, L101-L104

Bell, Eric F. ve ark., 2004, Nearly 5000 Distant Early-Type Galaxies in COMBO-17: A Red Sequence and Its Evolution since z~1, *The Astrophysical Journal,* 608, 752-767

Bertin E., 1999, SExtractor: User's manual, *Institut d'Astrophysique & Observatoire de Paris*

Bertin E., 2012, Displaying Digital Deep Sky Images, *Astronomical Society of the Pacific,* 461, 263

Blumenthal, G. R. ve ark., 1984, Formation of galaxies and large-scale structure with cold dark matter, *Nature,* 311, 517-525

Butcher, H., Oemler, A., 1978, The evolution of galaxies in clusters, II., *The Astronomical Journal,* 226, 565

Chiosi, Cesare ve Carraro, Giovanni, 2002, Formation and evolution of elliptical galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 335, 335-357.

Cimatti, A. ve ark., 2004, Old galaxies in the young Universe*, Nature,* 430, 184-187

Colbert J. W., Mulchaey J. S., Zabludoff A. I., 2001, The Optical and Near-Infrared Morphologies of Isolated Early-Type Galaxies, *The Astronomical Journal*, 121, 808

Coleman G. D., Wu, C. C., Weedman D. W., 1980, Colors and magnitudes predicted for high redshift galaxies, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 43, 393

Collobert M., Sarzi M., Davies R. L., Kuntschner H., Colless M., 2006, Central stellar populations of early-type galaxies in low-density environments, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 370, 1213

Colless, M., ve ark., 2001, The 2dF Galaxy Redshift Survey: spectra and redshifts, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 328, 1039

Conselice, Christopher J., 2003, The Relationship between Stellar Light Distributions of Galaxies and Their Formation Histories, *The Astrophysical Journal Supplement Series,* 147, 1-28

Conselice, Christopher J., 2014, The Evolution of Galaxy Structure Over Cosmic Time, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics,* 52, 291-337

Coupon, J., ve ark., 2009, Photometric redshifts for the CFHTLS T0004 deep and wide fields, *Astronomy and Astrophysics,* 500, 981-998

Croton, Darren ve ark., 2005, The 2dF Galaxy Redshift Survey: luminosity functions by density environment and galaxy type, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society,* 356, 1155-1167

Davis M., Geller M.J., Huchra J., 1978, The local mean mass density of the Universe – new methods for studying galaxy clustering, *The Astrophysical Journal,* 221, 1-18

de Lucia, G. ve ark., 2006, The formation history of elliptical galaxies, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society,* 366, 499

de Lucia, G. ve ark., 2012, What determines the fraction of elliptical galaxies in clusters ?*, Monthly Notices of The Royal Astronomical Society,* 419, 1324

De Vaucouleurs, G. 1948, Handbuch der Physik, 54, 275

Dekel, Avishai ve ark., 2009, Formation of Massive Galaxies at High Redshift: Cold Streams, Clumpy Disks and Compact Spheroids, *The Astrophysical Journal,* 713, 785-801

Djorgovski S., Davis M., 1987, Fundamental properties of elliptical galaxies, *The Astrophysical Journal,* 313, 59

D'Onghia E. ve ark., 2005, The Formation of Fossil Galaxy Groups in the Hierarchical Universe, *The Astrophysical Journal,* 630, L109-L112

Dressler, A., 1980, Galaxy morphology in rich cluster: Implications for the formations and evolutions of galaxies, *The Astrophysical Journal,* 236, 351

Eggen, O. J., Lynden-Bell, D., Sandage, A. R., 1962, Evidence from the motions of old stars that the Galaxy collapsed, *The Astrophysical Journal,* 136, 748

Einstein, A., 1917, Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie, *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften (Berlin)*, Seite 142-152.

Faber, S. M., Jackson, R. E., 1976, Velocity dispersions and mass-to-light ratios for elliptical galaxies, *, The Astrophysical Journal,* 204, 668-683

Faber, S. M. ve ark., 2007, Galaxy Luminosity Functions to z~1 from DEEP2 and COMBO-17: Implications for Red Galaxy Formation, *The Astrophysical Journal,* 665, 265-294

Gilmore, G. ve ark., 1989, The Milky Way as a Galaxy: Proceedings of the 19th Advanced Course of the Swiss Society of Astronomy and Astrophysics, *Mill Valley, California: University Science Books,* 80 -88

Gunn, James E., Gott, J. Richard, 1972, On the Infall of Matter Into Clusters of Galaxies and Some Effects on Their Evolution, *The Astrophysical Journal,* 176, 1

Gwyn, S. D. J., 1995, *Photometric Redshifts of Galaxies,* MSc thesis, University of Victoria

Hernández-Toledo H. M. ve ark. , 2008, A Morphological Re-Evaluation of Galaxies in Common from the Catalog of Isolated Galaxies and the Sloan Digital Sky Survey (DR6), *The Astronomical Journal,* 136, 2115

Hubble, E., 1929, A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae*, Contributions from the Mount Wilson Observatory,*3, 23-28

Hubble, E., 1936, The realm of the nebulae, *Yale University Press,* ISBN 9780300025002

Huchra J. P., Geller M. J., 1982, Groups of galaxies. I – Nearby groups, *The Astrophysical Journal,* 257, 423

Humason M. L. ve ark., 1956, Redshifts and magnitudes of extragalactic nebulae, *The Astronomical Journal,* 61, 97

Ilbert, O., 2006, Accurate photometric redshifts for the CFHT legacy survey calibrated using the VIMOS VLT deep survey, *Astronomy and Astrophysics,* 457, 841-856

Jones L. R. ve ark., 2000, Multiwavelength observations of an evolved galaxy group: an end-point of galaxy merging?, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society,* 312, 139-150

Karachentseva V. E., 1973, The Catalogue of Isolated Galaxies, *Astrofizicheskie Issledovaniia Izvestiya Spetsial'noj Astrofizicheskoj Obser*., 8, 3

Kawata, D., Gibson, B. K., 2003, Multiwavelength cosmological simulations of elliptical galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 346, 135-152

Kaufmann, Guinevere ve ark., 2003, The host galaxies of active nuclei, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society,* 346, 1055 (Ka03)

Kaufmann, Guinevere ve ark., 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

Kennicutt, Robert C., Jr , 1998, Star Formation in Galaxies Along the Hubble Sequence, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 36, 189-232

Kewley L. J. ve ark., 2001, The Host Galaxies and Classification of Active Galactic Nuclei, *The Astrophysical Journal,* 556, 121 (Ke01)

Kewley L. J. ve ark., 2006, The Host Galaxies and Classification of Active Galactic Nuclei, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society,* 372, 961

Kinney, A. L., ve ark., 1996, Template Ultraviolet to Near-Infrared Spectra of Star-forming Galaxies and Their Application to K-Corrections, *The Astrophysical Journal,* 467, 38

Kormendy J., 1977, Brightness distributions in compact and normal galaxies. II - Structure parameters of the spheroidal component, *The Astrophysical Journal,* 218, 333

Kormendy J., Kennicutt R. C. , 2004, Secular Evolution and the Formation of Pseudobulges in Disk Galaxies, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics,* 42, 603-683

I. Lacerna ve ark., 2015, Isolated elliptical galaxies in the local Universe, *Astronomy and Astrophysics,* 588, 22

Longair S. Malcolm, 2007, Galaxy Formation, *Spinger Yayınevi*, ISBN:978-3-540-73477-2

Lotz, Jennifer M. ve ark., 2004, A New Nonparametric Approach to Galaxy Morphological Classification, *The Astronomical Journal,* 128, 163-182

Malin, D. F., Carter, D., 1983, A catalog of elliptical galaxies with shells, *Astrophysical Journal,* Volume 274, pp. 534-540

Matteucci, Francesca , 2003, What determines galactic evolution?, *Astrophysics and Space Science,* 284, 539-548

Mo H., van den Bosh F. C., Ehite S., 2010, Galaxy Formation and Evolution, *Cambridge University Press,* ISBN: 9780521857932

Moore B., Lake G., Katz N., 1998, Morphological Transformation from Galaxy Harassment, *The Astrophysical Journal,* 495, 139

Mulchaey J. S., Zabludo A. I., 1999, The Isolated Elliptical NGC 1132: Evidence for a Merged Group of Galaxies*, The Astrophysical Journal,* 514, 1330

Niemi, S. M., ve ark., 2010, Formation, Evolution and Properties of Isolated Field Elliptical Galaxies*, Monthly Notices of The Royal Astronomical Society,* 405, 477

Nipoti, Carlo ve ark., 2006, Dissipationless collapse, weak homology and central cores of elliptical galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 370, 681-690

Norberg, P. ve ark., 2008, Massive dark matter haloes around bright isolated galaxies in the 2dFGRS, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society,* 383, 646

Norman, Colin A. ve ark., 1996, Bar Dissolution and Bulge Formation: an Example of Secular Dynamical Evolution in Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 462, 114

Oemler A. J., 1974, The systematic properties of clusters of galaxies. Photometry of 15 clusters, *The Astrophysical Journal,* 194, 1–20.

Peebles, P. J. E., Shavinv, G., 1982, The Large-Scale Structure of the Universe, *Space Science Reviews,* 31, 119

Raha, N., Sellwood, J. A., ve ark., 1991, A dynamical instability of bars in disk galaxies, *Nature,* 352, 411-412

Reda, F. M. ve ark., 2004, The Photometric Properties of Isolated Early-Type Galaxies, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society,* 354, 85

Reda, F. M. ve ark., 2007, The spatially resolved stellar populations of isolated early-type galaxies, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society,* 377, 1772

Saglia, R. P. ve ark., 2000, The evolution of the color gradients of early-type cluster galaxies, *Astronomy and Astrophysics,* 360, 911-934

Sarzi, M., ve ark., 2006, The SAURON project - V. Integral-field emission-line kinematics of 48 elliptical and lenticular galaxies*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 366, 1151-1200

Saucedo-Morales, J., Bieging, J., 2001, An Empirical Picture for the Evolution of Galaxies outside of Clusters, *Astrophysics and Space Science Supplement,* 277, 449

Schneider, P., 2006, Extragalactic Astronomy and Cosmology: An introduction, *Spinger Yayınevi*, ISBN: 978-3-540-33175-9

Schneider, P., 2015, Extragalactic Astronomy and Cosmology: An introduction, *Spinger Yayınevi*, ISBN: 978-3-642-54083-7

Sellwood J. A., Merritt D., 1994, Instabilities of counterrotating stellar disks , *The Astrophysical Journal,* 425, 530

Sezen, Ş., 2008, *Fotometrik Kırmızıya Kayma Yöntemi ile Lüminozite Fonksiyonu Hesabı,* Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Smith, R. M. ve ark., 2004, A Sample of Field Ellipticals, *The Astrophysical Journal,* 617, 1017

Smith, R. M. ve ark., 2010, The Formation of Isolated Elliptical Galaxies, ASP Conference Series, 421, 221

Stanford, S. A., Eisenhardt, Peter R., Dickinson, Mark, 1998, The Evolution of Early-Type Galaxies in Distant Clusters, *The Astrophysical Journal,* 492, 461-479

Stocke J. T. ve ark., 2004, Very Isolated Early-Type Galaxies, *The Astronomical Journal*, 127, 1336

Strateva, I., ve ark., 2001, Color Separation of Galaxy Types in the Sloan Digital Sky Survey Imaging Data, *The Astronomical Journal*, 122, 1861

Toomre, A. ve Toomre. J. 1972, Galactic Bridges and Tails*, The Astrophysical Journal,* 178, 623

Weinmann, Simone M. ve ark., Properties of galaxy groups in the Sloan Digital Sky Survey - I. The dependence of colour, star formation and morphology on halo mass, , *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society,* 366, 2-28

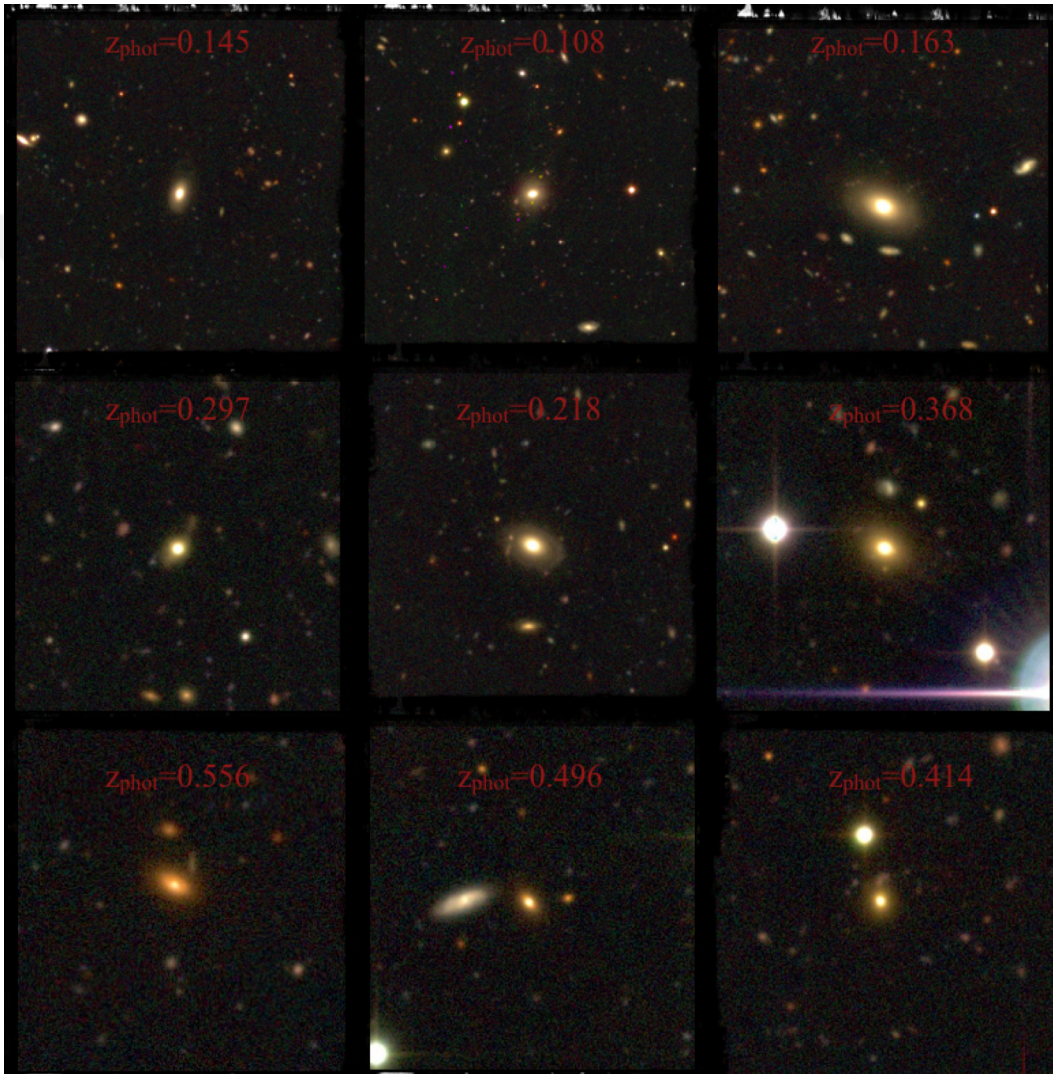
Yelkenci K. F., 2015, *Galaksi Morfolojisi-Yoğunluk ilişkisinin Evrimi,* Doktora, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Zaritsky, D., ve ark., 1993, Satellites of spiral galaxies, *The Astrophysical Journal,* 405, 464

Zwicky, F., 1957, Non-Uniformities in the Apparent Distribution of Clusters of Galaxies, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific,* 69, 518

EKLER

EK-1


z_{phot}=0.145
z_{phot}=0.108
z_{phot}=0.163
z_{phot}=0.297
z_{phot}=0.218
z_{phot}=0.368
z_{phot}=0.556
z_{phot}=0.496
z_{phot}=0.414

EK-2

#ID	R.A	Dec	z-phot	m(g)	m(r)	m(i)	M(g)	M(r)	M(i)	Flux_radius50_r	Re	logRe	Ngal (< 1 Mpc)
1101 135708	38.396553	-4.0951343	0.3562	21.993	18.347	19.408	-22.239	-23.473	-23.351	4.7240	6.5195	0.8142	41
1101 223139	38.1957474	-3.7408898	0.2994	19.175	18.242	17.472	-22.187	-23.082	-23.239	10.0170	6.0322	0.7805	15
1102 84689	37.0726814	-4.2714119	0.2158	18.697	16.964	17.365	-21.979	-23.458	-22.948	9.1080	9.7271	0.9880	28
1102 8818	37.0164223	-4.6595454	0.2038	17.347	17.929	15.973	-22.439	-22.297	-23.583	13.2560	5.8322	0.7658	11
1104 119491	35.0816269	-4.197022	351	19.298	18.567	17.264	-22.996	-23.165	-24.084	10.5960	6.8354	0.8348	15
1104 176699	34.989994	-3.9560323	0.2131	19.949	17.5	18.124	-22.368	-22.806	-23.418	7.8470	4.9362	0.6934	28
1104 183208	35.2237778	-3.9271317	0.2547	18.998	17.647	17.230	-22.576	-23.148	-23.681	9.1080	8.4896	0.9289	33
1105 73936	34.0620575	-4.3707294	0.1155	19.902	15.996	18.451	-21.776	-22.754	-22.685	5.1040	5.0058	0.6995	20
1107 169020	32.2806931	-3.9717166	0.1455	18.202	18.06	16.892	-20.611	-21.282	-21.626	8.6720	3.2481	0.5116	8
1107 62114	32.2921371	-4.4244833	0.2452	18.633	18.282	17.240	-20.915	-22.463	-22.019	6.8330	4.1395	0.6169	21
1108 59847	31.3505573	-4.4623203	0.1082	20.436	17.344	18.251	-22.401	-21.283	-23.484	7.6490	3.2058	0.5059	14
1109 22599	30.7408619	-4.6029243	0.5053	20.069	20.345	17.993	-22.400	-22.981	-23.486	8.5320	5.4227	0.7342	37
1109 70154	30.991518	-4.391325	0.2545	19.637	17.987	17.755	-22.968	-22.864	-23.963	7.8270	7.4209	0.8705	14
1109 80781	30.3820438	-4.3480682	0.2185	19.512	17.8	17.774	-21.782	-22.568	-22.838	5.7430	6.0187	0.7795	10
1115 108757	33.6441612	-5.1452389	0.1629	18.923	18.439	17.621	-20.631	-21.177	-21.668	6.8150	2.7515	0.4396	8
1115 114004	33.9144707	-5.1216359	0.3399	20.887	20.184	18.976	-21.277	-21.521	-22.428	6.2730	3.5923	0.5554	8
1115 163203	33.9888039	-4.9099932	0.2846	17.565	18.656	16.303	-21.619	-22.494	-22.658	8.0140	5.2265	0.7182	15
1117 199427	31.5534992	-4.6884813	0.3371	21.364	18.623	19.273	-21.060	-23.117	-22.174	4.3870	7.6899	0.8859	17
1117 28687	32.0858498	-5.4977617	0.1436	21.976	17.713	19.446	-22.431	-21.627	-23.514	4.9170	3.2210	0.5080	5
1117 32941	32.0975723	-5.4748459	0.3679	22.332	18.91	20.323	-20.264	-23.115	-21.372	4.1380	7.2956	0.8631	29
1118 109992	31.0912304	-5.1403723	0.3218	20.711	17.88	18.576	-21.804	-23.715	-22.867	5.1880	9.2589	0.9666	44
1118 92096	30.3113766	-5.2255254	0.1580	19.758	16.448	17.705	-22.654	-23.132	-23.728	9.0830	6.7660	0.8303	27
1123 154558	34.4081993	-5.9321952	0.3130	22.154	18.212	20.121	-20.300	-23.294	-21.402	4.3190	7.8604	0.8954	24
1123 38060	34.6930962	-6.4047422	0.4140	19.215	19.701	18.010	-20.578	-22.663	-21.569	5.2570	5.7025	0.7561	18
1124 108919	33.2748947	-6.1503124	0.1449	21.494	16.517	19.588	-20.851	-22.841	-21.889	3.9640	6.3902	0.8055	16
1125 147380	32.9432831	-5.9517808	0.3220	19.958	19.597	18.144	-21.842	-22.059	-22.883	6.5100	5.4837	0.7391	12
1125 154130	32.1385384	-5.9275999	0.1297	17.432	16.787	16.049	-22.140	-22.318	-23.256	13.4540	3.4657	0.5398	14
1125 186981	32.2645454	-5.789423	0.3352	19.067	19.947	17.387	-22.548	-21.804	-23.501	7.6490	3.9392	0.5954	1
1125 234704	32.6332397	-5.5952973	0.5415	16.806	20.434	15.581	-22.097	-23.145	-23.158	12.7910	5.8496	0.7671	24
1128 37293	38.1998558	-7.3288002	0.2591	21.183	18.953	19.033	-22.034	-21.902	-23.031	5.5590	3.8730	0.5880	11
1129 151094	37.447834	-6.8127565	0.2276	19.567	17.082	17.616	-22.576	-23.449	-23.663	9.1660	7.7921	0.8917	7
1129 163451	37.8226814	-6.7620144	0.1392	20.962	16.936	18.713	-22.480	-22.256	-23.552	7.6220	3.6125	0.5578	10
1130 112310	36.535141	-6.9940877	0.2476	20.415	18.065	18.250	-22.411	-22.702	-23.477	6.2130	4.6159	0.6643	8
1130 54360	36.1935005	-7.2569928	0.1637	19.363	16.719	17.415	-22.716	-22.943	-23.815	9.0580	6.7690	0.8305	24
1134 63499	32.9535179	-7.2815299	0.3635	19.480	20.99	17.607	-22.393	-21.004	-23.457	8.0100	3.9167	0.5929	10
1135 88887	31.5064545	-7.0842104	0.3680	19.768	18.31	18.044	-22.549	-23.595	-23.532	7.3860	7.4667	0.8731	39
1139 118312	36.6263084	-7.9550843	0.3549	18.343	19.204	17.064	-22.230	-22.64	-23.157	7.6150	5.8423	0.7666	9
1139 136633	36.5067711	-7.8750792	0.5563	18.668	19.855	17.186	-22.545	-23.765	-23.539	11.4530	9.2409	0.9657	49
1140 119615	35.7221489	-7.9541779	0.4968	21.845	20.379	19.513	-22.130	-22.777	-23.118	4.1900	4.7665	0.6782	18
1140 132020	35.6555672	-7.9150677	0.1290	18.136	17.277	16.916	-21.101	-21.711	-22.110	6.9970	3.0119	0.4788	9
1141 156281	34.3654022	-7.8142576	0.3084	19.369	18.025	17.953	-21.812	-23.447	-22.748	5.8190	7.6897	0.8859	32
1141 27884	34.8469887	-8.3285532	0.4333	20.170	19.426	18.182	-22.186	-23.183	-23.217	6.8230	8.0319	0.9048	33
1141 80637	34.5133438	-8.1132164	0.3673	17.667	18.89	16.251	-22.265	-23.108	-23.345	12.8810	5.9198	0.7723	20
1147 81990	37.5848236	-9.049983	0.2948	19.311	18.315	17.561	-22.024	-22.989	-23.059	6.3580	6.2220	0.7939	16
1149 144398	35.4885979	-8.7773542	0.2589	20.683	18.436	18.594	-21.976	-22.421	-23.009	6.2680	4.3652	0.6400	20
1151 78041	33.2177582	-9.1050806	0.2762	21.338	17.867	18.870	-23.099	-23.165	-24.134	7.6640	6.0118	0.7790	30
1152 129892	32.1149216	-8.8911552	0.3371	18.925	19.221	17.281	-22.394	-22.498	-23.470	11.2560	4.6759	0.6699	10
1154 149807	30.5404987	-8.6697235	0.2734	19.502	17.806	17.677	-22.476	-23.298	-23.559	8.3490	7.1067	0.8517	15
1154 82760	30.4660053	-8.9855576	0.3432	18.939	18.692	17.453	-21.639	-23.05	-22.713	9.3140	7.1564	0.8547	7
1156 147124	37.0529633	-9.7200851	0.3136	18.086	18.767	16.440	-22.740	-22.711	-23.862	14.8610	5.2543	0.7205	29
1156 24629	37.1732712	-10.2100391	0.2909	18.111	18.43	16.590	-22.789	-22.861	-23.843	11.4310	6.9813	0.8439	24
1159 97225	34.5914841	-9.8624544	0.2904	17.828	18.165	16.536	-21.630	-23.088	-22.644	7.8670	6.5226	0.8144	19
1161 133018	32.5437088	-9.7293692	0.3328	19.656	18.326	17.750	-22.288	-23.359	-23.334	7.5610	8.1172	0.9094	11
1161 158483	32.4287186	-9.6054163	0.3430	19.682	20.774	17.841	-22.132	-21.033	-23.213	8.5630	3.9374	0.5952	5
1164 59998	38.4972916	-10.9618006	0.1355	20.184	17.482	18.178	-22.029	-21.633	-23.080	6.1190	5.6340	0.7508	18
1165 18372	37.508976	-11.1631384	0.1347	18.414	17.587	17.201	-20.908	-21.533	-21.934	5.6240	2.5117	0.4000	8
1166 108986	36.6051712	-10.7627802	0.3018	19.596	18.198	17.789	-22.824	-23.217	-23.841	6.9780	6.9832	0.8441	29
1166 22792	36.1047516	-11.1427326	0.2546	19.598	17.784	17.700	-22.408	-23.083	-23.443	7.2520	8.3412	0.9212	19
1167 241801	35.4591026	-10.2663479	0.3245	20.095	18.718	18.479	-21.282	-22.874	-22.239	5.1600	5.9956	0.7778	17
1172 183498	30.1935444	-10.4199381	0.2972	18.425	18.853	17.113	-21.002	-22.35	-22.007	12.5520	4.2239	0.6257	9

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Eyüp Kaan ÜLGEN
Uyruğu	T.C
Doğum tarihi, Yeri	06/09/1990 – İstanbul
Telefon	05069072841
E-mail	k.ulgen90@gmail.com

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Yüksek Lisans	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü / Astronomi ve Uzay Bilimleri	2016
Lisans	İ.Ü. Fen Fakültesi / Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü	2013

Bildiriler

- Ülgen, E. K., Benoist, C., Aliş, S., "CFHTLS Projesinden Elde Edilen Fotometrik Kırmızıya Kaymaların Karakterizasyonu", XVIII. Ulusal Astronomi Toplantısı, MALATYA, TÜRKİYE, 27 Ağustos – 1 Eylül 2012, ss. 157-161
- Atali,H.B., Alis,S., Yelkenci, K., Saygac,A.T., Aksoyu Nuranoğlu, Y., Fisek, S., Ulgen, E.K. "Times of Minima of Eclipsing Cataclysmic Variables" – IBVS, 11/04/2014, 2014IBVS.6102....1A
- Türk Astronomi Derneği – Gökyüzü, "Karanlık Enerji ve DES Projesi", Nisan 2013, Sayı 40, ss. 08-11
- Türk Astronomi Derneği – Gökyüzü, "İzole Eliptik Galaksiler Normal Galaksilerden Ne Kadar Farklı?, Haziran 2015, Sayı 58, ss.12

Burs, Destek ve Ödüller

- TÜBİTAK, 2210-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı 2014 Yılı 3. Dönem Bursiyeri
- XIX. Ulusal Astronomi Kongresi, En İyi Poster Bildiri Ödülü, 2-6 Şubat 2015, ODTÜ, Ankara

Katıldığı Bilimsel Konge/Sempozyum/Okul ve Bilimsel Toplantılar

- Güneş ve Güneş Benzeri Yıldızlar Sempozyumu, Haziran 2010, İstanbul
- Türk Astronomi Derneği - Astronomlar için Fizik Yaz Okulu, 4-8 Temmuz 2011, İstanbul
- TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi - Lisans Öğrencileri Yaz Programı,8-12 Ağustos 2011, Antalya
- Türkiye'deki Teleskoplarla Bilim Sempozyumu, 14-15 Mayıs 2012, İstanbul
- XVIII. Ulusal Astronomi Toplantısı, 27 Ağustos – 1 Eylül 2012, Malatya
- Türk Astronomi Derneği - Büyük Çaplı Teleskoplar için Türkiye'de Yer Belirleme Çalıştayı, 29-31 Mart 2013, İstanbul
- Küçük Teleskoplarla Bilim Çalıştayı, 9-10 Mayıs 2013, İstanbul
- Feza Gürsey Yaz Okulları, Kozmoloji Yaz Okulu, 19-30 Ağustos 2013, İstanbul
- NEON Observing School, 18-24 Eylül 2014, Rozhen Gözlemevi, Bulgaristan
- OPTICON Awareness Conference, 25 Eylül - 01 Ekim 2014, Sofya, Bulgaristan
- XIX. Ulusal Astronomi Toplantısı, 2 – 6 Şubat ODTÜ, Ankara

Görev Aldığı Bilimsel Etkinlikler

- Feza Gürsey Yaz Okulları, Hakkı Öğelman Astronomlar için Fizik Yaz Okulu, 4-8 Ağustos 2014, Asistan Öğrenci