**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMA YÖNTEMİ İLE LÜMİNOZİTE FONKSİYONU HESABI

**Astronom Şebnem SEZEN**
**Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı**
**Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı**

**Danışman**

**Doç.Dr. Füsun LİMBOZ**

**Ocak, 2008**

**İSTANBUL**

**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMA YÖNTEMİ İLE LÜMİNOZİTE FONKSİYONU HESABI

**Astronom Şebnem SEZEN**
**Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı**
**Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı**

**Danışman**

**Doç.Dr. Füsun LİMBOZ**

**Ocak, 2008**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 28/01/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Astronomi ve Uzay Bilimleri programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Füsun Limboz
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. H. Gökmen TEKTUNALI
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Çetin BOLCAL
Kültür Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. H.Hüseyin MENTEŞE
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç. Dr. Yüksel KARATAŞ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

# ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasındaki bilimsel ve manevi desteğinin yanısıra, tez çalışmalarım boyunca gösterdiği anlayış ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Sn.  Füsun Limboz'a en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Eğitimim süresince destek olup, bilgi ve deneyimlerini paylaşan, bölüm imkanlarından yararlanmamı sağlayan hocam Prof. Dr. Sn. H. Gökmen Tektunalı'ya ve bilgi, yardım ve desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Sn. H. Hüseyin Menteşe'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her evresinde olduğu gibi bu çalışmayı yaparken de bana vermiş oldukları destek için aileme çok teşekkür ederim.

Tezin her aşamasında hem bilimsel hem de manevi desteği için Sn. Sinan Aliş'e çok teşekkür ederim.

**Ocak, 2008** **Şebnem SEZEN**

# İÇİNDEKİLER

**ÖNSÖZ** ..... **i**

**İÇİNDEKİLER** ..... **ii**

**ŞEKİL LİSTESİ** ..... **iv**

**TABLO LİSTESİ** ..... **vi**

**SEMBOL LİSTESİ** ..... **vii**

**ÖZET** ..... **viii**

**SUMMARY** ..... **x**

**1. GİRİŞ** ..... **1**

**2.GENEL KISIMLAR** ..... **4**

2.1. KIRMIZIYA KAYMA ..... 4

2.2. FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMA YÖNTEMİ ..... 9

2.2.1. Kısa Tarihçe ..... 9

2.2.2. Yöntemin Uygulanması ..... 10

*2.2.2.1. Galaksilerin Parlaklıkları ve Spektrel Enerji Dağılımları (SED)* ..... 10

*2.2.2.2. Model Spektrumlar* ..... 11

*2.2.2.3. Model Spektrumlar ile Gözlemsel SED'lerin Çakıştırılması* ..... 15

2.2.3. Fotometrik Kırmızıya Kayma Yönteminin Değerlendirilmesi ..... 16

2.2.4. Fotometrik Kırmızıya Kayma Yöntemi Kullanılan Önemli Projeler ..... 17

2.3. LÜMİNOZİTE FONKSİYONU ..... 18

2.3.1. Kısa Tarihçe ..... 19

2.3.2. Schechter Fonksiyonu ..... 20

2.3.3. Lüminozite Fonksiyonunu Belirleme Yöntemleri ..... 22

*2.3.3.1. Galaksi Kümeleri İçin* ..... 22

*2.3.3.2. Alan Galaksileri İçin* ..... 23

**3. VERILER VE YÖNTEM.....24**

3.1. ABELL 2040 GALAKSİ KÜMESİ…….24

3.2. SLOAN DIJITAL GÖKYÜZÜ TARAMASI (SDSS) .....30

3.3. LE PHARE PROGRAMININ UYGULANMASI.....34

**4. BULGULAR .....38**

4.1. FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMALAR.....38

4.2. ABELL 2040 GALAKSİ KÜMESİNİN UZAKLIĞI VE MUTLAK PARLAKLIKLAR…….....44

4.3. LÜMİNOZİTE FONKSİYONU.....45

**5. TARTIŞMA VE SONUÇ ..... 50**

**KAYNAKLAR ..... 57**

**EKLER ..... 60**

**EK 1.** ABELL 2040 GALAKSİ KÜMESİNİN SDSS'DEN ALINAN PARLAKLIK VERİLERİ……60

**EK 2.** ABELL 2040 GALAKSİ KÜMESİNDEKİ GALAKSİLERİN SDSS'DEN ALINAN CCD (CHARGE COUPLED DEVICE) GÖRÜNTÜLERİ……...……63

**EK 3.** ABELL 2040 GALAKSİ KÜMESİNDEKİ GALAKSİLERİN MUTLAK PARLAKLIKLARI…….....77

**ÖZGEÇMİŞ ..... .....80**

# ŞEKİL LİSTESİ


**Şekil 1.1** : Hubble Kanunu……...3

**Şekil 2.1** : Hareketli bir kaynağın frekansının iki ayrı gözlemciye göre, artması ve azalması……....5

**Şekil 2.2** : Elektromanyetik spektrum…….....5

**Şekil 2.3** : Kaynağın v hızı ile kırmızıya kayma z arasındaki ilişki.....7

**Şekil 2.4** : Bruzual (1985)'ten alınan iki galaksi için model spektrum…….12

**Şekil 2.5** : İki galaksi spektrumunun birleşimi ile oluşturulmuş model spektrum ve Kennicutt (1992)'den alınan NGC 3627 galaksisinin spektrumu.....13

**Şekil 2.6** : z = 0'dan z = 0.3'e kaydırılmış bir eliptik galaksi spektrumu.....14

**Şekil 2.7** : Filtre merkezi dalgaboyuna indirgenmiş model spektrum örneği.....15

**Şekil 2.8** : Model spektrum ile gözlemsel spektrumun karşılaştırıldığı iki galaksi örneği……..……16

**Şekil 2.9** : Spektroskopik ve fotometrik kırmızıya kaymalar arasındaki fark (Δz) ile spektroskopik kırmızıya kayma arasındaki grafik……..17

**Şekil 2.10** : Schechter'in oluşturduğu lüminozite fonksiyonu……..……...…20

**Şekil 3.1** : Abell 2040 kümesinin NASA Extragalactic Database (NED)'den alınan görüntüsü…….....24

**Şekil 3.2** : Abell 2040 kümesindeki galaksilerin türlere göre dağılımı……...……..25

**Şekil 3.3** : Abell 2040 kümesindeki galaksilerin türlerinin yüzde dağılımı……..…25

**Şekil 3.4** : SDSS'de kullanılan 2.5 m çaplı teleskop……...…..31

**Şekil 3.5** : New Mexico'da yeralan Apache Point Gözlemevi…….....32

**Şekil 3.6** : SDSS DR6'in görüntüleme ve spektroskopik gözlemlerinin gökyüzünde kapladığı alan……..……...34

**Şekil 3.7** : Le PHARE programının akış şeması……..37

**Şekil 4.1** : Abell 2040 kümesindeki 95 galaksinin SDSS spektroskopik kırmızıya kaymaları……...39

**Şekil 4.2** : Abell 2040 kümesinin bu tez çalışmasında bulunan fotometrik kırmızıya kayma dağılımı……...40

**Şekil 4.3** :Abell 2040 kümesinin g bandı lüminozite fonksiyonu.…….45

**Şekil 4.4** :Abell 2040 kümesindeki eliptik galaksilerin g bandı lüminozite fonksiyonu.…….47
**Şekil 4.5** :Abell 2040 kümesindeki merceksi galaksilerin g bandı lüminozite fonksiyonu……..47
**Şekil 4.6** :Abell 2040 kümesindeki spiral galaksilerin g bandı lüminozite fonksiyonu.…….....48
**Şekil 4.7** : Abell 2040 kümesindeki düzensiz galaksilerin g bandı lüminozite fonksiyonu …….....48
**Şekil 5.1.** : Binggeli, Sandage ve Tammann (1988) tarafından verilen Virgo kümesine ait lüminozite fonksiyonu……53
**Şekil 5.2** : CFHTLS (Canada France Hawai Telescope Legacy Survey) için yapılan kalibrasyonların sonucunda elde edilen fotometrik kırmızıya kaymalar ile spektroskopik kırmızıya kaymaların karşılaştırılması.....55

# TABLO LİSTESİ

**Tablo 2.1** : Kırmızıya kayma türleri ve tanımlamaları..... 6
**Tablo 2.2** **:** Sloan ugriz filtrelerinin merkezi dalgaboyları ve geçirgenlik değerleri…..11
**Tablo 2.3** **:** Galaksilerin Hubble tiplerine karşılık gelen m, $f_e$ ve $f_s$ parametreleri...…..13

**Tablo 3.1** **:** Abell 2040 kümesindeki galaksilerin listesi.……..…….. 26
**Tablo 3.2** **:** SDSS'de kullanılan filtrelerin merkezi dalgaboyları, yarı genişlikleri, sıfır nokta akı değerleri ve limit parlaklıkları……...33
**Tablo 4.1** **:** TAMAS kütüphanesi kullanılarak Le PHARE ile bulunan fotometrik kırmızıya kaymalar ve hataları……..…….40
**Tablo 4.2** **:** Bu tez çalışmasında kullanılan spektrel enerji dağılımı kütüphanelerinin karşılaştırılması……43

# SEMBOL LİSTESİ

| | |
|---|---|
| $z$ | : kırmızıya kayma değeri |
| $\lambda$ | : dalgaboyu |
| $\Delta\lambda$ | : dalgaboyundaki kayma miktarı |
| $Vr$ | : radyal hız |
| $c$ | : ışık hızı |
| $H_0$ | : Hubble sabiti |
| $d$ | : uzaklık |
| $\nu$ | : frekans |
| $a$ | : kozmolojik ölçek çarpanı |
| $G$ | : evrensel çekim sabiti |
| $M$ | : kütle |
| $L^*$ | : karakteristik galaksi lüminozitesi |
| $r$ | : yarıçap |
| $A^0$ | : Angstrom |
| $F_\lambda$ | : $\lambda$ dalgaboyundaki akı |
| $F_0$ | : sıfır nokta akı değeri |
| $m$ | : görünen parlaklık |
| $f_e$ | : galaksinin bulge bölgesinden gelen göreli ışık miktarı |
| $f_s$ | : galaksi diskinden gelen göreli ışık miktarı |
| $\sigma$ | : standart sapma |
| $L\odot$ | : güneşin lüminozitesi |
| $M$ | : mutlak parlaklık |
| $\Phi$ | : lüminozite fonksiyonu |
| $n^*$ | : normalizasyon terimi |
| $L$ | : lüminozite |
| $M^*$ | : karakteristik galaksi mutlak parlaklığı |
| $\alpha$ | : lüminozite fonksiyonunun sönük ucunun eğimi |

# ÖZET


**FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMA YÖNTEMİ İLE LÜMİNOZİTE FONKSİYONU HESABI**

Galaksilerin kırmızıya kayma (z) değerlerinin bulunması geniş ölçekli evren çalışmaları açısından oldukça önemlidir. Kırmızıya kayma değerleri yardımıyla galaksilerin ve galaksi kümelerinin bizden uzaklaşma hızları yani bir başka deyişle evrenin genişleme hızı bulunabilir. Bu da gözlemsel kozmolojinin en önemli çalışma alanlarından biridir. Evrenin genişleme hızı bize evrendeki madde yoğunluğu ve buna bağlı olarak evrenin geleceği ile ilgili bilgi vereceğinden, kırmızıya kayma değerlerinin sağlıklı bir şekilde bulunabilmesi oldukça büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında galaksilerin kırmızıya kaymalarının tayininde kullanılan yöntemlerden fotometrik kırmızıya kayma yöntemi detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Yöntemin tarihçesi anlatıldıktan sonra günümüzdeki uygulanma şekli ile avantaj ve dezavantajları, spektroskopik yöntem ile karşılaştırılarak belirtilmiştir.

Abell 2040 galaksi kümesine ait fotometrik veriler (Ek 1'de verilmiştir) Sloan Digital Sky Survey (SDSS)'den alınarak Le PHARE programı ile kümeye ait fotometrik kırmızıya kayma değerleri bulunmuş ve literatürde yeralan spektroskopik kırmızıya kayma değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, $\Delta z=0,051$'lik bir hata ile kümenin kırmızıya kayması bulunmuştur. Bu kırmızıya kaymadan itibaren yapılan hesaplama ile kümenin Samanyolu galaksisinden uzaklığı yaklaşık olarak 424,3 Mpc'tir. (Abell 2040 galaksi kümesine ait galaksi resimleri Ek 2'de verilmiştir)

Abell 2040 kümesinin lüminozite fonksiyonu Mg = -20,5 kadire kadar tam olarak elde edilebilmiştir. Elde edilen lüminozite dağılımı literatürde verilen lüminozite fonksiyonları ile uyumludur. Sönük galaksilerin sayısının fazla olması grafiklerde belirgin bir şekilde görülmektedir. Lüminozite fonksiyonunun en parlak ucunda -23 kadirde çok parlak bir galaksi yer almaktadır. Bu galaksi muhtemelen Abell 2040

kümesinin merkezindeki hakim galaksidir. Dressler’in (1980) listesinde de bu galaksi D sınıfı olarak belirtilmiştir.

# SUMMARY


## ESTIMATION OF LUMINOSITY FUNCTION WITH PHOTOMETRIC REDSHIFT METHOD

Obtaining redshifts of galaxies plays an important role in cosmology studies. With help of redshift values, radial velocities of galaxies and galaxy clusters can be found. This leads to the expanding velocity of the universe. This is one of the most important subjects in observational cosmology. Expanding velocity of the universe gives us information about matter density which affect the fate of the universe. Therefore, estimating redshift values with a high accuracy is very important issue in cosmology.

In this thesis, photometric redshift estimation method as one of the methods for redshift estimation was described. After a brief history and development, application of the method was described. Advantages and disadvantages of the method were given comparing to the spectroscopic method.

Photometric data of Abell 2040 galaxy cluster are taken from Sloan Digital Sky Survey (SDSS) and using Le PHARE software photometric redshifts of the cluster are calculated. Comparing the results in the literature, redshift of the cluster is estimated with an error of $\Delta z=0,051$. According to this redshift, distance of the Abell 2040 is found as 424,3 Mpc.

Luminosity function of the cluster could be constructed up to Mg = -20,5 magnitude completely. Obtained luminosity function of the cluster is in well agreement with luminosity functions in the literature. Number of galaxies increase towards faint magnitudes can be seen clearly in the graphs. At the bright end of luminosity function of the cluster there is one galaxy which is probably the central dominated galaxy of the cluster. In Dressler's (1980) list this galaxy was listed as the D type galaxy which is very concordant with this thought.

# 1. GİRİŞ

Çok uzun zaman boyunca “bulutsu” ya da “nebula” olarak adlandırılan galaksilerin, 1920’li yıllarda Edwin Hubble’ın çalışmaları ile Samanyolu galaksisi dışındaki cisimler oldukları anlaşılmıştır. Hubble, Andromeda galaksisindeki bazı yıldızları Mount Wilson’daki 2.5 m’lik teleskopla ayırt edebilmiş ve onlardan bazılarının da bizim galaksimizde önceden bilinen Sefeid türü değişenlerden olduklarını bulmuştur. Bunun üzerine Henrietta Leavitt ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalar sonucunda elde edilen ve Sefeid türü yıldızlar için geçerli olan mutlak parlaklık – periyot ilişkisini kullanarak Andromeda’nın uzaklığını tespit etmiştir. Buna göre Hubble 1923 yılında Andromeda’nın uzaklığını 900 000 ışıkyılı olarak bulmuştur. Daha sonra Walter Baade ve diğerleri tarafından yapılan çalışmalar ile Sefeidlerin mutlak parlaklık – uzaklık ilişkisi gözden geçirilmiş ve en son halinin kullanılması ile Andromeda’nın uzaklığı 2 milyon ışıkyılı olarak bulunmuştur.

Bir gökcisminin spektrumunun incelenmesinden o gökcisminin bize yaklaşmakta mı yoksa uzaklaşmakta mı olduğu, spektrel çizgilerdeki Doppler kaymalarından anlaşılabilir. Gökcisminde gözlenen spektrel çizgilerin laboratuvar dalgaboyları ile gözlenen dalgaboylarının karşılaştırılmasıyla gözlenen çizgilerin kısa veya uzun dalgaboylarına kaydığının belirlenmesi sonucunda o cismin hem yaklaşmakta veya uzaklaşmakta olduğu, hem de görüş doğrultusundaki hızı bilinebilir. Burada Doppler olayı ile verilen;

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c} \qquad (1.1.)$$

formülü kullanılmaktadır. Bu formül, rölativistik olmayan Doppler formülüdür. Bu formülde $\lambda$ dalga boyu, $\Delta\lambda$ dalga boyundaki kayma miktarı, $v_r$ cismin radyal hızı ve c ışık hızıdır.

Hubble'ın çalışmalarıyla "bulutsu"ların bizim galaksimiz dışındaki başka galaksiler olduklarının anlaşılmasıyla, araştırmacılar bu galaksilerin spektrumlarını alarak, incelemeye başladılar. 1910 – 1920 arasında Vesto Melvin Slipher, Lowell Gözlemevi'nden birçok bulutsunun spektrum çizgilerinin hafifçe kırmızıya ya da maviye kaydıklarını keşfetmiştir. Galaksiler bir birleşik spektrum verdiklerinden yıldızlara göre çizgilerin tanınması daha zordur. Ayrıca bu birleşik spektrum, bileşenlerinin herbirinin bağımsız hareketleri sonucunda yıldızlarınkine göre daha genişlemiş durumdadır. Ancak bu durum galaksilerin radyal hızlarını yani çizgi kaymalarını ölçmeyi engellemez.

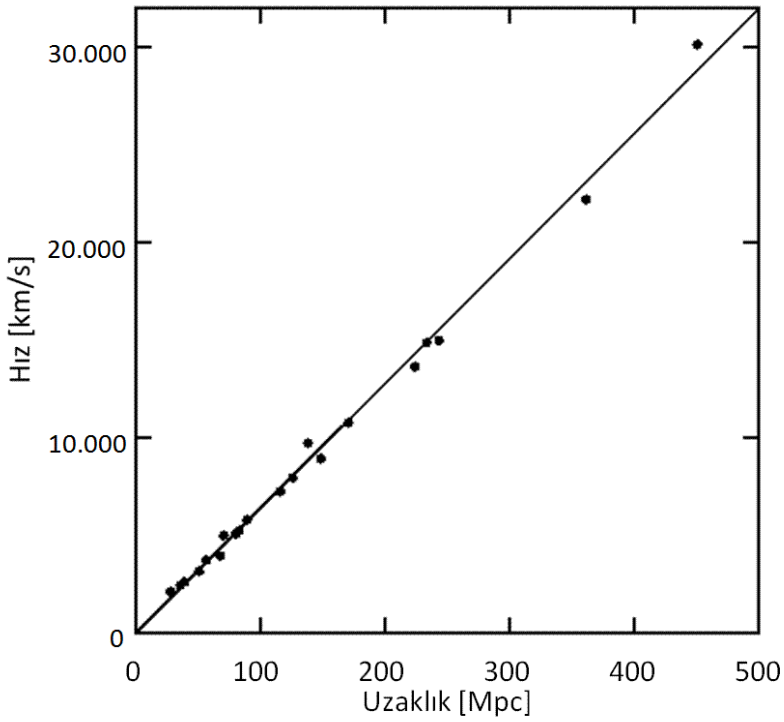
Çok sayıda galaksinin spektrumu incelendiğinde Doppler kaymalarının "kırmızıya" doğru olduğu tespit edilmiş ve bu kırmızıya kayma değerleri ölçüldüğünde, yıldızların kırmızıya kaymaları ile bazı önemli farklılıkları olduğu görülmüştür. Yıldızlardaki z değerleri 0.001 mertebelerindeyken, galaksilerde bu değerler 0.1 mertebelerindedir. Yıldızlar için bu değer saniyede birkaç yüz kilometrelik hızlara denk gelirken, galaksilerde ise bu değer 100 000 km/sn mertebelerindedir. 1980'li yıllarda bilinen en büyük kırmızıya kayma z = 0.46 iken günümüzde z = 6 olan galaksi ve kuazarlar gözlenmektedir. z = 1, 138 000 km/sn'ye karşılık gelmektedir. z = 6 olan cisimler ise ışık hızına oldukça yakın hız değerlerine sahiptir.

Yerel Grup içindeki birkaç galaksi dışında (örneğin Andromeda), bütün galaksilerin kırmızıya kayma gösterdikleri, yani bizden uzaklaştıkları anlaşılmıştır.

Hubble 1929 yılında gözlenen bu galaksilerin bizden uzaklaşma hızları ile uzaklıkları arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir. $V = H_0 \times d$ olarak ifade edilen bu ilişkiye Hubble Kanunu denmektedir. Buradaki V, galaksilerin bizden uzaklaşma hızları yani kırmızıya kaymalardan bulunan $V_r$ hızıdır. d uzaklığı, $H_0$ ise Hubble sabitini ifade etmektedir.

Hubble Kanunu, Samanyolu galaksisinin özel bir konumu varmış gibi anlaşılabilir. Çünkü gözlenen tüm galaksiler, Samanyolu galaksisinden uzaklıkları ile orantılı olarak artan hızlarla uzaklaşmaktadırlar. Ancak Doppler etkisi rölatif bir etki olduğundan,

kırmızıya kaymalardan itibaren bulunan uzaklaşma hızları da rölatif olacaktır. Yani evrendeki tüm galaksilerden gözlenen durum aynı olmalıdır. Bu da tüm galaksilerin Samanyolu galaksisinden uzaklaşmadıklarını, aslında galaksilerin içinde bulundukları ortamın, yani evrenin genişlemekte olduğunu göstermektedir.




**Şekil 1.1.** Galaksilerin uzaklaşma hızları ile uzaklıkları arasındaki ilişkiyi gösteren Hubble kanunu.

Günümüzde galaksi ve galaksi kümelerinin evrendeki dağılımı ve uzaklıkları yani evrenin geniş ölçekteki yapısının ortaya konması, kozmolojinin en önemli problemlerindendir. Galaksilerin evrendeki dağılımlarının ortaya konması ise kırmızıya kaymaların ölçülmesine dayanır. Kırmızıya kaymaların belirlenmesinde kullanılan spektroskopik yöntem en güvenilir ve hassas yöntem olmakla birlikte evrenin geniş ölçekli yapısını ortaya koyabilmek için gereken çok sayıda galaksi ve galaksi kümesinin kırmızıya kaymalarını bulmaya yeterli değildir. Bunun sebebi, galaksilerin spektroskopik gözlemlerinin gözlem zamanı almak bakımından zor oluşudur. Bu nedenle gözlemsel kozmoloji konusunda son yıllarda farklı bir kırmızıya kayma ölçüm yöntemi yaygınlaşmıştır. Buna “fotometrik kırmızıya kayma” yöntemi denilmektedir. Bu yöntem spektroskopik yönteme göre daha az hassas olmakla birlikte, çok kısa süreler içerisinde yüzlerce ve hatta binlerce galaksinin kırmızıya kaymalarının tespitine olanak verdiğinden, çok kullanışlıdır.

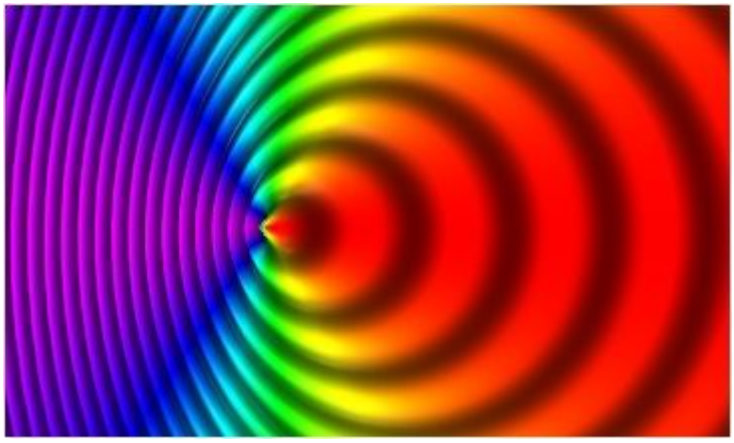
Bu tezin konusu bu yöntemin anlatılması ve bu yöntem ile bulunan kırmızıya kayma değerlerinden itibaren lüminozite fonksiyonunun hesaplanmasıdır.

# 2. GENEL KISIMLAR

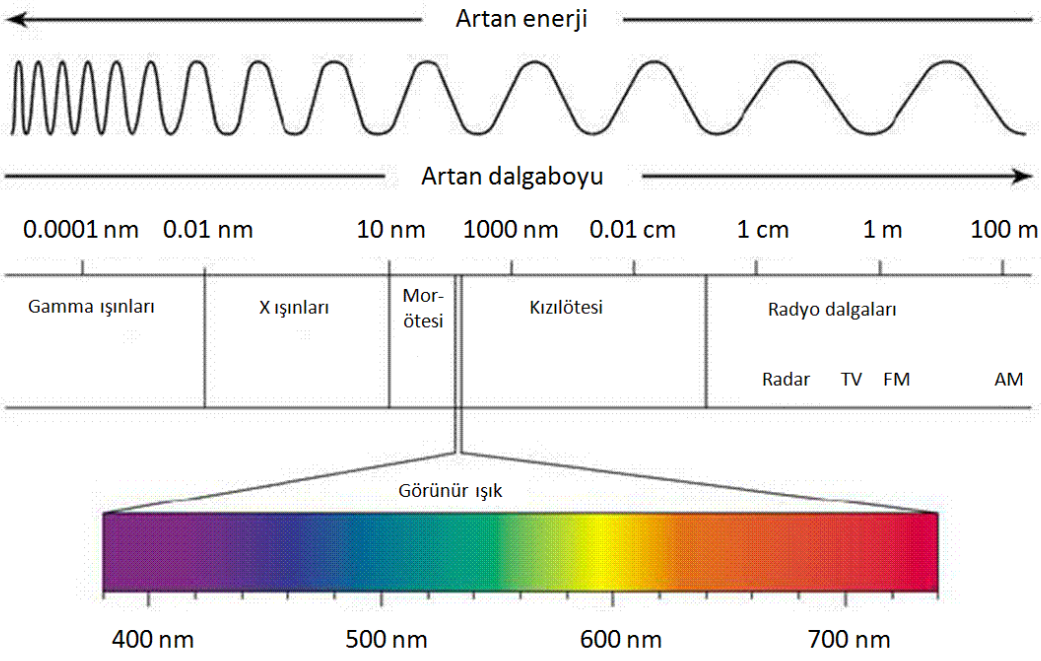
## 2.1. KIRMIZIYA KAYMA

Gökcisimlerinin spektrumlarında görülen çizgilerin laboratuvar dalgaboylarından daha uzun dalgaboylarına, yani elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinin kırmızı tarafına doğru kayması olayına ***kırmızıya kayma*** denir. Kırmızıya kayma temel olarak Doppler olayına dayanmaktadır. Gözlemciye yaklaşan veya uzaklaşan kaynağın spektrumu farklılık gösterecektir. Yaklaşan kaynaklar için Doppler olayı maviye kayma biçiminde gözlenirken, uzaklaşan kaynaklar için bu durum kırmızıya kayma biçimindedir. Hemen belirtmekte fayda var, görünür bölgeden ötede yani kırmızıötesi, mikrodalga ve radyo bölgesinde ışınım yapan kaynaklar için kırmızıya kayma dendiğinde sanki daha yüksek enerjilere doğru bir kayma var gibi algılanmaktadır. Ancak kırmızıya kayma terimi ilk olarak görünür bölgede tespit edildiğinden ve çoklukla bu bölgede kullanıldığından, bu şekilde yerleşmiştir. Aslında anlam olarak kırmızıya kayma denildiğinde, gökcisminin yayınladığı ışınımın daha uzun dalgaboylarına doğru bir kayma gösterdiği anlaşılmalıdır. Görünür bölge ve öncesi için kırmızıya kayma terimi herhangi bir anlam karışıklığı yaratmamaktadır.

Yaklaşan veya uzaklaşan kaynağın spektrumunun maviye veya kırmızıya kayması olayının temeli olan Doppler etkisinde esas olan ışınım kaynağının frekansının değişmesidir. Yaklaşan bir ışık kaynağının (elektromanyetik dalga) sinyalleri daha sık gelecek ve dolayısıyla frekansı artacaktır. Işık hızı sabit olduğundan ($c=\lambda\nu$) bu artışı dengelemek için dalgaboyu küçülecektir ve böylece kaynağın spektrumu mavi (daha yüksek enerjili) bölgeye doğru kayacaktır. Aksine, uzaklaşan kaynak için; frekans azalacak, dalgaboyu büyüyecek yani kaynağın spektrumu kırmızı (daha az enerjili) bölgeye kayacaktır.



**Şekil 2.1.** Hareketli bir kaynağın frekansının iki ayrı gözlemciye göre, artması ve azalması (spektrumun maviye ve kırmızıya kayması).




**Şekil 2.2.** Elektromanyetik spektrum.

Bugün evrendeki cisimlere ait gözlediğimiz kırmızıya kaymalar 4 ayrı mekanizma ile meydana gelmektedirler. Bunlar; Doppler etkisi, rölativistik Doppler etkisi, evrenin genişlemesi ve çekimsel kırmızıya kaymadır. Tablo 2.1'de bu kırmızıya kayma türleri, ilgili metrik sistemleri ve tanımlamaları verilmektedir.

**Tablo 2.1.** Kırmızıya kayma türleri ve tanımlamaları (http://en.wikipedia.org/wiki/Redshifts).

| Kırmızıya Kayma Türü | Örneği Olduğu Metrik | Tanımlanması |
|---|---|---|
| Doppler | Öklidyen metrik | $z = \frac{v}{c}$ |
| Rölativistik Doppler | Minkowski metriği | $1 + z = \frac{1 + v\cos(\theta)/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ |
| Kozmolojik Kırmızıya Kayma | FRW metriği | $z = \frac{a_{şimdi}}{a_{sonra}} - 1$ |
| Çekimsel Kırmızıya Kayma | Schwarzschild metriği | $z = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{2GM}{rc^2}\right)}} - 1$ |

Daha önce de bahsedildiği gibi, Doppler etkisi ile kırmızıya kayma eğer gözlemci ile ışınım kaynağı arasında rölatif bir hareket varsa söz konusudur. Gözlemciden v hızıyla uzaklaşan bir kaynak için kırmızıya kayma ifadesi,

$$z = \frac{v}{c} \qquad (2.1)$$

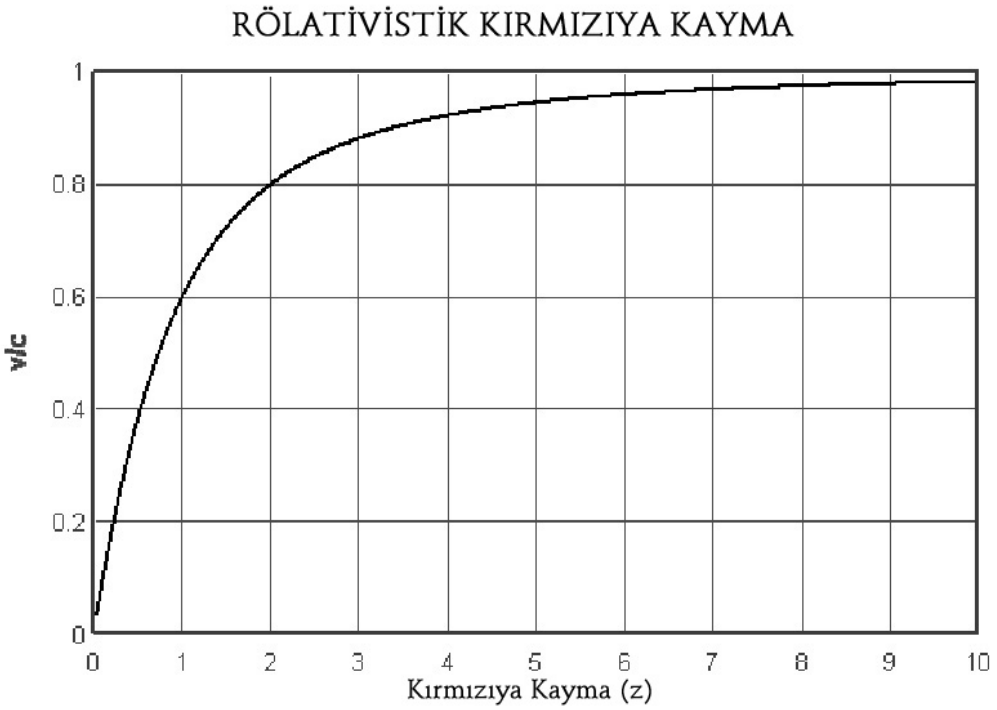
olarak verilmektedir. Burada c ışık hızını belirtmektedir. Kaynağın v hızı ışık hızına yakın değerlerde olduğu zaman Rölativistik Doppler Etkisi gözönüne alınmaktadır. Özellikle z = 0.1'den büyük değerler için rölativistik Doppler etkisi devreye girmektedir. Şekil 2.3'de kaynağın hızı v'nin ışık hızına yaklaşması ile kırmızıya kayma

değerinde meydana gelen değişim görülmektedir. Özel rölativite teorisinin öngördüğü biçimde Lorentz dönüşümü ile bu ifade elde edilebilir:

$$1+z=\frac{1+v\cos(\theta)/c}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \qquad (2.2)$$

buradaki θ kaynağın hareketinin görüm doğrultusu ile arasındaki açıdır. Hareketi tam görüm doğrultusunda olan bir kaynak için (2.2) denklemindeki ifade şu hale gelmektedir:

$$1+z=\sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} \qquad (2.3)$$




**Şekil 2.3** Kaynağın v hızı ile kırmızıya kayma z arasındaki ilişki.

Bilindiği gibi, Einstein Genel Rölativite teorisinde, büyük bir kütlenin yanından geçen ışığın çekimsel etki sonucunda yolundan sapacağını ifade etmişti. Sözü edilen olay ışığın bükülmesi olarak da anılmaktadır ve uzay-zamanın geometrisinin kütle

etkisiyle bozulması sonucunda oluşmaktadır. Aynı etki, ışığın sahip olduğu enerjinin de azalmasına yol açmaktadır. Büyük bir kütle merkezi yakınından geçen ışık bu kütle ile orantılı bir miktar eneji kaybedecek ve dalgaboyu büyüyecektir. Bir başka deyişle spektrumu kırmızıya kayacaktır. Bu şekilde oluşan kırmızıya kaymaya, "gravitasyonel kırmızıya kayma" denmektedir ve (2.4) eşitliği ile ifade edilmektedir. Bu eşitlikte G, Evrensel çekim sabiti, M gravitasyonel alan yaratan kütle, r gözlemcinin koordinatı ve c ise ışık hızıdır.

$$z = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{2GM}{rc^2}\right)}} - 1 \qquad (2.4)$$

Galaksimiz Samanyolu içerisinde, Samanyolu'nun dönmesinden dolayı, Güneş'e yaklaşan ve uzaklaşan kaynaklar bulunmaktadır. Bunun anlamı; kendi galaksimizde gözlediğimiz kaynaklar içinde spektrumları kırmızıya ve maviye kayan gökcisimlerinin varlığıdır. Ancak sözkonusu galaksiler olduğu zaman, neredeyse bütün galaksilerin spektrumlarının kırmızıya kaydığı tespit edilmiştir. Bu da, bütün galaksilerin bizden uzaklaşması olarak yorumlanmaktadır. Andromeda gibi Yerel Grup üyesi birkaç galaksi dışında tüm galaksiler için durum aynıdır. Bu durum, yani bütün galaksilerin Samanyolu'ndan uzaklaşıyor olması, ilk anda gözlenen evrende Samanyolu'nun özel bir konumu varmış gibi algılanmaktadır. Ancak kırmızıya kayma olayının temeli olan Doppler kaymasının mutlak değil rölatif bir ölçüm olduğu gözönüne alındığında, aslında bütün galaksilerden gözlenecek durumun benzer olduğu anlaşılır. Samanyolu'ndan uzaklaşıyor gibi görünen bir galaksiden Samanyolu'na bakıldığında, bu sefer Samanyolu'nun o galaksiden uzaklaşıyor olduğu görülür. Bu olguyu çok daha geniş ölçekli düşündüğümüzde, evrendeki bütün galaksilerin birbirlerinden uzaklaştığı ya da diğer bir deyişle galaksiler arası uzaklığın giderek arttığı anlaşılmaktadır. Bunun kozmolojik yorumu, evrenin genişlemesidir. Gerçekten de kırmızıya kayma dışındaki diğer yöntemlerle yapılan ölçümler, içinde bulunduğumuz epokta evrenin bir genişleme hareketi içinde olduğunu göstermektedir.

## 2.2. FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMA YÖNTEMİ

Galaksilerin kırmızıya kaymalarının klasik yöntemle, yani spektroskopi ile elde edilmesi, gözlemsel çalışmaların en çok zaman gerektiren işlerinden biridir. Bu özellikle galaksiler için doğrudur çünkü galaksilerin spektrumlarında onların şüphesiz ve hızlı bir şekilde kırmızıya kayma değerlerinin ölçülmesine izin veren baskın spektrel yapılar yoktur. Bununla beraber evrendeki madde dağılımını ortaya koymak adına çok fazla sayıda galaksinin kırmızıya kayma değerlerine ihtiyaç oldukça fazladır. Bu nedenle galaksilerin düşük spektrel çözünürlükte kırmızıya kaymalarını doğru olarak elde etmek için fotometrik kırmızıya kayma yöntemi geliştirilmiştir.

Fotometrik kırmızıya kayma yöntemi, galaksilerin belirli dalgaboylarındaki parlaklıklarının ölçülmesine dayanan bir yöntemdir. Bu yöntemde, galaksilerin farklı filtrelerle elde edilen parlaklık değerlerinden itibaren oluşturulan “spektrel enerji dağılımları” (SED) ile farklı Hubble tipleri için oluşturulmuş olan SED’ler karşılaştırılarak galaksilerin kırmızıya kayma değerleri bulunur. (Gwyn 1995)

### 2.2.1. Kısa Tarihçe

Fotometrik kırmızıya kayma yönteminin tarihçesi oldukça eskilere dayanmakla birlike ancak 1990’ların sonlarına doğru yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır.

Yöntemi ilk olarak öneren ve uygulayan Baum’dur (1957, 1962). Baum 9 farklı filtreden oluşan fotometrik sisteminde 3730 A˚’den 9875 A˚’e kadar bir bölgede elde ettiği parlaklıkları kullanmıştır. Virgo kümesinde ve Abell 0801 kümesindeki galaksilere uyguladığı yöntem ile spektroskopik kırmızıya kaymalarla oldukça uyumlu sonuçlar elde etmiştir.

Koo (1985), Baum’dan daha değişik bir yaklaşım sergilemiş ve fotoelektrik yöntem yerine Baum’un çalışmasından 23 yıl sonra fotoğraf plaklarını kullanmıştır. Ancak bu şekilde aynı anda çok sayıda galaksinin kırmızıya kayma değerlerini ölçebilmiştir. 100 galaksiye uyguladığı yöntemde Koo, gözlemsel ve teorik SED’leri karşılaştırmak yerine renk-renk diyagramlarını kullanmıştır. Buna göre çeşitli Hubble tiplerinde ve kırmızıya kaymalarda galaksilerin renk-renk diyagramlarını oluşturmuş ve gözlediği galaksilerin renk değerlerine en iyi uyan eğriyi bulmuştur.

Loh ve Spillar (1986a), 4000 A˚ ve 9500 A˚ aralığını kapsayan 6 filtre ve CCD (Charge Coupled Device) alıcı kullanarak 1000 galaksinin fotometrik kırmızıya kaymasını bulmuşlardır. Baum'un ortaya attığı yönteme en yakın olan bu yöntem, günümüzde kullanılan SED'lerin çakıştırılması yönteminin temelini oluşturmuştur.

Connolly ve ark.'nın (1995b) uyguladığı fotometrik kırmızıya kayma yöntemi ise en basit olan yöntemdir. Buna göre kırmızıya kayma ile fotometrik parlaklıklar arasında lineer veya kuadratik bir ilişki vardır. Bu çalışmayı spektroskopik kırmızıya kaymaları bilinen 370 galaksi ile yapmışlardır.

### 2.2.2. Yöntemin Uygulanması

Galaksilerin kırmızıya kaymaları için kullanılan fotometrik yöntem, üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama galaksilerin parlaklıklarının elde edilmesi, ikinci aşama farklı Hubble tipinden ve farklı kırmızıya kayma değerlerinden model spektrumların elde edilmesi ve üçüncü aşama da galaksilerin parlaklıklarından itibaren bulunan spektrel enerji dağılımları ile model spektrumların çakıştırılmasından ibarettir.

#### *2.2.2.1. Galaksilerin Parlaklıkları ve Spektrel Enerji Dağılımları*

İlk olarak çalışacağımız galaksilere ait fotometrik veriler (parlaklıklar) spektrel enerji dağılımlarına (akılara) dönüştürülmelidir.

Fotometrik kırmızıya kaymaların hesabında kullanılacak olan gözlemsel spektrel enerji dağılımlarını belirleyebilmek için mümkün olduğunca geniş bir dalgaboyu aralığında parlaklıklar ölçülür. Geniş bant bir fotometrik sistemde elde edilen gözlemler kullanılır. Bu çalışmada Sloan fotometrik sistemi kullanılacağından, ilgili filtreler u, g, r, i ve z'dir. Sloan fotometrisindeki ugriz filtrelerinin merkezi dalgaboyları ($\lambda_{cen}$), yarı geçirgenlikleri (FWHM) ve sıfır nokta akı ($F_0$) değerleri **Tablo 2.2**'de verilmiştir.

**Tablo 2.2.** Sloan ugriz filtrelerinin merkezi dalgaboyları ve yarı geçirgenlik değerleri.

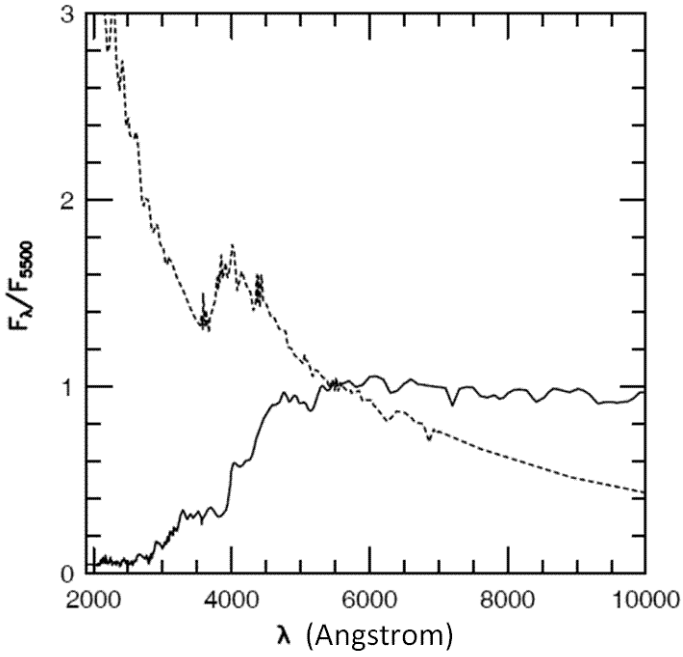
| **FİLTRE** | **$\lambda_{cen}$ (A°)** | **FWHM (A°)** | **$F_0$ ($10^{-12}$ W $A^{-1}$ $m^{-2}$)** |
|---|---|---|---|
| u | 3551 | 567 | 3.67 |
| g | 4686 | 1387 | 5.11 |
| r | 6165 | 1373 | 2.40 |
| i | 7481 | 1526 | 1.28 |
| z | 8931 | 950 | 0.78 |

Gözlemsel parlaklık değerleri m = -2,5 log ($F/F_0$) formülüyle akı değerlerine dönüştürülür. Sloan fotometrisi için geçerli olan $F_0$ değerleri Gwyn (2001)'den alınmıştır. Sonuçta elde edilen akı değerleri dalgaboyuna göre çizdirilerek galaksinin spektrel enerji dağılımı bulunmuş olur.

*2.2.2.2. Model Spektrumlar*

Galaksilere ait model spektrumlar Bruzual (1985) ve Pence (1976) çalışmalarından bulunabilir. Ayrıca Kennicutt (1992) oldukça geniş bir gözlemsel atlas vermiştir. Farklı kaynaklardan elde edilen model spektrumlar arasında pek fark olmadığı görülmüştür. **Şekil 2.4**'de Bruzual (1985)'den alınan iki galaksi tipine ait (eliptik ve düzensiz) model spektrumlar verilmiştir. Model spektrumlar çizgilerden arındırılmış olarak kullanılmaktadır.

Galaksilerin model spektrumlarını oluşturmada esas alınan bir yaklaşım da; bir galaksinin temel olarak bulge ve diskten oluştuğunu kabul etmektir. Bütün galaksiler uygun oranlarda bulge ve diskin birleşiminden oluşmuş varsayılabilir. Bulge; yaşlı, kırmızı yıldızları içerir ve yıldız oluşumu göstermez. Disk ise genç ve mavi yıldızlardan meydana gelmektedir ve yeni yıldız oluşumu sürekli devam eder. Eliptik galaksiler sadece bulge'dan ibaretken, düzensiz galaksiler de sadece diskten ibarettirler. Spiral galaksiler ise bulge ve diskin uygun oranda karışımları olarak kabul edilebilirler. Yani bütün tipteki galaksilerin spektrumlarını oluşturmak için bir eliptik ve bir düzensiz galaksi spektrumu karıştırmak yeterlidir. Connolly ve ark. (1995a), bu şekilde oluşturulan galaksi spektrumlarının %1 hata ile elde edilebileceğini göstermiştir.



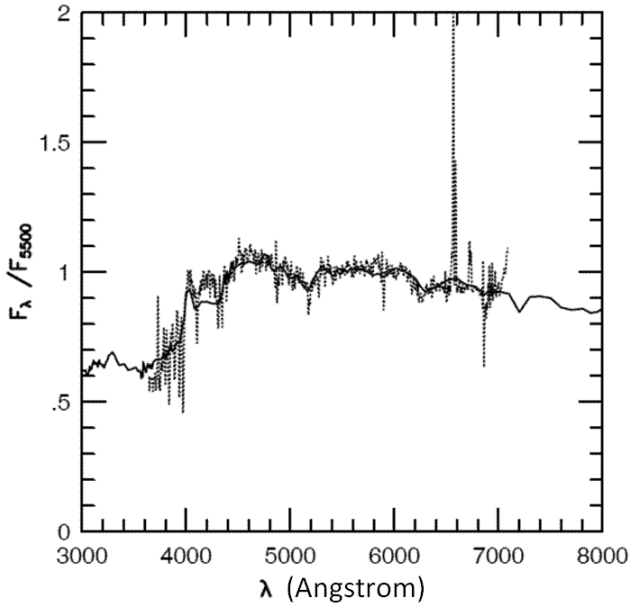

**Şekil 2.4.** Bruzual (1985)'ten alınan iki galaksi için model spektrum. Düz çizgi eliptik galaksinin spektrumunu, kesikli çizgi ise düzensiz galaksinin spektrumunu göstermektedir.

Bu yaklaşımı ifade etmek için bir m parametresi tanımlanmaktadır ve galaksinin bulge bölgesinden gelen rölatif ışık miktarı $f_e$'ye eşit kabul edilmektedir. $f_s$ de diskten gelen rölatif ışık miktarı olmak üzere $f_e + f_s = 1$ olsun. Buna göre eliptik galaksiler için $f_e = 1$ (m = 1) ve $f_s = 0$ iken düzensiz galaksiler için $f_s = 1$ ve $f_e = 0$ (m = 0) olmaktadır. Bir spiral galaksi için, örneğin m = 0,3 olsun. $f_e = 0{,}3$ ve $f_s = 0{,}7$ olacaktır. **Tablo 2.3**'de Gwyn (1995) tarafından verilen galaksilerin Hubble tiplerine karşılık gelen m, $f_e$ ve $f_s$ parametreleri yer almaktadır.

**Tablo 2.3.** Galaksilerin Hubble tiplerine karşılık gelen m, $f_e$ ve $f_s$ parametreleri.

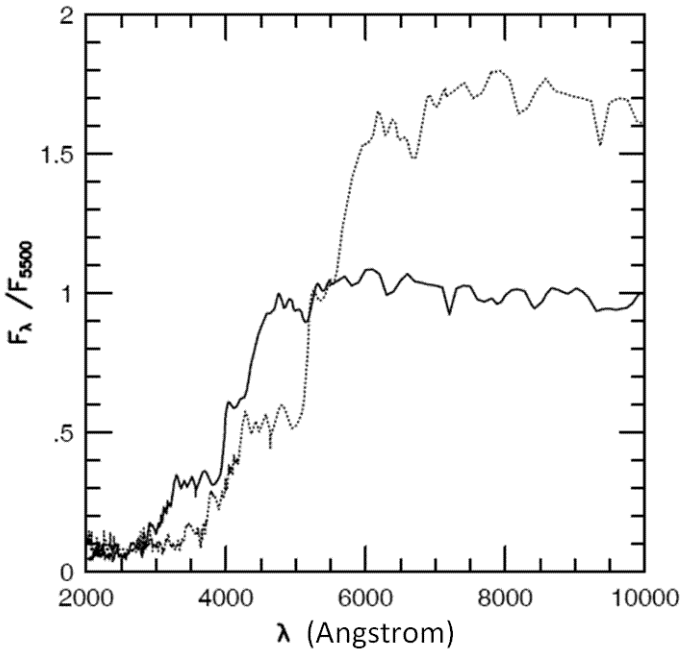
| **Galaksi tipi** | **m** | **$f_e$** | **$f_s$** |
|---|---|---|---|
| E / S0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| Sa | 0.9 | 0.9 | 0.1 |
| Sb | 0.7 | 0.7 | 0.3 |
| Sc | 0.4 | 0.4 | 0.6 |
| Irr | 0.0 | 0.0 | 1.0 |

**Şekil 2.5**'de de, Kennicutt (1992)'den alınmış Sb galaksisi NGC 3627'nin gözlenen spektrumu ve $f_e$ = 0,7 olan bir eliptik ile $f_s$ = 0,3 olan bir düzensiz galaksi spektrumunun (Şekil 2.4'deki spektrumlar) birleşiminden oluşan model spektrum görülmektedir. Bu iyi uyum, bütün galaksi spektrumlarının iki spektrumun kombinasyonu ile oluşturulabileceği düşüncesini desteklemektedir. Bu şekilde E/S0, Sa, Sb, Sc ve Irr galaksileri için model spektrumlar oluşturulabilir. Bu yöntemde galaksi spektrumlarındaki çizgiler hesaba katılmamaktadır. Spektrumdaki çizgiler dikkat çekmekle beraber, geniş bantta yapılan bir çalışmada ortalama akıya katkıları %2 civarındadır (Gwyn, 1995).




**Şekil 2.5.** İki galaksi spektrumunun birleşimi ile oluşturulmuş model spektrum (düz çizgi) ve Kennicutt (1992)'den alınan NGC 3627 galaksisinin spektrumu (noktalı çizgi).

Model spektrumların üretilmesinde ikinci önemli olan nokta kırmızıya kayma değerleridir. Temel olarak dalgaboyu ve akı şeklinde elimizde olan spektrum verisini herhangi bir kırmızıya kayma değerindeki spektruma dönüştürmek için dalgaboyu değerleri (1+z) ile çarpılır ve daha sonra spektrum yeniden normalize edilir. **Şekil 2.6**'da bu yöntemle z = 0'dan z = 0,3'e kaydırılmış bir eliptik galaksi spektrumu görülmektedir.

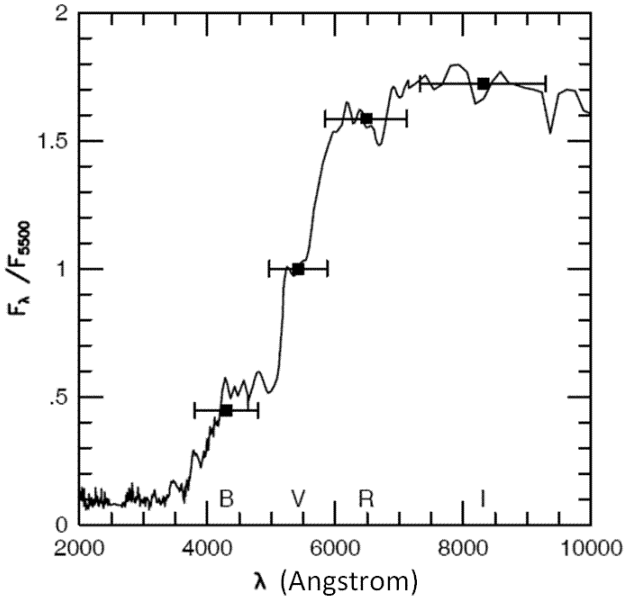



**Şekil 2.6.** z = 0'dan (düz çizgi) z = 0.3'e (kesikli çizgi) kaydırılmış bir eliptik galaksi spektrumu.

Son olarak galaksilerin gözlemsel SED'leri ile karşılaştırılabilmesi için model spektrumlar, gözlemin yapıldığı filtrelerin merkezi dalgaboylarına indirgenirler. Bunun için model spektrum filtrenin dalgaboyu boyunca integre edilir ve ortalaması alınır:

$$F_\lambda = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} T(\lambda) d\lambda}{\lambda_2 - \lambda_1} \qquad (2.5)$$

Burada $F_\lambda$ herhangi bir filtredeki akı değeridir. $\lambda_1$ ve $\lambda_2$ ise filtrenin alt ve üst sınırlarıdır. $T(\lambda)$ ise dalgaboyuna bağlı olarak değişen model spektrumdaki akıdır. **Şekil 2.7**'de, bu şekilde BVRI filtrelerine indirgenmiş model spektrum görülmektedir. Yatay hata çubukları sözkonusu filtrelerin geçirgenlik aralıklarıdır.

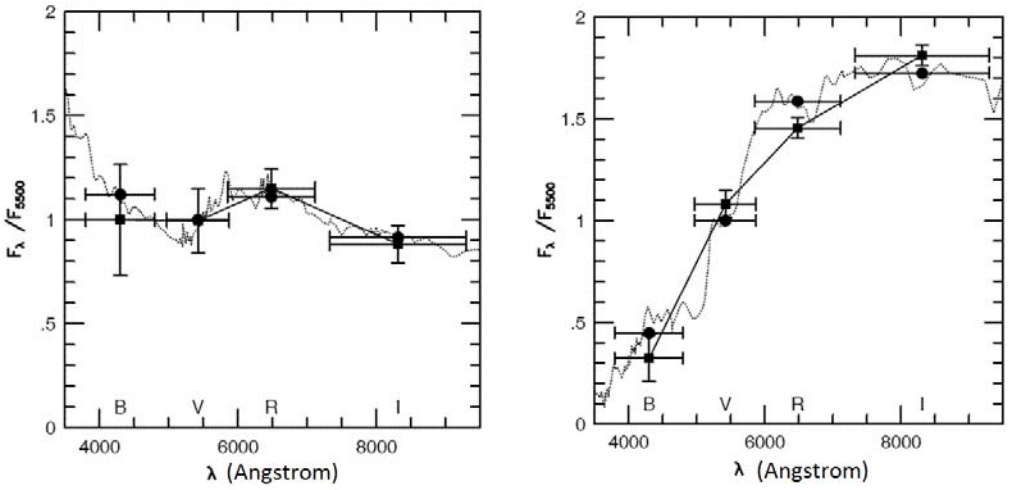



**Şekil 2.7.** Filtre merkezi dalgaboyuna indirgenmiş model spektrum örneği.

Model spektrum oluşturmada yapılan tüm bu işlemler, yani; galaksilerin morfolojilerinin interpole edilmesi, spektrumların kırmızıya kaydırılması ve sonuç spektrumunun filtrelerin merkezine indirgenmesi işlemleri geniş bir morfoloji ve kırmızıya kayma aralığında yapılmaktadır. m parametresi m = 0 ile m = 1 arasında $\Delta m$ = 0,01'lik adımlarla ve z değerleri de z = 0 ile z = 1 arasında $\Delta z$ = 0,01'lik aralıklarla interpole edilmektedir. Bu şekilde model spektrumlar için 10201 kombinasyon oluşmaktadır.

*2.2.2.3. Model Spektrumlar ile Gözlemsel SED'lerin Çakıştırılması*

Gözlemlerden itibaren elde edilen SED'ler ile oluşturulan model spektrumlar karşılaştırılarak, $\chi^2$ yöntemine göre en iyi uyum sağlayan model spektrum, verisi kullanılan galaksinin model spektrumu olarak kabul edilir. Buna göre model spektrumu belirleyen m ve z parametreleri de elde edilmiş olur. Bu şekilde karşılaştırılıp, en iyi uyumun sağlandığı iki galaksi için örnek **Şekil 2.8**'de verilmiştir.



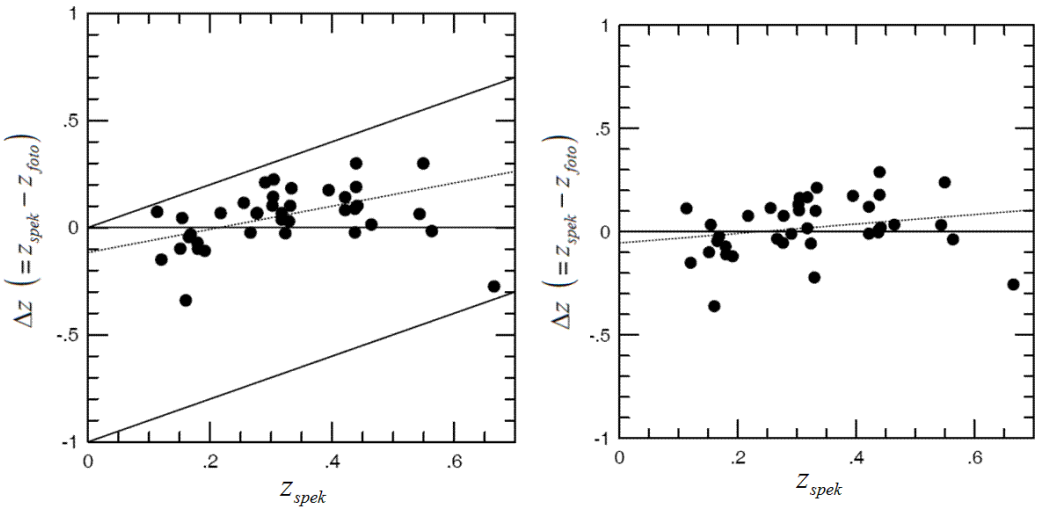

**Şekil 2.8.** Model spektrum (noktalı çizgi) ile gözlemsel spektrumun (düz çizgi) karşılaştırıldığı iki galaksi örneği. Dikine hata çubukları fotometrik hataları, yatay hata çubukları da filtrelerin geçirgenlik aralıklarını temsil etmektedir.

### 2.2.3. Fotometrik Kırmızıya Kayma Yönteminin Değerlendirilmesi

Fotometrik kırmızıya kayma yöntemi ile bulunan galaksi kırmızıya kaymaları ile spektroskopik kırmızıya kaymalar arasındaki farklar tolere edilebilir mertebelerdedir. $\Delta z = 0{,}052$ ve $\sigma(\Delta z) = 0{,}127$ (Gwyn, 1995).

Bu yöntemin tek tek galaksilerin kırmızıya kaymalarını bulmak için değil, çok sayıda galaksinin kırmızıya kaymalarını bulmak için uygun olduğu hatırlanırsa, bu $\Delta z$ farkları önemini yitirecektir. Çok sayıda galaksinin kırmızıya kaymalarını elde etmek birçok kozmolojik bilgiye ulaşılmasını sağlamaktadır.

Fotometrik ve spektroskopik z değerleri arasındaki farklar büyük ölçekli çalışmalarda, taramalarda (survey) çok önemli olmamakla beraber, $\Delta z$ ile ilgili şöyle bir bulgu vardır: $\Delta z$ ($z_{spek} - z_{foto}$) değerlerini spektroskopik kırmızıya kayma değerlerine göre çizdirirsek, artan z ile $\Delta z$ değerinin de artma eğiliminde olduğu görülür. Bunun nedeni artan z ile birlikte galaksilerin evriminin de işin içine girmesidir. **Şekil 2.9**'da $z_{spek}$ - $\Delta z$ grafiğinin orjinal halini (soldaki grafik) ve evrimsel etkilerin hesaba katılması ile düzeltilmiş hali (sağdaki grafik) görülmektedir. Düzeltilmiş haldeki grafikte Yoshii ve Takahara (1988)'in çalışmasından alınan sonuçlar yer almaktadır.




**Şekil 2.9.** Spektroskopik ve fotometrik kırmızıya kaymalar arasındaki fark (Δz) ile spektroskopik kırmızıya kayma arasındaki grafik. Soldaki grafik evrimsel etkilerin hesaba katılmadığı hali, sağdaki ise Yoshii ve Takahara (1988) tarafından düzeltilen hali göstermektedir.

### 2.2.4. Fotometrik Kırmızıya Kayma Yöntemi Kullanılan Önemli Projeler

1996 yılında Hubble Derin Alan (Hubble Deep Field) Kuzey ve Güney görüntülerinin (HDFN, HDFS) kullanıma açılması ile fotometrik kırmızıya kayma yöntemi önem kazanmıştır. HDFN ve HDFS'deki galaksilerin kırmızıya kaymaları üzerine birçok çalışma yayınlanmıştır. (Gwyn ve Hartwick, 1996; Fernandez-Soto, Lanzetta, Yahil, 1999; Fontana ve ark., 2000)

Hubble Derin Alan görüntülerinin yanısıra, yaygınlaşmaya başlayan büyük tarama projeleri de fotometrik kırmızıya kayma yöntemi ile yapılacak çalışmalar için ideal bir ortam sağlamışlardır. Bu tarama projeleri çok renk fotometrik verileri topladıklarından, bu veriler fotometrik kırmızıya kaymaların hesaplanmasında kullanılmaktadırlar. Dolayısıyla "survey" niteliğinde olan bütün projeler kapsamında alınan veriler mutlaka bu amaçla kullanılmaktadırlar.

Bu tip tarama projelerinden en ünlüsü ve günümüzde en çok kullanılanı, Sloan Digital Sky Survey (SDSS)'tir. SDSS'de beş geniş bant filtre ile fotometrik ve

spektroskopik veriler toplanmaktadır. Yaklaşık 23. kadire kadar ulaşan limitiyle kırmızıya kayma çalışmaları için oldukça uygundur.

SDSS projesinin dışında, ESO Imaging Survey, Garching-Bonn Deep Survey (GABODS), ESO NTT Deep Field, 2MASS Survey, Canada France Hawai Telescope Legacy Survey (CFHTLS), Large Synoptic Survey Telescope (LSST), Hubble NICMOS Deep Field, Red-Sequence Cluster Survey (RCS), Chandra Deep Field (CDF), Canada-France Deep Fields, Las Campanas Infrared Survey, Subaru Deep Survey gibi projelerde de fotometrik kırmızıya kayma yöntemi ile kırmızıya kaymalar hesaplanmakta ve bu kırmızıya kayma değerlerinden hesaplanan uzaklıklar kullanılmaktadır.

## 2.3. LÜMİNOZİTE FONKSİYONU

Galaksilerin (optik) lüminozite fonksiyonlarının tanımı, yıldızlar ve küresel kümeler gibi diğer gökcisimlerinin tanımına benzer. Lüminozite fonksiyonu (LF), verilen bir lüminozite için belirli bir hacimdeki galaksilerin sayısıdır. Lüminozite herhangi bir banttaki toplam parlaklığı ifade eder (U, B, V, R, I gibi). Bununla beraber, geçmişte de çok kullanıldığından, fotoğraf plaklarının duyarlılığının maksimum olduğu B ve R bantları LF çalışmalarında ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Yeni çalışmalarda modern geniş alan CCD kameraları ve kızılötesi alıcılar da kullanılmakta ve galaksilerin diğer dalgaboylarındaki LF'leri araştırılmaktadır.

Galaksilerin toplam görsel lüminoziteleri geniş bir aralığa yayılır. En uç noktalarda parlaklığı $5x10^{10}$ $L_\odot$ ($M_B$ ~ -22) olan dev yıldız sistemleri, Virgo kümesindeki dev eliptik galaksi M87 ya da bundan $5x10^5$ kez daha sönük olan ve Yerel Grup'ta bulunan Draco ve Ursa Minor cüce eliptik galaksileri, ki parlaklıkları $M_B$ ~ -7,5 civarında olup kütleleri bir anakol yıldızı ile karşılaştırılabilir bulunmaktadır.

Galaksilerin LF'leri kozmoloji için olduğu kadar galaksi oluşumu ve evrimi konularında da oldukça önemli bir bilgi kaynağıdır. Lüminozite fonksiyonu kullanılarak bilgi edinilebilen en önemli konular şunlardır:

i) İlkel yoğunluk dalgalanmaları,
ii) Maddeyi ışınıma dönüştüren fiziksel süreçler (kütleçekimsel büzülme, soğuma ve yıldız oluşumu gibi),
iii) Gel-git etkileri ve çarpışmalar gibi süreçlerle galaksilerin yok olup-üretilmeleri veya morfolojilerinin değişme süreçleri.

Lüminozite fonksiyonu sayesinde, evrendeki lüminozite ve baryon yoğunlukları tahmin edilebilmekte, galaksi oluşum ve evrim modelleri test edilebilmektedir.

### 2.3.1. Kısa Tarihçe

Lüminozite fonksiyonu hakkında ilk sonuç, 1930'ların ortasında, Humason'un çalıştığı Shapley-Ames galaksilerinin hız-görünen parlaklık ilişkisinde küçük bir saçılma gösterdiği bilgisinden hareketle Edwin Hubble (1936) tarafından yayınlandı. Evrenin lineer olarak genişlemesi olarak yorumlanan (Hubble Kanunu – hızların uzaklıklarla orantılı olması) bu gözlemler, ayrıca galaksilerin mutlak parlaklık dağılımlarının (lüminozite fonksiyonu) çok geniş bir aralıkta saçılmadığı sonucunu da vermiştir. Duyarlılıktan uzak olmakla birlikte Hubble'ın sonuçları, merkezi $M_B \sim -18$'de olan ve $\sigma \sim 0.9$ olan bir Gauss profili belirtmekteydi. 1942 yılında Fritz Zwicky tarafından çan şeklindeki bir LF düşüncesi ortaya atıldı. Zwicky termodinamik hesaplamalarla (enerji korunumunun ilkeleri, Virial teoremi ve Boltzmann prensibi) çok sayıda düşük kütleli, sönük galaksilerin varlığını ve dolayısıyla sönük lüminozitelere doğru LF'de dik bir artış olacağını öngörmüştü. O zamanlarda bu cüce galaksilerin çoğu tespit edilmemiş olmasına rağmen, Zwicky'nin fikirleri, Yerel Grup'ta keşfedilen birkaç sönük cüce galaksi ile oldukça destek bulmuştur.

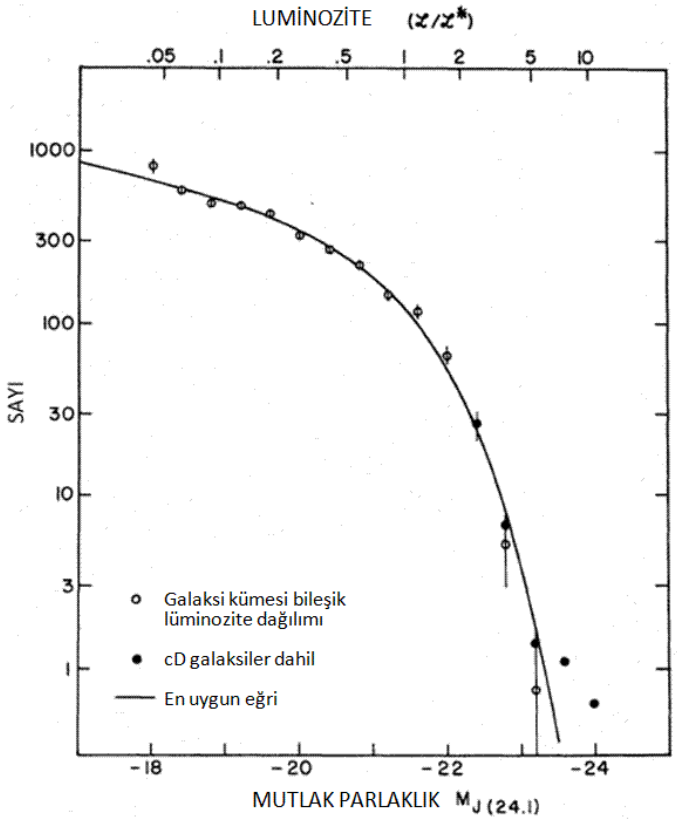
Bu tartışmalı tarihsel sonuçlar LF çalışmalarının önüne iki önemli problemi koymuştur: seçim etkisi ve tamlık. Hubble'in esas amacı kırmızıya kaymaları ölçmekti; dolayısıyla yüksek yüzey parlaklıklı eliptikler (E), merceksiler (S0) ve spiraller (Sp) üzerinde yoğunlaştı. Böylelikle evrende sayıca baskın olan galaksi tipi, bugün zorlukla görülen düşük yüzey parlaklıklı cüce düzensizler (dIrr) ve cüce eliptik (dE) galaksiler, Hubble'in hesaplamalarına katılmamış oldu. Diğer yandan Zwicky'nin teorik sonuçları,

cüce galaksiler az bilinmekle birlikte yavaş yavaş keşfedildiklerinden, çok daha iyi bir şekilde manzarayı yansıtmaktaydı.

### 2.3.2. Schechter Fonksiyonu

Press & Schechter (1974) tarafından öne sürülen ve galaksilerin oluşumu için bir teorik yaklaşımdan ilham alan; verilere iyi uyum sağlayan, Schechter (1976) lüminozite fonksiyonunun analitik ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\phi(L)dL = n^*(L/L^*)^{\alpha}\exp(-L/L^*)d(L/L^*) \qquad (2.6)$$




**Şekil 2.10.** Schechter'in oluşturduğu lüminozite fonksiyonu

Gözlemsel olarak ifade edilen bir LF için şu maddelerin belirtilmesi gerekir:

- Lüminozite fonksiyonunun belli bir Hubble tipi için mi yoksa tüm tipler üzerinden bir integrasyon mu olduğu,

- Lüminozite fonksiyonunun alan galaksileri için mi yoksa küme üyesi galaksiler için mi olduğu (ya da hangi ortam için olduğu),
- $H_0$'ın değeri; çünkü Φ, $h^3$ ile değişmektedir. L veya M, $h^{-2}$ ile değişmektedir ($h = H_0 / (100$ km/sn/Mpc)).

Matematiksel olarak incelendiğinde fonksiyon 2 kısımdan oluşmaktadır:

1) Φ'nin $L^{\alpha}$ ile orantılı olduğu ve düşük lüminozitelerde baskın olan ($L << L^*$) kuvvet kanunu: $\alpha \sim -1$ olduğunda L azaldıkça LF artar (sönük galaksilerin sayısının fazla olması). Genel olarak fonksiyonun sönük ucunun durumu $\alpha > -1$ için azalan, $\alpha \sim -1$ için düz ve $\alpha < -1$ için de artan olmaktadır.
2) Φ'nin $e^{-L}$ ile orantılı olduğu büyük lüminozitelerde bir kesiklik görülür.

Fonksiyonda geçen 3 parametre vardır:

- $n^*$ = normalizasyon terimi. Bazen $\Phi^*$ olarak da verilebilir. $Mpc^3$ başına sayı olarak genel galaksi yoğunluğunu ifade eder. Değeri ortalama $8x10^{-3}$ $Mpc^{-3}$'tür.
- $\alpha$ = Lüminozite fonksiyonunun sönük ucunun eğimini belirtir. Genellikle negatif bir sayıdır. Ortalama olarak -0,8 ile -1,3 arasında değişir. Negatif olmasının anlamı düşük lüminozitelerde galaksi sayısının fazla olmasıdır/artmasıdır.
- $L^*$ = Karakteristik galaksi lüminozitesidir. Bir $L^*$ galaksisi parlak bir galaksidir. Kabaca lüminozitesi Samanyolu ile karşılaştırılabilir. $L < 0{,}1\ L^*$ olan bir galaksi cüce galaksidir. Değeri $1{,}4 \times 10^{10}\ L_\odot$'dir.

Bunların dışında Schechter fonksiyonu çoğunlukla lüminozite yerine aynı anlamda kullanılabilecek mutlak parlaklık (M) cinsinden de yazılabilir:

$$\phi(M)dM = (0.4\ln 10)n^*[10^{0.4(M^*-M)}]^{(1+\alpha)} \exp[-10^{0.4(M^*-M)}]dM \qquad (2.7)$$

$M^*$ burada karakteristik mutlak parlaklık değeridir.

### 2.3.3. Lüminozite Fonksiyonunu Belirleme Yöntemleri

Lüminozite fonksiyonu galaksi kümeleri ve alan galaksileri için farklı yollarla belirlenebilir. Her iki tür için de dikkat edilmesi gereken noktalar aşağıda özetlenmiştir:

*2.3.3.1. Galaksi Kümeleri İçin*

Doğalarından dolayı galaksi kümeleri, LF çalışmalarının yürütülebileceği en uygun yerlerdir. Kümeler, hepsi aynı hacimde bulunan yüzlerce farklı tipten galaksiyi içlerinde barındırmaktadırlar. Dolayısıyla kümenin d uzaklığı (genellikle küme üyesi yeterli sayıda galaksinin uzaklık ölçümünün ortalaması olarak verilir); görünen parlaklıkları, mutlak parlaklığa (lüminoziteye) dönüştürmek için kullanılabilir ( $M = m - 5 \log [D(Mpc) ] - 25$ ). Arka plandaki ve ön plandaki cisimlere göre küme üyelerinin sağlıklı olarak belirlenebilmesi, kümenin hem gerçek uzayda hem de hız uzayında iyi bir şekilde izole olmasına bağlıdır. Böylece küme üyesi olmayan cisimlerin karışma oranı, minimum düzeyde olabilir. Parlak E, S0 ve Sp galaksiler hız verilerine ve morfolojik kriterlere göre belirlenmektedir. Sönük parlaklıklarda, yeteri kadar hız verisi bulunmadığından bütün galaksiler cüce gibi görünür. Bu galaksilerin sayıları, bir kümedeki galaksilerin sayılarının kümenin yanındaki alandaki galaksi sayıları ile karşılaştırılması yoluyla istatistik olarak belirlenir. İki sayım arasındaki fark, kümenin lüminozite fonksiyonunu vermektedir. Ancak alan galaksilerinin heterojen dağılımları bu yöntemi zorlaştırmaktadır. Alternatif olarak cüce galaksilerin tek tipli morfolojik görünüşleri (özellikle dE galaksileri), hangi cisimlerin kümenin üyesi olduğunun anlaşılmasında mükemmel bir araç olmaktadırlar. Bu yöntemin tek sakıncası, yüksek açısal çözünürlükteki galaksi görüntülerine ihtiyaç duyuyor olmasıdır. Bu nedenle bu yöntem sadece yakın galaksi kümelerine uygulanabilir.

Buna göre; lüminozite fonksiyonu elde edilecek kümenin galaksileri, parlaklıklarına göre aralıklara bölünür. Elde edilen $\phi(m)$'den, kırmızıya kaymalar (uzaklıklar) yardımıyla $\phi(M)$'e geçilir. Schechter fonksiyonu verilere fit edilerek, en küçük $\chi^2$ değerinin sağlandığı durumda $M^*$ ve $\alpha$ elde edilmiş olur.

*2.3.3.2. Alan Galaksileri İçin*

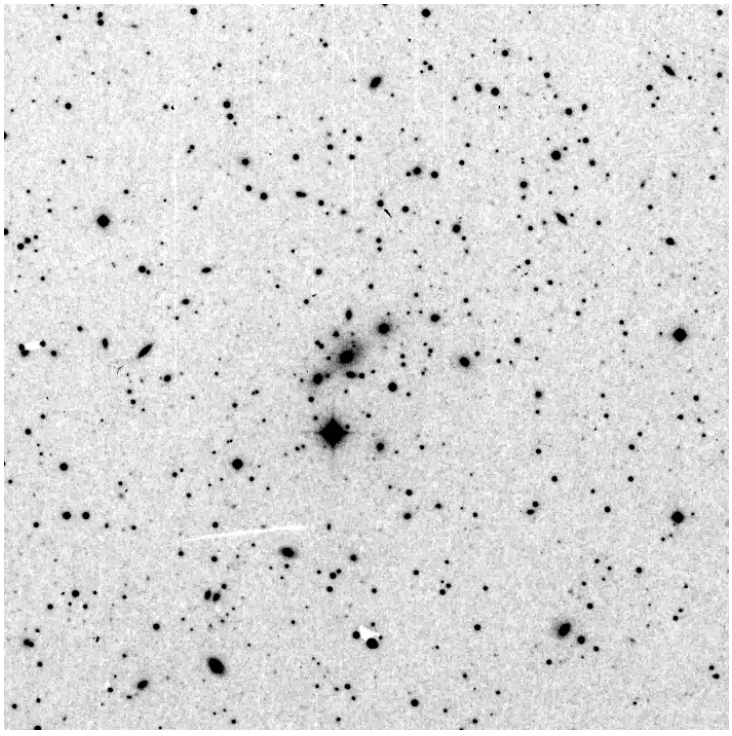
Alan galaksilerinden lüminozite fonksiyonunun ölçülmesi çok daha zor bir konudur. Bütün galaksilerin %80'i zengin galaksi kümelerinin dışında, galaksi yoğunluğunun 100-1000 oranında azaldığı yerlerde bulunmaktadırlar. Galaksilerin önemli bir temsil oranına ulaşmak için çok geniş hacimler taranmalıdır. Bu amaçla panaromik ve kalem-ucu gibi nokta gökyüzü taramaları, uzun poz süreleri verilerek yapılmaktadır. Böylece düşük yüzey parlaklıklı galaksilere ve büyük uzaklıklarda parlak yıldız sistemlerine ulaşmak mümkün olmaktadır. Kırmızıya kaymalar, uzaklık bilgisini sağladıklarından, alan galaksilerinden itibaren yürütülen LF çalışmalarının omurgası olmaktadırlar. Hızların bir uzaklık belirteci olarak kullanılmaları, alan galaksileri için kütleçekimsel etkilerle bozulan hızlar geçerli olmadığından, mümkündür. Bu ölçülen hızlar, büyük ölçekli hareketler için düzeltilmeleri gerekmesine rağmen, esas olarak Hubble genişlemesinden kaynaklanmaktadırlar. Alan taramaları genellikle spektrografların hassaslık limitlerine dayanan bir parlaklık limiti ile sınırlanmıştır. Bu da, bünyesel olarak parlak galaksilerin, büyük uzaklıklardan görülebildiklerinden, kullanılan örnekleme içinde her zaman baskın olmaları anlamına gelir. Sönük lüminozitelere doğru taranan hacim küçülmekte ve galaksi sayısı ciddi biçimde azalmaktadır. Örneğin, Küçük Macellan Bulutu'nun tespit edilebilme hacmi M87 dev eliptik galaksisinden 4000 kat daha azdır. Bunun tek nedeni, toplam parlaklıklarındaki farktır. Bu seviyede, üç boyutlu galaksi dağılımlarındaki düzensizlikler, ortalama alınarak giderilemez ve sonuçlarda bir hataya sebep olurlar. Parlaklık limitli galaksi örnekleri için çeşitli LF belirleme yöntemleri mevcuttur (Jerjen, 2006). Bununla beraber, LF'nin sönük ucunda yapılması gereken temel düzeltmeler, LF'nin şeklinin çok kesin olmamasına neden olmaktadırlar.

# 3. VERİLER VE YÖNTEM

## 3.1. ABELL 2040 GALAKSİ KÜMESİ

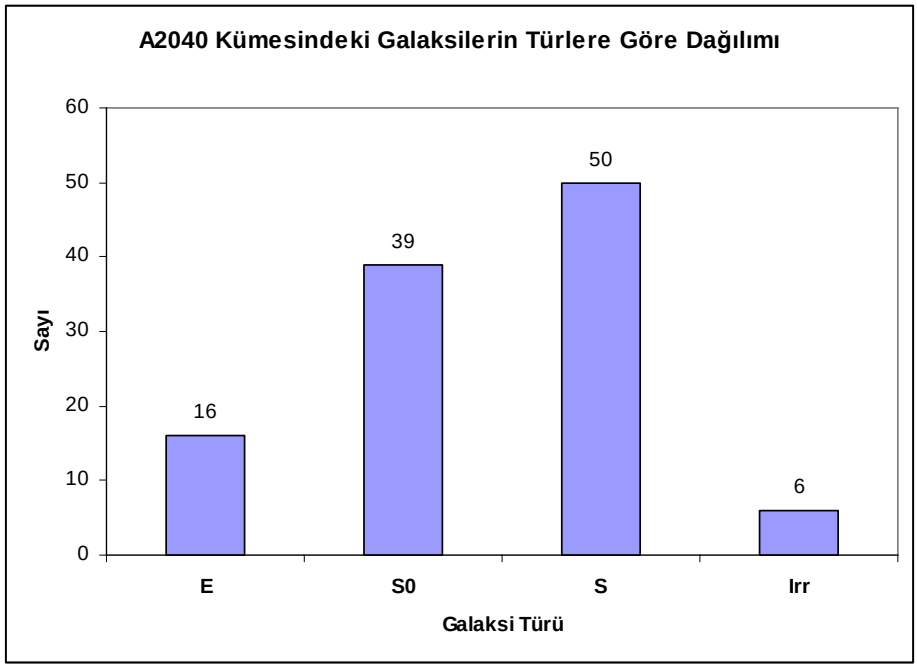
Abell 2040 galaksi kümesi George O. Abell (1958) tarafından tespit edilmiştir. Abell “Distribution of Rich Clusters of Galaxies” adlı makalesinde 1682 galaksi kümesinin tespitini yapmıştır.

Bu tez çalışmasında Dressler’in (1980) verdiği galaksi kümeleri kataloğu kullanılmıştır. Buna göre Dressler’in verdiği katalogda Abell 2040 kümesinin 111 galaksisi vardır. Bu üye sayısıyla A2040 galaksi kümesi Abell zenginlik (richness) sınıflamasında 2. sınıfa girmektedir. Bautz-Morgan sınıflamasına göre III. sınıfa, yani merkezinde baskın (cD) bir galaksi olmayan sınıfa girmektedir (Bautz ve Morgan, 1970). Merkezi yoğunluğun çok az olması dolayısıyla A2040 daha çok düzensiz bir galaksi kümesi olarak nitelendirilebilir. Abell 2040 galaksi kümesi nispeten yakın bir kümedir. Kırmızıya kayması z = 0,046 (Struble ve Rood, 1999) olan kümenin uzaklığı, 197,1 Mpc’dir.

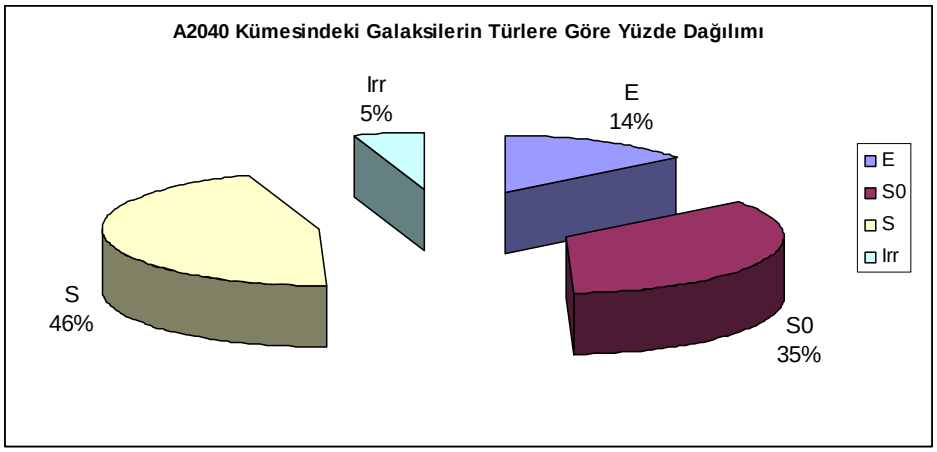


**Şekil 3.1.** Abell 2040 kümesinin NASA Extragalactic Database (NED)’den alınan görüntüsü.

Abell 2040 kümesindeki galaksilerin türlere göre dağılımı **Şekil 3.2** ve **Şekil 3.3**'de gösterilmiştir. Buna göre kümenin 111 galaksisinin, 16'si eliptik, 39'u merceksi, 50'si spiral ve 6'sı düzensiz galaksidir. Bu galaksilerin sayılarının yüzde karşılıkları sırasıyla, %14.4, %35.1, %45, %5.4'tür.




**Şekil 3.2.** Abell 2040 kümesindeki galaksilerin türlere göre dağılımı.




**Şekil 3.3.** Abell 2040 kümesindeki galaksilerin türlerinin yüzde dağılımı.

Abell 2040 kümesine ait olan galaksilerin detaylı bir listesi **Tablo 3.1**'de verilmiştir. Tablo 3.1 oluşturulurken, Dressler'in (1980) çalışması, SDSS ve NED veritabanları kullanılmıştır. Birinci sütunda galaksilerin Dressler'de (1980) verilmiş sıra

numaraları, ikinci sütunda SDSS isimleri, üçüncü sütunda varsa diğer adlandırmaları, dördüncü sütunda rektasansyonları, beşinci sütunda deklinasyonları ve altıncı sütunda tipleri yeralmaktadır.

Bu tez çalışmasında çalışılan Abell 2040 galaksi kümesinin üye galaksilerinin SDSS ve alternatif ikinci adları, rektasansyon, deklinasyon ve tip bilgileri Tablo 3.1'de verilmiştir. Birinci sütunda Dressler (1980) tarafından verilmiş sıra numarası yeralmaktadır. 2MASX, 2 Micron All Sky Survey Extended Objects kataloğunu, LEDA ise Lyon Extragalactic Database kataloğunu ifade etmektedir.

**Tablo 3.1.** Abell 2040 kümesindeki galaksilerin listesi.

| No | SDSS Adı | Diğer Adı | RA | Dec | Tip |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | J151127.16+064250.8 | 2MASX J15112717+0642508 | 227,8631978 | 6,7141128 | Sb |
| 2 | J151409.21+064801.3 | 2MASX J15140919+0648011 | 228,5384120 | 6,8003771 | S0 |
| 3 | J151314.16+064739.5 | 2MASX J15131419+0647396 | 228,3115430 | 6,7940867 | Sbc |
| 4 | J151210.98+065514.0 | 2MASX J15121100+0655141 | 228,0457899 | 6,9205753 | S0 |
| 5 | J151202.58+065553.9 | LEDA 084478 | 228,0107846 | 6,9316474 | Sb |
| 6 | J151135.64+065451.8 | 2MASX J15113562+0654518 | 227,8985409 | 6,9144094 | Sc |
| 7 | J151016.69+065332.0 | 2MASX J15101665+0653320 | 227,5695610 | 6,8922486 | SBa |
| 8 | J151341.82+065603.3 | LEDA 084527 | 228,4261113 | 6,9328274 | I |
| 9 | J151138.25+065839.4 | 2MASX J15113824+0658388 | 227,9094101 | 6,9776315 | S0 |
| 10 | J151507.54+070116.5 | 2MASX J15150755+0701165 | 228,7841084 | 7,0230570 | Sb |
| 11 | J151407.81+070019.0 | 2MASX J15140778+0700191 | 228,5325780 | 7,0052873 | SBa |
| 12 | J151338.08+065933.3 | 2MASX J15133813+0659333 | 228,4087078 | 6,9925855 | Sb |
| 13 | J151328.72+065928.4 | 2MASX J15132872+0659283 | 228,3696837 | 6,9912461 | Sc |
| 14 | J151338.32+070437.4 | 2MASX J15133832+0704373 | 228,4096824 | 7,0770643 | E |
| 15 | J151246.86+070434.7 | 2MASX J15124687+0704343 | 228,1952900 | 7,0763065 | SBab |
| 16 | J151142.11+070623.1 | 2MASX J15114213+0706228 | 227,9254801 | 7,1064304 | Sa |
| 17 | J151334.66+070648.7 | 2MASX J15133463+0706483 | 228,3961818 | 7,1130746 | Sc |
| 18 | J151253.95+070836.6 | 2MASX J15125397+0708366 | 228,2247966 | 7,1435157 | Sab |

| No | SDSS Adı | Diğer Adı | RA | Dec | Tip |
|---|---|---|---|---|---|
| 19 | J151237.69+070651.7 | 2MASX J15123773+0706513 | 228,1570700 | 7,1143714 | E |
| 20 | J151014.41+071033.2 | 2MASX J15101437+0710330 | 227,5600475 | 7,1759149 | I |
| 21 | J151332.42+071341.5 | 2MASX J15133241+0713413 | 228,3851143 | 7,2282123 | Sa |
| 22 | J151313.11+071331.8 | 2MASX J15131312+0713316 | 228,3046591 | 7,2255270 | I |
| 23 | J151048.30+071048.5 | 2MASX J15104827+0710490 | 227,7012587 | 7,1801473 | S0 |
| 24 | J150957.18+071252.7 | 2MASX J15095716+0712530 | 227,4882893 | 7,2146531 | E |
| 25 | J151451.63+071447.7 | 2MASX J15145162+0714475 | 228,7151626 | 7,2466110 | Sa/0 |
| 26 | J151310.54+071705.8 | 2MASX J15131056+0717056 | 228,2939437 | 7,2849599 | S0 |
| 27 | J151302.37+071734.6 | 2MASX J15130236+0717346 | 228,2599131 | 7,2929508 | Sab |
| 28 | J151203.78+071502.6 | 2MASX J15120380+0715021 | 228,0157801 | 7,2507431 | Sbc |
| 29 | J151131.38+071507.1 | 2MASX J15113138+0715068 | 227,8807611 | 7,2519745 | E |
| 30 | J151128.61+071544.0 | 2MASX J15112862+0715438 | 227,8692127 | 7,2622500 | E |
| 31 | J151123.49+071625.7 | 2MASX J15112351+0716258 | 227,8478839 | 7,2738161 | S0 |
| 32 | J151506.94+071853.8 | 2MASX J15150695+0718535 | 228,7789334 | 7,3149545 | Sb |
| 33 | J151455.30+071835.6 | LEDA 084537 | 228,7304252 | 7,3099116 | S0 |
| 34 | J151303.20+071932.6 | 2MASX J15130317+0719326 | 228,2638488 | 7,3263805 | Sa |
| 35 | J151302.24+071929.0 | 2MASX J15130223+0719296 | 228,2593713 | 7,3247485 | S0 |
| 36 | J151254.24+072041.4 | 2MASX J15125423+0720416 | 228,2260147 | 7,3448464 | Sab |
| 37 | J151223.62+071828.2 | 2MASX J15122361+0718283 | 228,0984453 | 7,3078579 | Sa |
| 38 | J151221.69+071812.1 | 2MASX J15122166+0718123 | 228,0903968 | 7,3033649 | E |
| 39 | J151123.30+071911.7 | LEDA 084465 | 227,8470990 | 7,3199237 | E |
| 40 | J151341.74+072118.2 | - | 228,4239529 | 7,3550765 | S0 |
| 41 | J151243.82+072334.8 | 2MASX J15124384+0723343 | 228,1826135 | 7,3930127 | E |
| 42 | J151201.10+072322.3 | 2MASX J15120111+0723221 | 228,0045979 | 7,3895499 | E |
| 43 | J151121.53+072250.6 | 2MASX J15112156+0722508 | 227,8397197 | 7,3807280 | E |
| 44 | J151056.76+072153.4 | 2MASX J15105673+0721529 | 227,7365064 | 7,3648587 | Sc |
| 45 | J151031.62+072500.2 | 2MASX J15103160+0725000 | 227,6317780 | 7,4167349 | I |
| 46 | J151028.90+072455.4 | 2MASX J15102904+0724560 | 227,6204493 | 7,4154080 | Sc |

| No | SDSS Adı | Diğer Adı | RA | Dec | Tip |
|---|---|---|---|---|---|
| 47 | J151323.25+072617.1 | 2MASX J15132326+0726173 | 228,3469041 | 7,4381065 | S0/a |
| 48 | J151309.92+072616.9 | 2MASX J15130996+0726166 | 228,2913718 | 7,4380328 | S0 |
| 49 | J151250.67+072527.7 | 2MASX J15125066+0725276 | 228,2111495 | 7,4243815 | S0/E |
| 50 | J151246.99+072534.0 | 2MASX J15124700+0725343 | 228,1958296 | 7,4261183 | S0 |
| 51 | J151247.49+072603.8 | 2MASX J15124747+0726033 | 228,1978965 | 7,4344000 | D |
| 52 | J151247.17+072713.4 | 2MASX J15124714+0727133 | 228,1965758 | 7,4537423 | S0 |
| 53 | J151243.30+072650.0 | 2MASX J15124330+0726503 | 228,1804317 | 7,4472238 | S0/E |
| 54 | J151237.58+072706.5 | 2MASX J15123759+0727063 | 228,1566041 | 7,4518076 | S0 |
| 55 | J151234.33+072553.5 | 2MASX J15123429+0725533 | 228,1430560 | 7,4315346 | Ep |
| 56 | J151125.01+072807.3 | 2MASX J15112498+0728068 | 227,8528869 | 7,4698778 | S0 |
| 57 | J151531.97+072829.0 | 2MASX J15153194+0728288 | 228,8832145 | 7,4747485 | Sa/0 |
| 58 | J151331.95+073116.7 | 2MASX J15133193+0731163 | 228,3831360 | 7,5213118 | S0 |
| 59 | J151258.51+073127.9 | 2MASX J15125853+0731276 | 228,2438226 | 7,5244374 | E |
| 60 | J151256.52+073030.9 | 2MASX J15125651+0730306 | 228,2355056 | 7,5086068 | S0 |
| 61 | J151239.40+073110.0 | 2MASX J15123940+0731103 | 228,1641906 | 7,5194473 | E/S0 |
| 62 | J151235.08+072934.0 | 2MASX J15123510+0729343 | 228,1461758 | 7,4927808 | S0 |
| 63 | J151227.57+073045.4 | 2MASX J15122757+0730453 | 228,1149107 | 7,5126178 | S0 |
| 64 | J151223.39+072948.7 | 2MASX J15122333+0729483 | 228,0963041 | 7,4955792 | S |
| 65 | J151157.31+073106.8 | 2MASX J15115728+0731071 | 227,9887979 | 7,5185758 | Sa |
| 66 | J151143.02+072937.5 | 2MASX J15114300+0729378 | 227,9292664 | 7,4937626 | SBa |
| 67 | J151116.00+072922.1 | 2MASX J15111603+0729219 | 227,8166985 | 7,4894914 | E |
| 68 | J151103.39+073155.7 | 2MASX J15110339+0731559 | 227,7641634 | 7,5321643 | Sc |
| 69 | J151449.86+073524.9 | 2MASX J15144986+0735245 | 228,7082884 | 7,5912942 | Sab |
| 70 | J151243.91+073337.4 | 2MASX J15124391+0733373 | 228,1829789 | 7,5603908 | S0 |
| 71 | J151232.49+073326.2 | 2MASX J15123248+0733263 | 228,1353818 | 7,5572917 | S0 |
| 72 | J151211.24+073351.4 | 2MASX J15121126+0733521 | 228,0468704 | 7,5642933 | S |
| 73 | J151424.70+073652.6 | LEDA 084532 | 228,6029563 | 7,6146228 | I |
| 74 | J151429.90+073546.7 | - | 228,6245908 | 7,5963331 | S0/E |

| No | SDSS Adı | Diğer Adı | RA | Dec | Tip |
|---|---|---|---|---|---|
| 75 | J151311.36+073719.0 | 2MASX J15131137+0737186 | 228,2973394 | 7,6219722 | S0 |
| 76 | J151241.44+073621.5 | - | 228,1726885 | 7,6059791 | S/I |
| 77 | J151107.31+073844.7 | 2MASX J15110729+0738439 | 227,7804834 | 7,6457688 | Sc |
| 78 | J151103.17+073820.7 | 2MASX J15110318+0738209 | 227,7632428 | 7,6391043 | S0/S |
| 79 | J151036.81+073907.9 | - | 227,6533795 | 7,6522005 | Sc |
| 80 | J151021.98+073919.4 | 2MASX J15102197+0739199 | 227,5916062 | 7,6554116 | S0 |
| 81 | J151010.97+073744.2 | 2MASX J15101094+0737440 | 227,5457282 | 7,6289638 | Sbc |
| 82 | J151513.18+074107.0 | 2MASX J15151320+0741075 | 228,8069248 | 7,6891776 | S |
| 83 | J151151.84+074244.6 | 2MASX J15115182+0742450 | 227,9660144 | 7,7124077 | S0 |
| 84 | J151110.06+074019.3 | 2MASX J15111011+0740189 | 227,7919464 | 7,6720482 | Sb |
| 85 | J151022.87+074304.2 | 2MASX J15102285+0743040 | 227,5953059 | 7,7178404 | S0 |
| 86 | J151018.41+074219.5 | 2MASX J15101841+0742200 | 227,5756038 | 7,7060286 | Sb |
| 87 | J151010.39+074229.5 | 2MASX J15101034+0742300 | 227,5426405 | 7,7073318 | S0 |
| 88 | J151004.01+074037.1 | 2MASX J15100402+0740370 | 227,5167284 | 7,6769914 | S0/a |
| 89 | J151327.46+074503.8 | LEDA 084517 | 228,3644339 | 7,7510788 | S |
| 90 | J151234.24+074542.2 | 2MASX J15123422+0745423 | 228,1426941 | 7,7617334 | S0 |
| 91 | J151222.61+074337.2 | 2MASX J15122258+0743373 | 228,0942464 | 7,7270042 | Sa |
| 92 | J151032.90+074629.1 | 2MASX J15103280+0746310 | 227,6371076 | 7,7747519 | Sc |
| 93 | J151512.97+074647.9 | 2MASX J15151300+0746475 | 228,8040743 | 7,7799977 | SBa |
| 94 | J151426.07+075329.1 | 2MASX J15142607+0753293 | 228,6086358 | 7,8914277 | S0/E |
| 95 | J151309.61+075153.1 | 2MASX J15130963+0751526 | 228,2919023 | 7,8648973 | Sb |
| 96 | J151224.19+075343.8 | 2MASX J15122419+0753433 | 228,1007975 | 7,8955078 | E |
| 97 | J150956.44+075254.4 | 2MASX J15095648+0752540 | 227,4851762 | 7,8817882 | S0 |
| 98 | J151154.90+075424.3 | - | 227,9787916 | 7,9067759 | I |
| 99 | J151327.82+080001.4 | 2MASX J15132781+0800013 | 228,3659535 | 8,0004126 | Sb |
| 100 | J151228.14+075826.0 | 2MASX J15122816+0758263 | 228,1189937 | 7,9717475 | S0/E |
| 101 | J151150.03+075918.6 | 2MASX J15115006+0759188 | 227,9584908 | 7,9885270 | S0 |
| 102 | J151056.84+075938.4 | 2MASX J15105685+0759379 | 227,7368441 | 7,9940092 | S0 |

| No | SDSS Adı | Diğer Adı | RA | Dec | Tip |
|---|---|---|---|---|---|
| 103 | J151414.98+080334.7 | 2MASX J15141498+0803341 | 228,5624486 | 8,0596390 | S/I |
| 104 | J151314.17+080247.0 | 2MASX J15131414+0802476 | 228,3090514 | 8,0464013 | Sc |
| 105 | J151208.35+080406.4 | 2MASX J15120837+0804061 | 228,0348159 | 8,0684453 | Sp |
| 106 | J151031.75+080233.0 | 2MASX J15103171+0802330 | 227,6323091 | 8,0425185 | S0 |
| 107 | J151336.19+080508.6 | 2MASX J15133616+0805083 | 228,4008162 | 8,0857452 | Sa |
| 108 | J151238.69+080638.7 | 2MASX J15123866+0806383 | 228,1612228 | 8,1107543 | Sc |
| 109 | J151106.45+080802.1 | 2MASX J15110641+0808019 | 227,7768848 | 8,1339397 | Sb |
| 110 | J150955.07+080810.4 | 2MASX J15095505+0808100 | 227,4794963 | 8,1362239 | S0 |
| 111 | J151026.23+081108.9 | - | 227,6093030 | 8,1858326 | Sa |

## 3.2. SLOAN DİJİTAL GÖKYÜZÜ TARAMASI (SDSS)

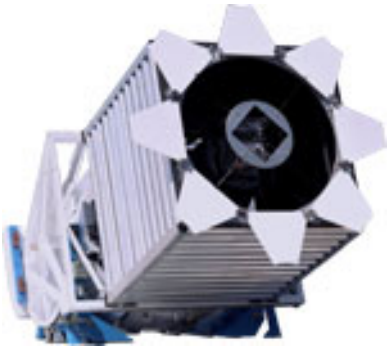
Sloan Dijital Gökyüzü Taraması (Sloan Digital Sky Survey – SDSS), New Mexico (ABD)'daki Apache Point Gözlemevi'nde bulunan 2.5 m'lik teleskop kullanılarak yürütülmekte olan büyük bir gökyüzü tarama projesidir. SDSS, esas olarak Alfred P. Sloan Vakfı tarafından desteklenmekle birlikte, National Science Foundation (NSF, ABD), NASA (ABD), Max-Planck Society (Almanya), Amerikan Enerji Bakanlığı, Monbukagakusho (Japonya), İngiltere Yüksek Öğrenim Destek Kurumu tarafından da desteklenmektedir.

SDSS, esas olarak Kuzey Yarımküre'deki gökyüzünün büyük bir bölümünün görüntülenmek suretiyle incelenmesi amacıyla başlatılan bir projedir. Tamamlandığı zaman tüm gökyüzünün ¼'ü kadar bir alan görüntülenmiş olacaktır ki bu şimdiye kadar yürütülmüş en geniş tarama projesidir. Bu verilerle evrenin doğası, galaksilerin ve kuazarların kökeni, galaksimiz Samanyolu'nun oluşumu ve evrimi konularında çalışmalar yapılması amaçlanmıştır ve 2000 yılından bu yana da yapılmaktadır.

SDSS ilk evresini Haziran 2005'te tamamlamıştır. Haziran 2005'ten Haziran 2008'e kadar sürecek ikinci evre ile projenin tamamlanması öngörülmektedir. Ancak o günün şartlarına göre yapılabilecek değerlendirmeler ile projenin uzatılması veya yeni amaçlar edinmesi çok muhtemeldir. SDSS-I olarak adlandırılan ve Haziran 2005'te sona

eren ilk evrede, gökyüzünün 8000 derece karelik bir alanı 5 farklı dalgaboyunda gözlenmiş ve 200 milyon gökcismi tespit edilmiştir. Paralel olarak; 675.000 galaksi, 90.000 kuazar ve 185.000 yıldızın spektrumu alınmıştır.

SDSS-II'ye 25 araştırma kurumu katılmıştır: American Museum of Natural History, Astrophysical Institute Potsdam, University of Basel, Cambridge University, Case Western Reserve University, University of Chicago, Drexel University, Fermi National Accelerator Laboratory, Institute for Advanced Study, Japan Participating Group, Johns Hopkins University, Joint Institute for Nuclear Astrophysics, Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, Korean Scientist Group, LAMOST, Los Alamos National Laboratory, Max-Planck Institute for Astronomy, Max-Planck Institute for Astrophysics, New Mexico State University, Ohio State University, University of Pittsburgh, University of Portsmouth, Princeton University, United States Naval Observatory, University of Washington.



**Şekil 3.4.** SDSS'de kullanılan 2.5 m çaplı teleskop.



**Şekil 3.5.** New Mexico’da yeralan Apache Point Gözlemevi.

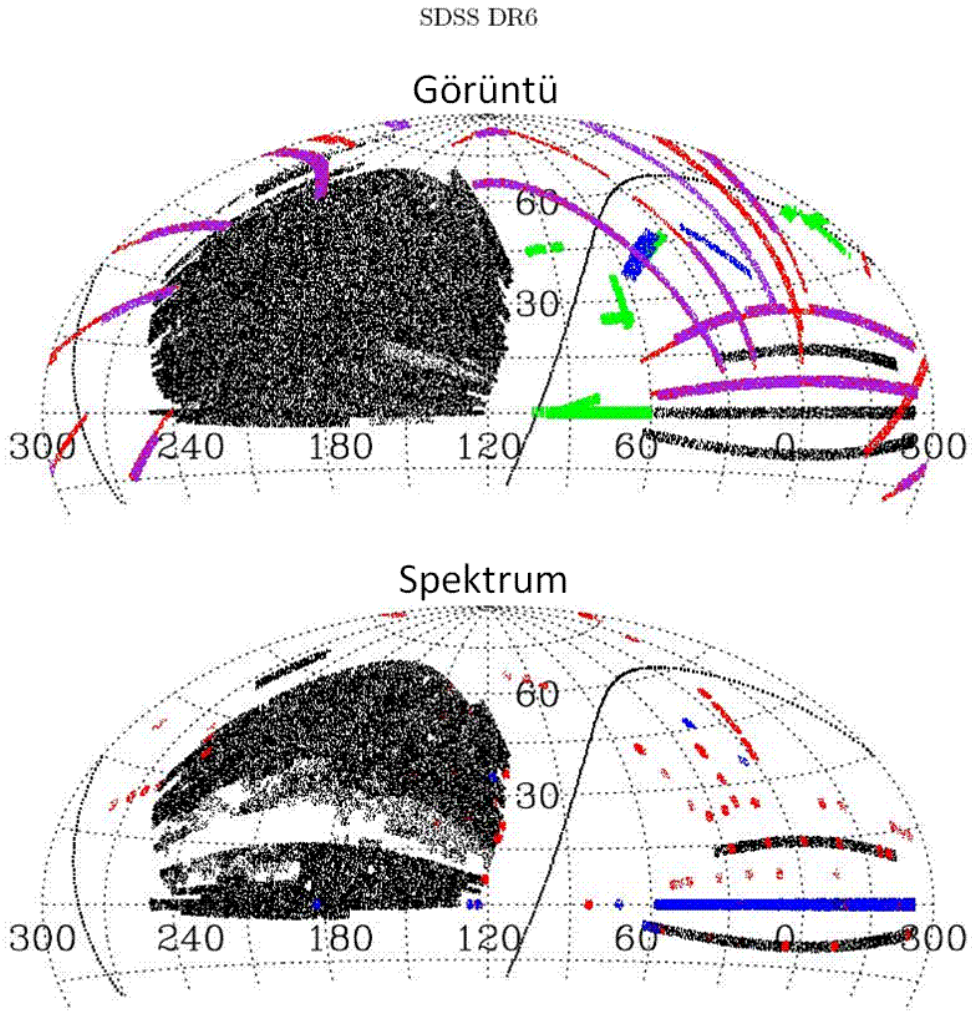
New Mexico’daki Apache Point Gözlemevi’nde yer alan 2.5 m’lik teleskopla her açık gecede gözlem yapılmakta ve gökyüzünün farklı bölgelerinden görüntü ve spektrumlar alınmaktadır. SDSS’te görüntüleme amaçlı kullanılan CCD 142 Megapixele sahip oldukça büyük bir CCD’dir. Aslında tek bir CCD değil 30 tane ayrı CCD’nin bir araya getirilmesi ile oluşturulmuş bir mozaik CCD’dir. Büyüklüğü sayesinde gökyüzünün 1.5 derece karelik bir alanını tek seferde görüntüleyebilmektedir. Bu 6 tane dolunayın açısal büyüklüğüne denk gelmektedir. Galaksilerin ve kuazarların spektrumlarının alınmasında kullanılan spektrograf ise aynı anda 600 gökcisminin spektrumunu alabilmekte ve böylece büyük kolaylık sağlamaktadır. Fotometrik ölçümler için kullanılan ugriz filtrelerinin bant genişlikleri ve ulaşılan limit parlaklık değerleri aşağıda verilmektedir. Seçilen bu filtreler ile 3000-10000 Angstrom dalgaboyu aralığında fotometrik veri alınabilmektedir.

**Tablo 3.2.** SDSS'de kullanılan filtrelerin merkezi dalgaboyları, yarı genişlikleri, sıfır nokta akı değerleri ve limit parlaklıkları.(www.sdss.org)

| **FİLTRE** | **$\lambda_{cen}$ (A°)** | **FWHM (A°)** | **$F_0$ ($10^{-12}$ W $A^{-1}$ $m^{-2}$)** | **Limit Parlaklık** |
|---|---|---|---|---|
| u | 3551 | 567 | 3.67 | 22.00 |
| g | 4686 | 1387 | 5.11 | 22.20 |
| r | 6165 | 1373 | 2.40 | 22.20 |
| i | 7481 | 1526 | 1.28 | 21.30 |
| z | 8931 | 950 | 0.783 | 20.50 |

Sloan Dijital Gökyüzü Taraması çerçevesinde elde edilen veriler yıllık olarak, Data Release (DR) şeklinde adlandırılarak kamuoyuna sunulur. Bu tez çalışmasında kullanılan Abell 2040 kümesine ait olan veriler Data Release 6 (DR6)'dan alınmıştır (Adelman-McCarthy ve ark., 2007). SDSS'ten alınan bu veriler Ek 1'de verilmiştir.

DR6 ile Sloan Dijital Gökyüzü Taraması'nda, 9500 derece kareden fazla bir alanı kapsayacak şekilde 287 milyon gökcisminin beş bantlı fotometrik verileri ve 7425 derece karelik bir alanı kapsayacak şekilde 1.271.680 galaksi, kuazar ve yıldızın ise spektrumu elde edilmiştir. SDSS'in DR6 ile ulaştığı son durum, görüntüleme ve spektroskopi için ayrı ayrı olarak **Şekil 3.6.**'dan incelenebilir. Bu görüntülerden de kolayca görülebileceği gibi, SDSS-II aşaması da sonlandığında tüm gökyüzünün ¼'ünü kapsayan bir gökyüzü taraması projesi tamamlanmış olacaktır ve açıktır ki; bu şimdiye kadar yapılan benzeri projeler içinde en kapsamlısı olmaktadır.




**Şekil 3.6.** SDSS DR6'in görüntüleme ve spektroskopik gözlemlerinin gökyüzünde kapladığı alan (Adelman-McCarthy ve ark., 2007).

### 3.3. LE PHARE PROGRAMI VE UYGULANMASI

Literatürde spektrel enerji dağılımları yardımıyla fotometrik kırmızıya kayma hesabı için kullanılan çeşitli programlar bulunmaktadır: photoz, hyperz vb. gibi. Bu tez çalışmasında Marsilya Astrofizik Laboratuvarı'ndan (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille – LAM) Stéphan Arnouts ve Olivier Ilbert tarafından geliştirilen Le PHARE programı kullanılmıştır (Le PHARE – **PH**otometric **A**nalysis of **R**edshift **E**stimation) (Ilbert ve ark., 2006).

Le Phare, bir dizi Fortran programından oluşan bir analiz paketidir. Temel olarak galaksilerin gözlenen spektrel enerji dağılımları ile model spektrel enerji

dağılımlarını karşılaştırarak kırmızıya kaymaları hesaplamaktadır. Programın çalışmasını iki aşamada inceleyebiliriz: İlk aşama; hazırlık aşaması olarak da adlandırabileceğimiz, gözlenen parlaklıkların spektrel enerji dağılımlarına dönüştürüldüğü, model spektrel enerji dağılımlarının oluşturulduğu, parlaklıkların elde edildiği filtrelerin geçirgenlik fonksiyonlarının üretildiği bir aşamadır. Bu aşamada birbirinden ayrı 3 Fortran programı çalışmaktadır. İkinci aşama ise; karşılaştırma aşaması diyebileceğimiz, gözlenen SED'lerin model SED'lere "fit" edildiği ve fotometrik kırmızıya kayma değerlerinin hesaplandığı aşamadır. Burada tek bir Fortran programı bu karşılaştırmayı ve kırmızıya kayma hesabını yapmaktadır.

Herhangi bir fotometrik sistemde yapılan gözlemlerle elde edilen parlaklıklar kullanılarak Le PHARE paketi ile bir galaksiye ait fotometrik kırmızıya kayma değerinin hesaplanması mümkündür. Ancak Bölüm 2.2.'de belirtildiği gibi, SED tekniği ile fotometrik kırmızıya kaymaların hesaplanması için farklı filtrelerle yani farklı dalgaboylarında parlaklık ölçümlerinin olması gerekmektedir. Genelde 3-5 arası filtre kullanılarak yapılan gözlemler başarılı sonuçlar vermektedir. Bununla beraber, tahmin edileceği gibi ne kadar çok filtre kullanılarak gözlem yapılırsa sonuçta elde edilecek kırmızıya kayma değerlerinin hatası o ölçüde az olacaktır.

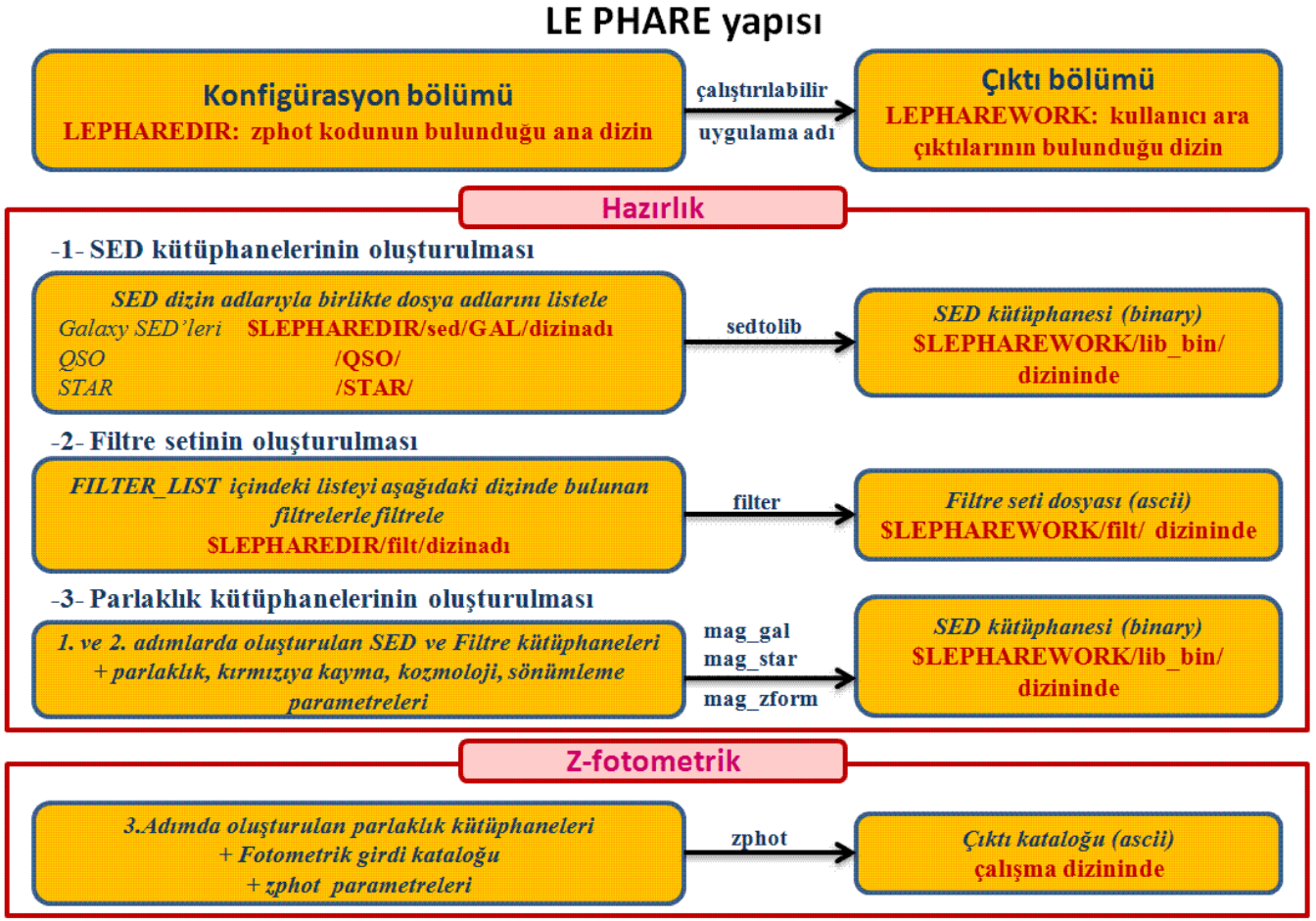
Hazırlık aşamasında ilk olarak çalıştırılan FILTER programıdır. FILTER programı, galaksilere ait parlaklıklar elde edilirken kullanılan fotometri sistemine ait olan filtrelerin duyarlılık eğrilerini oluşturmaktadır. Böylece bu eğriler gözönüne alınarak gözlenen parlaklıklar, spektrel enerji dağılımlarına dönüştürülmektedir. Le PHARE'in içinde bugün bilinen en önemli fotometri sistemlerine ait filtre takımlarının bilgileri standart olarak yeralmaktadır. Bununla beraber, listede yeralmayan bir filtre takımı kullanılıyorsa, kullanıcıya kendi filtrelerine ait bilgilerin girilmesine olanak tanınmaktadır.

Gözlemsel parlaklıkları model parlaklıklarla karşılaştırırken kullanılabilecek çeşitli sentetik spektrel enerji dağılımları vardır. Le PHARE paketinin kütüphanesinde literatüre geçmiş bu sentetik spektrel enerji dağılımlarının büyük bir kısmı bulunmaktadır. Kullanıcı bunlardan kullanmak istediğini veya istediklerini kullanarak model parlaklıkları üretebilmektedir. Bunun için öncelikle kullanılması gereken

program SEDTOLIB'dir. SEDTOLIB programı, Le PHARE'in kütüphanesinde bulunan sentetik spektrel enerji dağılımlarını kullanıma hazırlar. Daha sonra MAG_GAL programı ile de bu SED'ler model parlaklıklara dönüştürülür.

Le PHARE'in esas aşamasında ZPHOT programı ile elde edilen bu model parlaklıklar ile gözlenen parlaklıklar karşılaştırılarak en iyi "fit" elde edilmeye çalışılmaktadır. Bulunan en iyi uyum o galaksinin fotometrik kırmızıya kayması olarak çıktı dosyasına yazılmaktadır.

Le PHARE programının çalışmasını anlatan bir akış şeması Şekil 3.7'de verilmektedir.




**Şekil 3.7.** Le PHARE programının akış şeması.

# 4. BULGULAR

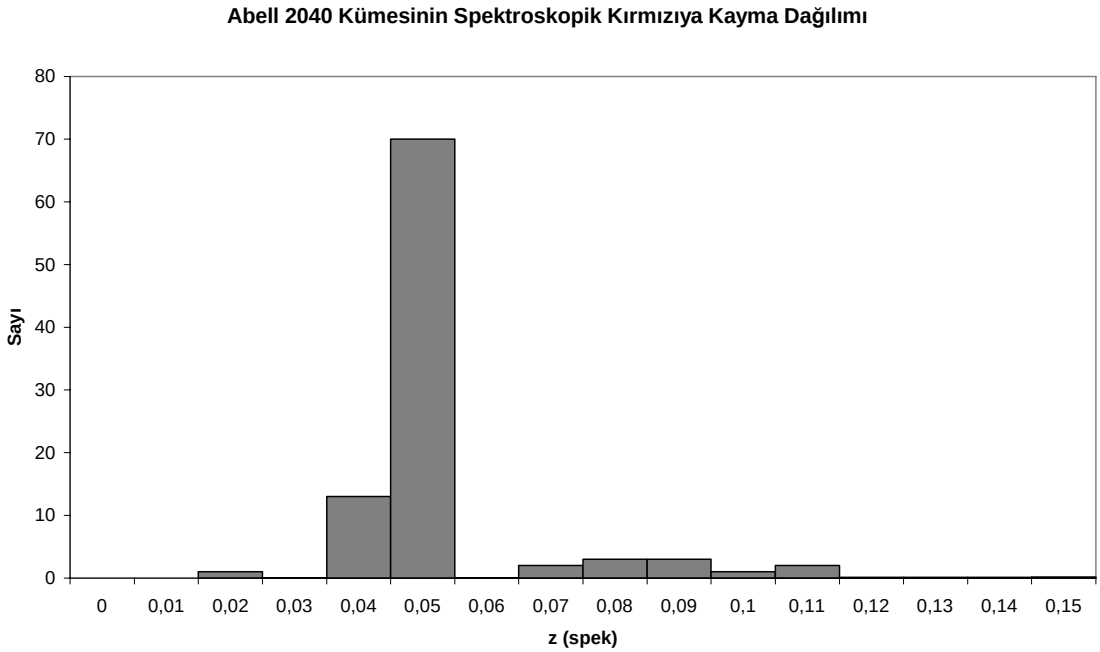
## 4.1. FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMALAR

Abell 2040 kümesindeki galaksilerin fotometrik kırmızıya kaymaları Bölüm 3.3'de anlatıldığı gibi Le PHARE programı kullanılarak hesaplanmıştır. Fotometrik kırmızıya kayma hesabında programın kullandığı sentetik spektrel enerji dağılımları (SED) çok önemli bir rol oynamaktadır. Doğal olarak kullanılan SED kütüphanesine göre hesaplanan fotometrik kırmızıya kaymalar farklı çıkmaktadır. SED kütüphanelerinin kalitesi, ne kadar çeşitli galaksi tipine ait model spektrum içerip içermediği ile belirlenebilir. Her çeşit galaksi tipini karakterize eden model spektrum bulunması fotometrik kırmızıya kaymaların kalitesini arttıracaktır. Ayrıca model spektrumlar oluşturulurken kullanılan spektrumların kalitesi (nasıl bir teleskopla alındığı, çözünürlüğü vb.) de fotometrik kırmızıya kayma değerlerini etkileyecektir.

Le PHARE programında galaksiler için 6 farklı SED kütüphanesi bulunmaktadır. Spektroskopide uzmanlaşmış kullanıcılar kendi kütüphanelerini oluşturup programın bunları kullanmasını sağlayabilirler.

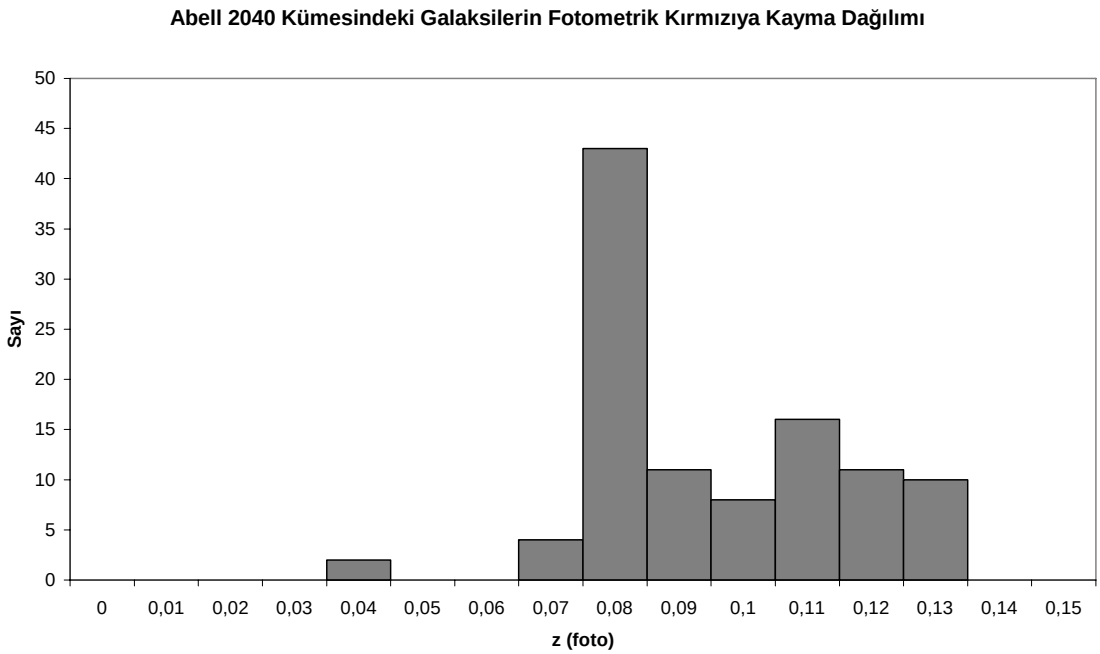
Le PHARE programındaki kütüphanelerden hangisinin daha iyi olduğuna karar vermek için Abell 2040 kümesinin SDSS'den alınan verileri kullanılarak her bir kütüphane için ayrı ayrı fotometrik kırmızıya kaymalar hesaplandı. Abell 2040 kümesinin 111 galaksisinden 95'inin SDSS'de spektroskopik bilgileri de bulunmaktadır. Bu 95 galaksinin spektroskopik kırmızıya kaymaları ile Le PHARE ile bulunan kırmızıya kaymalar karşılaştırılarak en iyi sonucun hangi kütüphaneye ait olduğu bulundu. Buna göre, spektroskopik kırmızıya kaymalarla olan farkların karelerinin toplamı TAMAS kütüphanesinde (Budavari ve ark., 2000) en düşük olmuştur.

Struble ve Rood (1999) Abell 2040 kümesinin kırmızıya kaymasını **z = 0,046** olarak vermişlerdir. SDSS veri tabanında bulunan kümenin 95 galaksisinin spektroskopik kırmızıya kaymalarının ortalaması ise **z = 0,048** (standart sapması 0,015) değerini vermektedir. Bu 95 galaksinin kırmızıya kaymalarının dağılımı **Şekil 4.1**'de görülmektedir.




**Şekil 4.1.** Abell 2040 kümesindeki 95 galaksinin SDSS spektroskopik kırmızıya kaymaları.

Le PHARE içinde yüklü olan TAMAS kütüphanesi (Budavari ve ark., 2000) kullanılarak elde edilen fotometrik kırmızıya kayma değerleri **Tablo 4.1**'de verilmiştir. Tablo 4.1'de verilen fotometrik kırmızıya kayma değerlerinin ortalaması **0,099**'dur. Bu çalışmada elde edilen fotometrik kırmızıya kayma değerlerinin dağılımı **Şekil 4.2**'de görülmektedir.




**Şekil 4.2.** Abell 2040 kümesinin bu tez çalışmasında hesaplanan fotometrik kırmızıya kayma dağılımı.

**Tablo 4.1.** TAMAS kütüphanesi kullanılarak Le PHARE ile bulunan fotometrik kırmızıya kaymalar ve hataları.

| No | SDSS Adı | z | z_err |
|---|---|---|---|
| 1 | J151127.16+064250.8 | 0,106 | 0,1347 |
| 2 | J151409.21+064801.3 | 0,070 | 0,0333 |
| 3 | J151314.16+064739.5 | 0,098 | 0,0478 |
| 4 | J151210.98+065514.0 | 0,121 | 0,1337 |
| 5 | J151202.58+065553.9 | 0,303 | 0,0485 |
| 6 | J151135.64+065451.8 | 0,073 | 0,0746 |
| 7 | J151016.69+065332.0 | 0,076 | 0,1333 |
| 8 | J151341.82+065603.3 | 0,304 | 0,0123 |
| 9 | J151138.25+065839.4 | 0,073 | 0,0749 |
| 10 | J151507.54+070116.5 | 0,108 | 0,0000 |
| 11 | J151407.81+070019.0 | 0,092 | 0,1337 |
| 12 | J151338.08+065933.3 | 0,122 | 0,0480 |
| 13 | J151328.72+065928.4 | 0,112 | 0,0749 |
| 14 | J151338.32+070437.4 | 0,077 | 0,1363 |
| 15 | J151246.86+070434.7 | 0,072 | 0,0749 |
| 16 | J151142.11+070623.1 | 0,072 | 0,1357 |
| 17 | J151334.66+070648.7 | 3,161 | 0,0002 |
| 18 | J151253.95+070836.6 | 0,109 | 0,0752 |

| No | SDSS Adı | z | z_err |
|---|---|---|---|
| 19 | J151237.69+070651.7 | 0,089 | 0,1340 |
| 20 | J151014.41+071033.2 | 0,105 | 0,0334 |
| 21 | J151332.42+071341.5 | 0,098 | 0,1329 |
| 22 | J151313.11+071331.8 | 0,072 | 0,1327 |
| 23 | J151048.30+071048.5 | 0,068 | 0,0188 |
| 24 | J150957.18+071252.7 | 0,110 | 0,0767 |
| 25 | J151451.63+071447.7 | 0,070 | 0,0483 |
| 26 | J151310.54+071705.8 | 0,070 | 0,0751 |
| 27 | J151302.37+071734.6 | 0,119 | 0,3009 |
| 28 | J151203.78+071502.6 | 0,111 | 0,0758 |
| 29 | J151131.38+071507.1 | 0,090 | 0,3030 |
| 30 | J151128.61+071544.0 | 0,072 | 0,0332 |
| 31 | J151123.49+071625.7 | 0,071 | 0,0748 |
| 32 | J151506.94+071853.8 | 0,110 | 0,0756 |
| 33 | J151455.30+071835.6 | 0,072 | 0,0480 |
| 34 | J151303.20+071932.6 | 0,074 | 0,0744 |
| 35 | J151302.24+071929.0 | 0,074 | 0,0748 |
| 36 | J151254.24+072041.4 | 0,093 | 0,1322 |
| 37 | J151223.62+071828.2 | 0,076 | 0,1328 |
| 38 | J151221.69+071812.1 | 0,072 | 0,0751 |
| 39 | J151123.30+071911.7 | 0,073 | 0,0333 |
| 40 | J151341.74+072118.2 | 0,074 | 0,0748 |
| 41 | J151243.82+072334.8 | 0,075 | 0,0747 |
| 42 | J151201.10+072322.3 | 0,075 | 0,0749 |
| 43 | J151121.53+072250.6 | 0,087 | 0,1337 |
| 44 | J151056.76+072153.4 | 0,304 | 0,0756 |
| 45 | J151031.62+072500.2 | 0,106 | 0,0749 |
| 46 | J151028.90+072455.4 | 0,040 | 0,0348 |
| 47 | J151323.25+072617.1 | 0,075 | 0,0744 |
| 48 | J151309.92+072616.9 | 0,122 | 0,1331 |
| 49 | J151250.67+072527.7 | 0,040 | 0,1315 |
| 50 | J151246.99+072534.0 | 0,074 | 0,0750 |
| 51 | J151247.49+072603.8 | 0,064 | 0,2966 |
| 52 | J151247.17+072713.4 | 0,073 | 0,0747 |
| 53 | J151243.30+072650.0 | 0,088 | 0,1323 |
| 54 | J151237.58+072706.5 | 0,071 | 0,0742 |
| 55 | J151234.33+072553.5 | 0,094 | 0,1337 |
| 56 | J151125.01+072807.3 | 0,073 | 0,0476 |
| 57 | J151531.97+072829.0 | 0,082 | 0,1335 |
| 58 | J151331.95+073116.7 | 0,073 | 0,0745 |
| 59 | J151258.51+073127.9 | 0,121 | 0,0748 |

| No | SDSS Adı | z | z_err |
|---|---|---|---|
| 60 | J151256.52+073030.9 | 0,074 | 0,0756 |
| 61 | J151239.40+073110.0 | 0,073 | 0,0745 |
| 62 | J151235.08+072934.0 | 0,076 | 0,1335 |
| 63 | J151227.57+073045.4 | 0,088 | 0,0747 |
| 64 | J151223.39+072948.7 | 0,072 | 0,0741 |
| 65 | J151157.31+073106.8 | 0,123 | 0,0749 |
| 66 | J151143.02+072937.5 | 0,090 | 0,1324 |
| 67 | J151116.00+072922.1 | 0,076 | 0,1340 |
| 68 | J151103.39+073155.7 | 0,104 | 0,0739 |
| 69 | J151449.86+073524.9 | 0,107 | 0,0478 |
| 70 | J151243.91+073337.4 | 0,086 | 0,1323 |
| 71 | J151232.49+073326.2 | 0,120 | 0,0478 |
| 72 | J151211.24+073351.4 | 0,070 | 0,0334 |
| 73 | J151424.70+073652.6 | 0,306 | 0,0485 |
| 74 | J151429.90+073546.7 | 0,107 | 0,1340 |
| 75 | J151311.36+073719.0 | 0,074 | 0,0749 |
| 76 | J151241.44+073621.5 | 0,105 | 0,0335 |
| 77 | J151107.31+073844.7 | 0,304 | 0,0335 |
| 78 | J151103.17+073820.7 | 0,119 | 0,0475 |
| 79 | J151036.81+073907.9 | 0,107 | 0,0244 |
| 80 | J151021.98+073919.4 | 0,122 | 0,0479 |
| 81 | J151010.97+073744.2 | 0,117 | 0,1324 |
| 82 | J151513.18+074107.0 | 0,071 | 0,0189 |
| 83 | J151151.84+074244.6 | 0,121 | 0,1331 |
| 84 | J151110.06+074019.3 | 0,074 | 0,0475 |
| 85 | J151022.87+074304.2 | 0,088 | 0,1335 |
| 86 | J151018.41+074219.5 | 0,102 | 0,2985 |
| 87 | J151010.39+074229.5 | 0,074 | 0,0745 |
| 88 | J151004.01+074037.1 | 0,074 | 0,0744 |
| 89 | J151327.46+074503.8 | 0,109 | 0,0483 |
| 90 | J151234.24+074542.2 | 0,080 | 0,3018 |
| 91 | J151222.61+074337.2 | 0,088 | 0,1333 |
| 92 | J151032.90+074629.1 | 0,111 | 0,0746 |
| 93 | J151512.97+074647.9 | 0,090 | 0,1343 |
| 94 | J151426.07+075329.1 | 0,079 | 0,1371 |
| 95 | J151309.61+075153.1 | 0,119 | 0,1357 |
| 96 | J151224.19+075343.8 | 0,103 | 0,1357 |
| 97 | J150956.44+075254.4 | 0,096 | 0,1340 |
| 98 | J151154.90+075424.3 | 0,126 | 0,0043 |
| 99 | J151327.82+080001.4 | 0,072 | 0,0335 |
| 100 | J151228.14+075826.0 | 0,079 | 0,0743 |

| No | SDSS Adı | z | z_err |
|---|---|---|---|
| 101 | J151150.03+075918.6 | 0,107 | 0,1357 |
| 102 | J151056.84+075938.4 | 0,089 | 0,1380 |
| 103 | J151414.98+080334.7 | 0,072 | 0,0253 |
| 104 | J151314.17+080247.0 | 0,120 | 0,1351 |
| 105 | J151208.35+080406.4 | 0,107 | 0,0338 |
| 106 | J151031.75+080233.0 | 0,074 | 0,0188 |
| 107 | J151336.19+080508.6 | 0,103 | 0,3018 |
| 108 | J151238.69+080638.7 | 0,111 | 0,0756 |
| 109 | J151106.45+080802.1 | 0,126 | 0,0479 |
| 110 | J150955.07+080810.4 | 0,073 | 0,0753 |
| 111 | J151026.23+081108.9 | 0,072 | 0,0477 |

Le PHARE programı içerisinde bulunan kütüphanelerin, Abell 2040 kümesinin SDSS verileri kullanılarak elde edilen fotometrik kırmızıya kayma değerlerinin karşılaştırması **Tablo 4.2**'de verilmektedir.

**Tablo 4.2.** Bu tez çalışmasında kullanılan spektrel enerji dağılımı kütüphanelerinin karşılaştırılması.

| SED Kütüphanesi | z (ort) | Std.Sapma |
|---|---|---|
| GISSEL | 0,222 | 0,070 |
| CWW_KINNEY | 0,106 | 0,100 |
| CE | 0,153 | 0,264 |
| CE_NEW | 0,160 | 0,293 |
| POGGIANTI | 0,138 | 0,079 |
| **TAMAS** | **0,099** | **0,048** |

## 4.2. ABELL 2040 GALAKSİ KÜMESİNİN UZAKLIĞI VE MUTLAK PARLAKLIKLAR

Abell 2040 kümesinin Bölüm 4.1'de elde edilen fotometrik kırmızıya kaymalarından itibaren uzaklığı hesaplanmıştır. Bunun için Le PHARE ile bulunan fotometrik kırmızıya kaymalardan TAMAS kütüphanesi kullanılarak bulunan z = 0,099 değeri kullanılmıştır.

$$V_r = c \cdot z \qquad (4.1.)$$

ve

$$V_r = H_0 \cdot d \qquad \text{(Hubble Kanunu)} \quad (4.2)$$

eşitlikleri kullanılarak, kümenin uzaklığı, $H_0$ için 70 km/sn/Mpc değeri kullanılarak (bu çalışma içerisinde daima aynı Hubble Sabiti değeri kullanılacaktır.),

$$d = 424{,}3 \text{ Mpc}$$

olarak bulunmuştur.

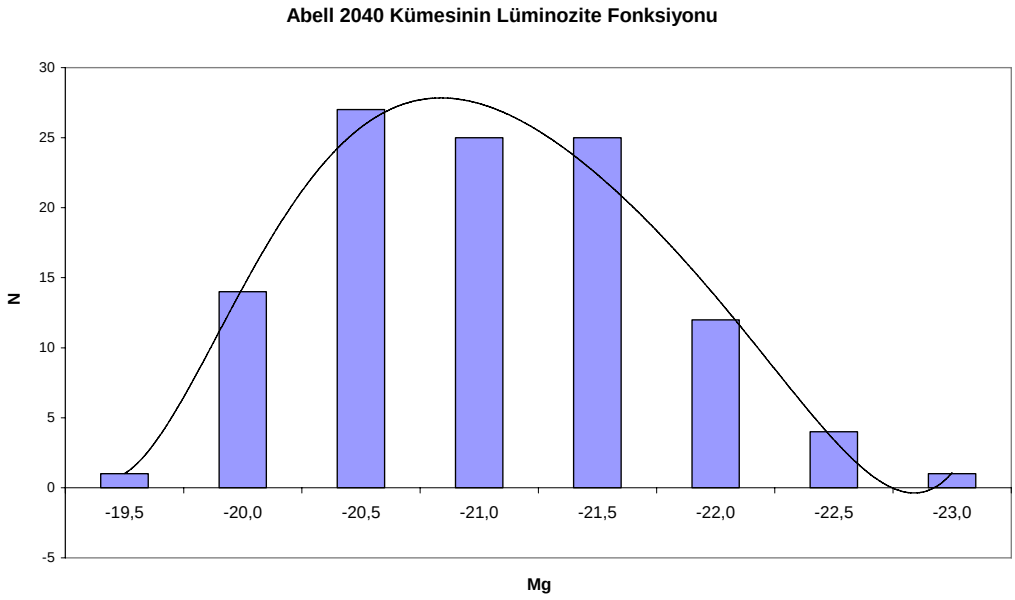
Abell 2040 kümesinin SDSS'den elde edilen spektroskopik kırmızıya kayması olan z = 0,048 aynı eşitliklerde, Hubble sabiti değeri yerine konduğunda kümenin uzaklığı d = 205,7 Mpc olarak bulunmaktadır. Struble ve Rood'un (1999) verdiği z = 0,046 değeri kullanıldığında ise kümenin uzaklığı d = 197,1 Mpc olarak elde edilmektedir.

Fotometrik kırmızıya kaymalardan itibaren bulunan z = 0,099 değeri için bulunan uzaklık değeri d = 424,3 Mpc'tir. Bu değer kullanılarak hesaplanan mutlak parlaklıklar Ek 3'de verilmektedir. Abell 2040 kümesi için fotometrik kırmızıya kaymalar ile bulunan uzaklık değeri ile spektroskopik kırmızıya kaymalar ile bulunan uzaklık değeri arasındaki fark mutlak parlaklıklar üzerinde yaklaşık 1,5 kadirlik bir etki

yapmaktadır. Yani elde edilen mutlak parlaklıklar gerçek değerlerinden 1,5 kadir bir farkla elde edilmişlerdir.

## 4.3 LÜMİNOZİTE FONKSİYONU

Bölüm 4.2'de elde edilen mutlak parlaklıklar ile lüminozite fonksiyonu grafiği oluşturulmuştur. Literatürde genellikle lüminozite fonksiyonlarında B bandı kullanıldığından SDSS'de ona en yakın olan g bandı kullanılmıştır. **Şekil 4.3**'de g bandı için elde edilen lüminozite fonksiyonu görülmektedir.

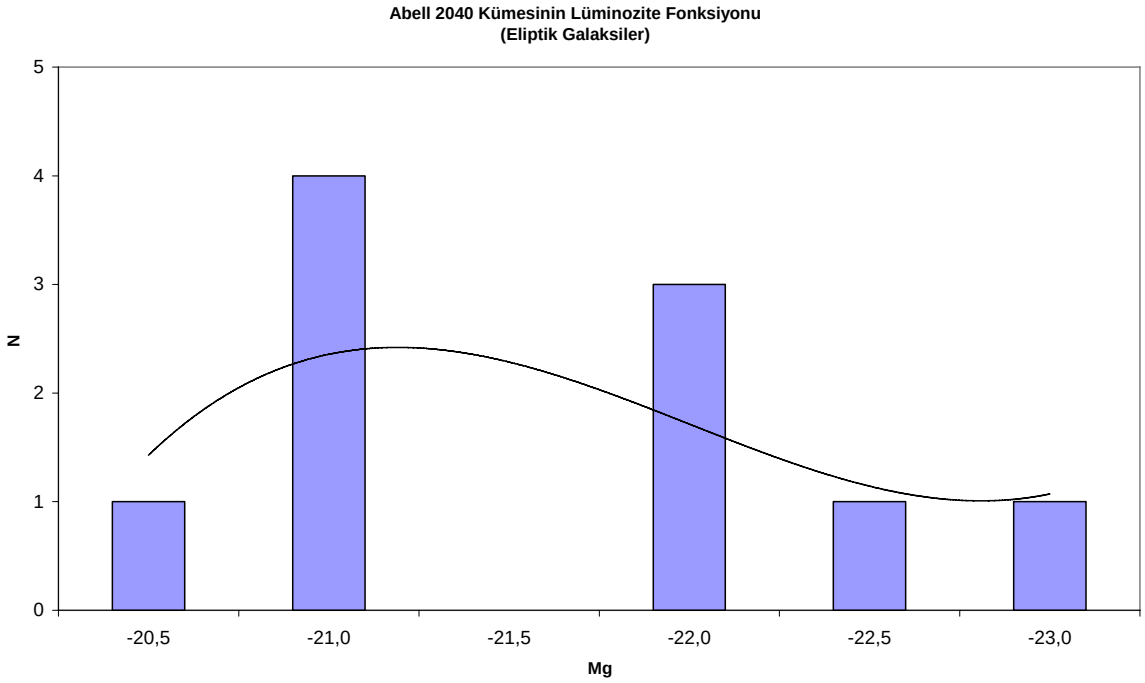



**Şekil 4.3.** Abell 2040 kümesinin g bandı lüminozite fonksiyonu.

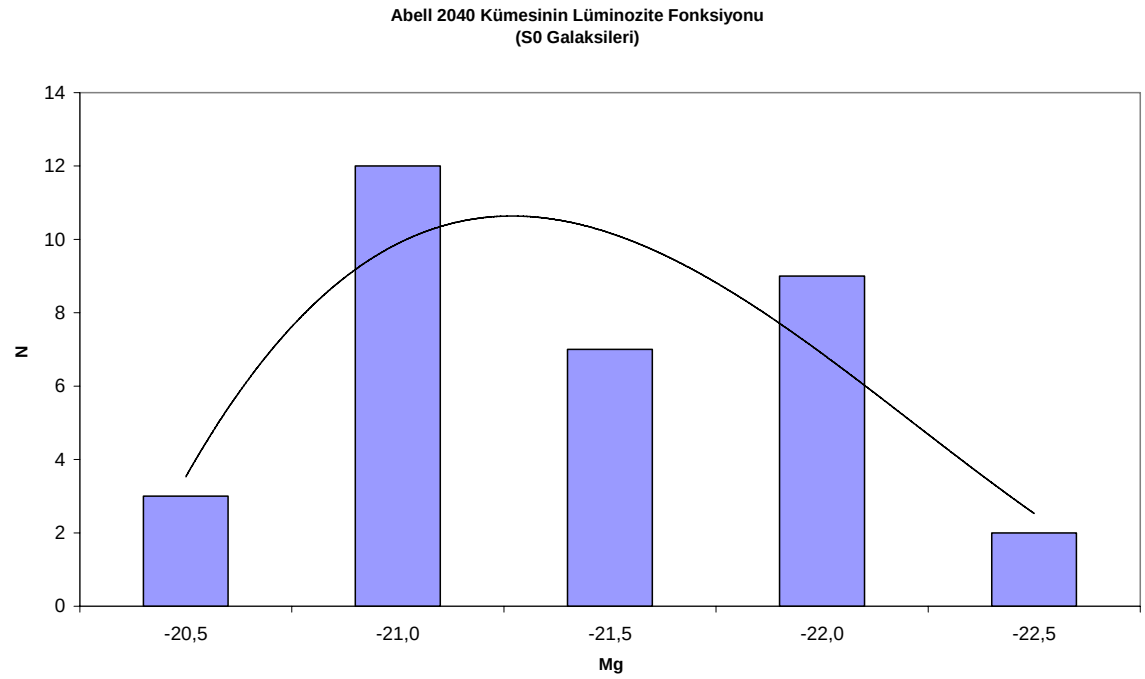
Bu tez çalışmasında kullanılan Abell 2040 kümesinin Dressler (1980) tarafından verilen listesinin tamlık sınırının Mg = -20,5 olduğu görülmektedir. Lüminozite fonksiyonunda Mg = -20,5'dan sonra görülen azalma gerçek bir azalma olmayıp, Dressler'in listesindeki galaksilerin o parlaklıklarda tam olmamasından kaynaklanmaktadır. Yani Dressler'in listesinde o parlaklıktaki tüm galaksiler bulunmamaktadır. Sönük galaksilere gidildikçe galaksilerin sayısının arttığı lüminozite çalışmalarından bilinmektedir (Binggeli, Sandage, Tammann, 1988; Schneider, 2006).

Şekil 4.3'te -20. kadirde görülen galaksi sayısındaki azalma eldeki "sample"ın eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Bunun temel nedeni Dressler'in 1980 yılında yaptığı sınıflamanın yeterli olmayışıdır. Bilindiği gibi galaksi kümelerinin tespiti uzun yıllar göz ile yapılmıştır. Günümüzde ise çeşitli algoritmalar ile galaksi kümeleri tespit edilmektedir. Sloan gibi dijital ve kaliteli tarama projeleri ile elde edilen veriler kullanılarak bu galaksi kümelerinin yeniden tespiti yapılabilir. Böylece daha önce tespit edilemeyen küme üyesi galaksiler belirlenebilir.

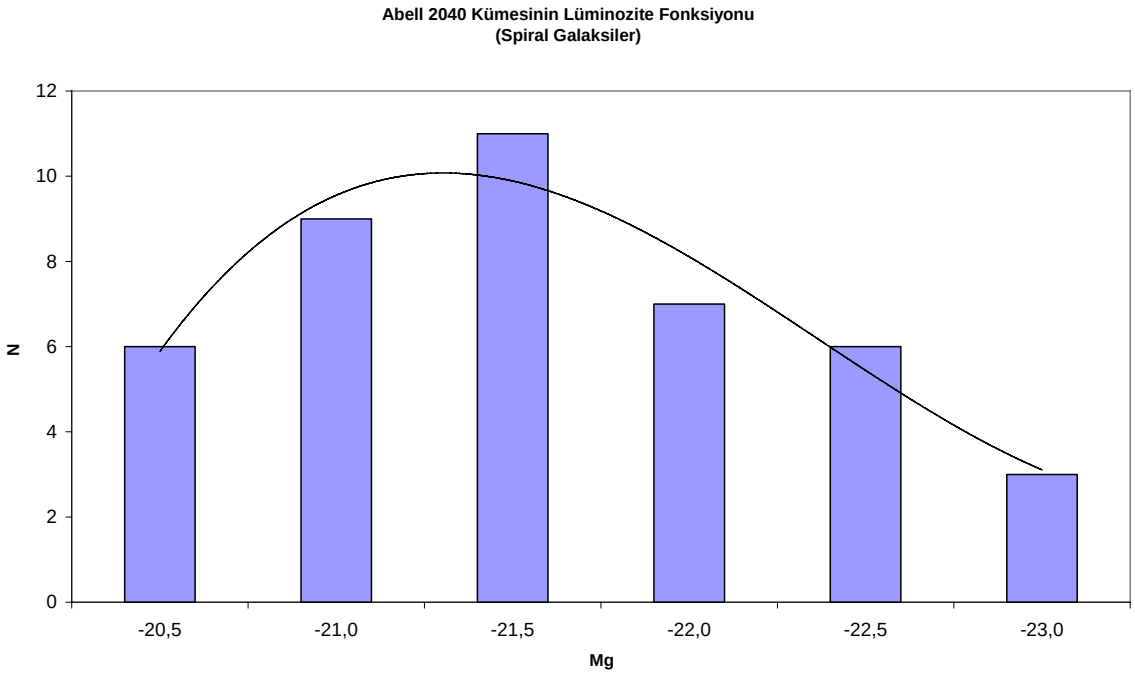
Bununla beraber, Dressler'in (1980) listesinden itibaren oluşturulan veri setinin meydana getirdiği lüminozite fonksiyonu şekil itibariyle bilinen lüminozite fonksiyonları ile uyumluluk göstermektedir. Sönük kadirlere doğru galaksi sayısının artması belirgin olarak görülebilmektedir. Şekil 4.3'te görülebilen -23. kadirdeki tek galaksinin galaksi kümesinin merkezindeki hakim galaksi olması çok muhtemeldir. Bu galaksi Dressler'in listesinde D sınıfı olarak verilmiştir. D sınıfı galaksiler, bir tür eliptik galaksi olup, genellikle galaksi kümelerinin merkezinde yer alırlar. Çeşitli fiziksel özelliklerine göre bu merkezi galaksiler cD, D veya E sınıfı olabilmektedirler.



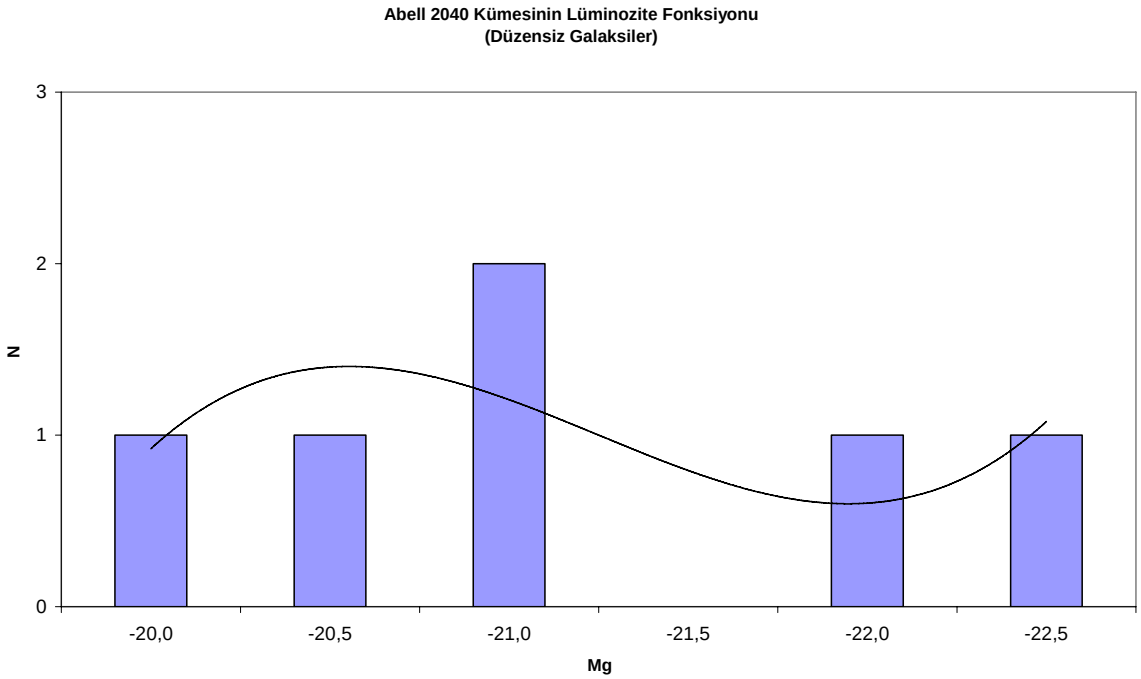

**Şekil 4.4.** Abell 2040 kümesindeki eliptik galaksilerin g bandı lüminozite fonksiyonu.




**Şekil 4.5.** Abell 2040 kümesindeki merceksi galaksilerin g bandı lüminozite fonksiyonu.




**Şekil 4.6.** Abell 2040 kümesindeki spiral galaksilerin g bandı lüminozite fonksiyonu.




**Şekil 4.7.** Abell 2040 kümesindeki düzensiz galaksilerin g bandı lüminozite fonksiyonu.

Lüminozite fonksiyonu galaksilerin Hubble tiplerine göre ayrı ayrı da çizilebilmektedir. Ancak bir galaksi kümesindeki galaksilerin lüminozite fonksiyonuna katkıları farklı farklı olmaktadır. Abell 2040 kümesindeki galaksilerin Hubble tiplerine göre farklı lüminozite fonksiyonları sırasıyla **Şekil 4.4, 4.5, 4.6** ve **4.7**'de görülebilir. Bu grafiklerde genel lüminozite fonksiyonuna benzer eğilimler görülse de, farklıdırlar. Dolayısıyla Şekil 4.3'te verilen lüminozite fonksiyonu genel veya toplam lüminozite fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır. Farklı Hubble tiplerinin lüminozite fonksiyonuna katkısı dolayısıyla galaksi kümesi içindeki oranları, kırmızıya kayma (uzaklık) bilgisi ile birleştirildiğinde galaksilerin evrimi üzerinde çalışılabilmektedir. Özellikle galaksi kümelerindeki eliptik ve spiral galaksilerin oranları kırmızıya kayma ile değişmektedir. Bu bilgiler galaksilerin evrimine çevrenin nasıl bir etkisi olduğunu araştırmak için kullanılmaktadır.

# 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında galaksilerin kırmızıya kaymalarını bulabilmek için kullanılan ve klasik spektroskopik yöntemden önemli farkları bulunan fotometrik kırmızıya kayma yöntemi tarif edilmiş ve Abell 2040 kümesine uygulanmıştır. Fotometrik kırmızıya kayma yönteminin ilk olarak ortaya konması oldukça önce olmuş olmasına rağmen etkin bir şekilde kullanılmaya başlaması nispeten yakın zamanda gerçekleşmiştir.

Fotometrik kırmızıya kayma yöntemi galaksilerin fotometrik gözlemleri ile elde edilen parlaklıkların kullanılması esasına dayanmakta ve bu parlaklıkları galaksilere ait model parlaklıklarla karşılaştırarak en küçük kareler yöntemine göre en iyi uyan sonucu bulmaktadır. Günümüzde halihazırda fotometrik kırmızıya kayma ölçümü yapan çeşitli programlar bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan program, Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey'in (CFHTLS) çalışmalarında kullanılan resmi programı Le Phare'dır (Ilbert ve ark., 2006). Halihazırda bulunan diğer programlar gibi Le Phare programı da fotometrik kırmızıya kayma ölçümü için bazı kütüphaneler kullanmaktadır. Bu kütüphaneler fotometrik ölçümlerden itibaren galaksilerin kırmızıya kaymasını bulmaya yarayan model galaksi spektrumları içermektedir. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar üzerinde doğrudan etkileri bulunmaktadır.

Bölüm 4.1'te Le Phare programı çerçevesinde mevcut olan çeşitli kütüphaneler karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma Abell 2040 kümesi galaksilerinin Sloan'da yeralan spektroskopik kırmızıya kaymaları temel alınarak yapılmıştır. Öncelikle Le Phare programı bünyesindeki çeşitli kütüphaneler için çalıştırılmış ve Abell 2040 kümesinin üyelerinin fotometrik kırmızıya kaymaları elde edilmiştir. Bu elde edilen farklı fotometrik kırmızıya kaymalar doğruluğundan şüphe duymadığımız spektroskopik kırmızıya kaymalar ile karşılaştırılmıştır. Buna göre spektroskopik kırmızıya kaymalar ile en iyi uyumu TAMAS kütüphanesi (Budavari ve ark., 2000) vermiştir. Bu çalışmada kullanılan Abell 2040 galaksi kümesi oldukça yakın bir kümedir. Uzaklık arttıkça, galaksilerin evrimi de sözkonusu olacağından belirli bir modelin her kırmızıya kayma aralığı için yeterli olması pek mümkün olmamaktadır. Geniş kırmızıya kayma aralığında yapılacak çalışmalar için, galaksi evrimini de hesaba katarak oluşturulan model

spektrumların yeraldığı bir kütüphane kullanılmalıdır. Aksi halde evrim hesaba katılmadan elde edilen model spektrumların kullanılması hata oranları büyük kırmızıya kayma değerleri verecektir.

Daha önce de belirtildiği gibi fotometrik kırmızıya kayma yöntemi nispeten yakın zamanda, büyük gökyüzü tarama projelerinin devreye girmesiyle etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yöntemin kullanılabilmesi için çok bantlı fotometrik ölçümlere ihtiyaç vardır ki, yeni nesil tarama projelerinde genelde 5 bantlı fotometrik sistemler kullanılmaktadır. Galaksilerin kırmızıya kaymaları bilindiği üzere ideal olarak spektroskopik yöntemle elde edilir. Ancak çok sayıda galaksinin kırmızıya kayması ölçülmek istendiğinde -ki kozmoloji çalışmaları için durum budur- bu kırmızıya kaymaları spektroskopik olarak elde etmek neredeyse imkansızdır. Bu galaksilerin kırmızıya kaymasını spektroskopik olarak elde etmek teleskop zamanı açısından kolay bir konu değildir, özellikle galaksilerin parlaklıkları ve buna bağlı olarak verilmesi gereken poz süreleri hesaba katıldığında. Bu nedenle hızlı bir şekilde çok sayıda galaksinin kırmızıya kayma ölçümüne imkan veren fotometrik kırmızıya kayma yöntemi oldukça uygun bir yöntem haline gelmiştir. Bu mevcut şartlarda yapılabilecek en iyi şey olmakla birlikte spektroskopinin yerini alacak tam bir alternatif teşkil etmemektedir. Çünkü fotometrik kırmızıya kayma yöntemi ile elde edilen z değerlerinde hata payları oldukça büyüktür. Münferit galaksilerin kırmızıya kaymasını ölçmek için bu yöntemin kullanılması doğru bir yaklaşım değildir. Spektroskopik olarak kırmızıya kaymalar ±0,001 hata payıyla bulunabilirken, fotometrik olarak ±0,125 hata payları ile bulunabilmektedir (Gwyn, 1995). Ancak kozmoloji çalışmalarında çok büyük “sample”lar üzerinden çalışıldığından bu hata payları önemini yitirmektedir.

Bu tez çalışmasında; Abell 2040 kümesine üye galaksilerin fotometrik kırmızıya kayma değerleri hesaplanmış ve hesaplanan bu değerlerin ortalaması alınarak kümenin uzaklığı bulunmuştur. Abell 2040 kümesine üye toplam 111 galaksinin fotometrik kırmızıya kaymalarının ortalaması, $z_{ort.}$ = 0,099 olarak bulunmuştur. Bu değer literatürde verilen spektroskopik kırmızıya kayma değerinden $\Delta z$ = 0,051 kadar bir farklılık göstermektedir. Elde edilen 0,099’luk ortalama z değeri ile Hubble Kanunu kullanılarak Abell 2040 kümesinin uzaklığı d = 424,3 Mpc olarak bulunmuştur. Sloan tarafından verilen spektroskopik kırmızıya kaymalar kullanılarak aynı hesap

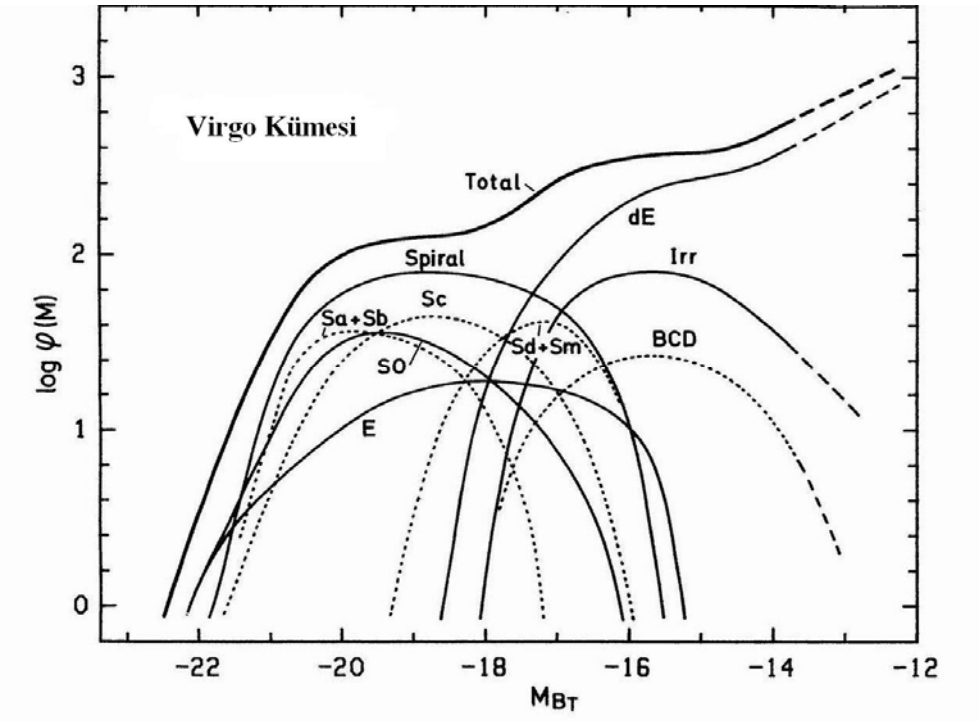
yapıldığında, uzaklık d = 205,7 Mpc olarak elde edilmiştir. Bu durumda Abell 2040 kümesi üzerinde yapılan uygulamada, fotometrik kırmızıya kayma değerleri kümenin uzaklığı üzerinde önemli bir oranında bir fark yaratmaktadır. Ancak sık sık üzerinde durulduğu üzere, bu şekilde tek tek incelemelerde fotometrik kırmızıya kayma yöntemi elbette iyi bir çözüm değildir. Kozmoloji çalışmalarında kullanılacak büyük hacimli "sample"lar göz önüne alındığında bu hata sistematik bir hataya dönüşecektir.

Galaksi kümelerinin lüminozite fonksiyonlarını elde etmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu konuda önemli bir derleme Colless (1989) tarafından verilmiştir. Lüminozite fonksiyonunu elde etmek kozmoloji açısından önemlidir. Eğer kümenin kütlesi de bir şekilde hesaplanmışsa, lüminozite fonksiyonu ile birlikte M / L oranları bulunabilir ki, bu da karanlık maddenin dağılımı konusunda bilgi sağlamaktadır. Ancak yakın zamana kadar büyük ölçekli tarama projeleri yapılamamıştır. Kozmolojik açıdan önem arz etmesi için, kullanılan "sample"in oldukça geniş bir ölçekte yeralması gerekir. 2dfGRS, HDF, SDSS, CFHTLS gibi tarama projeleri ile geniş ölçeklerde önemli miktarda veri elde edilmiştir. Galaksi kümelerinin lüminozite fonksiyonunu sağlıklı belirleyebilmek için çok sayıda galaksi kümesinin parlaklık ve kırmızıya kayma (veya uzaklık) bilgisine ihtiyaç vardır. Geçmişte bu çalışmalar sınırlı sayıda yapılabilmiştir.

Lüminozite fonksiyonunun elde edilmesi ilk bakışta kolay görünmesine rağmen istatistik olarak anlamlı sonuçlar elde etmek için çok geniş ölçekte ve fazla sayıda küme ile çalışılması gerekir. Ayrıca genel anlamda düşünüldüğünde küme üyesi galaksilerin belirlenmesi problemi büyük önem arz etmektedir. Küme üyesi galaksilerin yanlış belirlenmesi, kümeye ait olmayan galaksilerin listeye dahil olması elde edilecek sonuçları etkileyecektir. Lüminozite fonksiyonunu elde etmek için gereken uzaklık bilgisi yakın galaksi kümeleri için spektroskopik yollarla elde edilebilmesine rağmen uzak kümeler sözkonusu olduğunda pek mümkün olmamaktadır. Bu durumda yapılabilecek en iyi çalışma fotometrik kırmızıya kayma değerlerini kullanmak olacaktır (Schneider, 2006). Sık sık altı çizildiği gibi, günümüzdeki tarama projeleri ile çok büyük miktarlarda galaksinin ve dolayısıyla galaksi kümesinin uzaklığı fotometrik kırmızıya kayma ölçümlerinden etkin bir şekilde elde edilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, Abell 2040 kümesi için Lüminozite Fonksiyonu hesaplanmıştır. Ancak gerçek anlamda Schechter fonksiyonunu elde etmek için, çok daha fazla küme kullanmak ve istatistik yaklaşımlar ile verinin sağlıklı olmasını sağlamak gerekmektedir. Sadece bir küme kullanılarak Schechter fonksiyonunun elde edilmesi mümkün değildir. Colless (1989) çeşitli araştırmacıların yaptıkları ve elde ettikleri sonuçları derlemiştir. Bu araştırmacılar Şekil 4.3'te verilen gibi lüminozite fonksiyonuna Schechter fonksiyonunu fit ederek M* ve α değerlerini elde etmişlerdir. Ancak literatürde verilen M* ve α değerlerinde epey değişiklik bulunmaktadır (Colless, 1989).

Farklı Hubble tiplerine göre lüminozite fonksiyonunun farklılık gösterdiği ilk olarak Holmberg (1958) tarafından ortaya konmuştur. Bu tarihten sonra birçok çalışmada lüminozite fonksiyonu hem toplam olarak hem de farklı tipteki galaksiler için ayrı olarak çizilmeye başlanmıştır (Binggeli, Sandage, Tammann, 1988). **Şekil 5.1**'de Binggeli, Sandage ve Tammann (1988) tarafından verilen Virgo kümesinin lüminozite fonksiyonu görülmektedir. Şekilde farklı Hubble tipindeki galaksilerin lüminozite dağılımları ayrı ayrı gösterilmiştir.



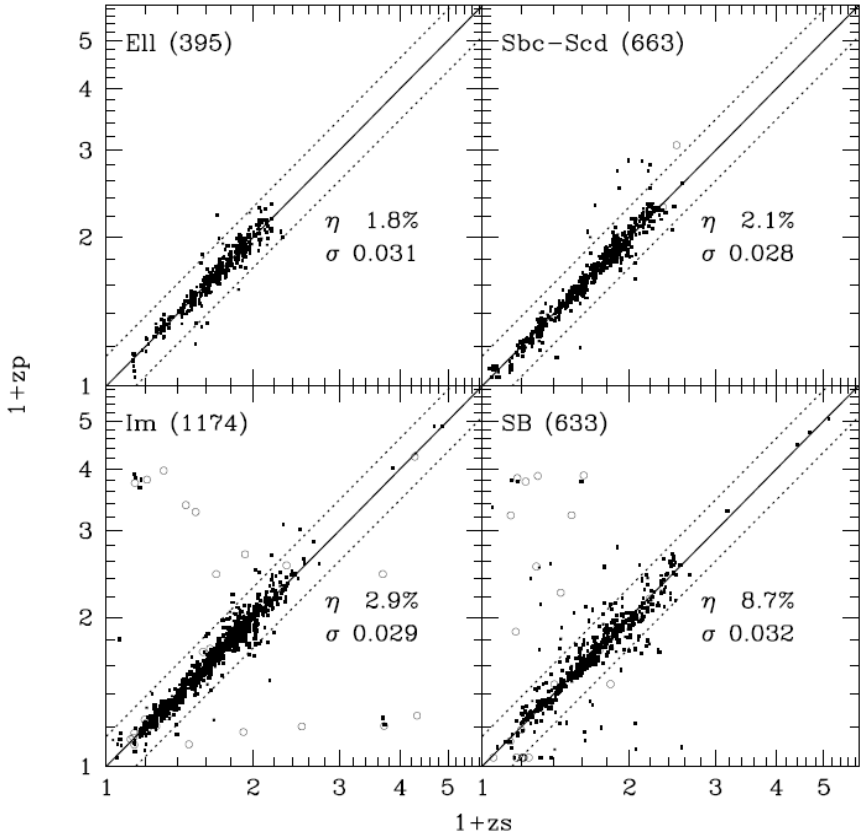

**Şekil 5.1.** Binggeli, Sandage ve Tammann (1988) tarafından verilen Virgo kümesine ait lüminozite fonksiyonu.

Lüminozite fonksiyonunun parlak ucunda farklı Hubble tipindeki galaksilerin dağılımı benzerlik göstermektedir. Bu da evrensel bir lüminozite fonksiyonunun varlığı için destek olarak görülmektedir (Binggeli, Sandage, Tammann, 1988). Bu tez çalışmasında Abell 2040 kümesi için elde edilen tipe özel lüminozite dağılımları bu ifade ile tutarlılık göstermektedir. Abell 2040 kümesinin lüminozite fonksiyonunun parlak ucundaki ($Mg \leq -22$) eliptik ve merceksi galaksilerin sayısı 16 iken spiral ve düzensiz galaksilerin sayısı ise 18'dir. Buradan erken ve geç tip galaksilerin Abell 2040 kümesinin lüminozite fonksiyonuna benzer miktarlarda katkı yaptığını söyleyebiliriz. Binggeli, Sandage ve Tammann (1988)'ın verdiği gibi, lüminozite fonksiyonunda esas farklılığın görüldüğü yer sönük uçtur. Bu bölgede cüce eliptik galaksiler (dE) lüminozite fonksiyonunda baskın olmaktadırlar. Bu tez çalışmasında Abell 2040 kümesine ait lüminozite fonksiyonunda sönük uçta böyle bir belirgin fark bulunmamıştır. Bunun nedeni olarak, Dressler'in listesinin yeteri kadar sönük cisimleri içermediği düşünülmektedir. Zaten Dressler'in listesinde cüce eliptik olarak sınıflanmış bir galaksi yeralmamaktadır. Burada akla gelebilecek soru, Abell 2040 kümesinde cüce eliptik galaksi bulunup bulunmadığı olabilir. Ancak Şekil 5.1.'den de görüldüğü gibi cüce eliptik galaksiler galaksi kümelerinde oldukça önemli bir yer tutmaktadırlar. O halde, bu problemi cüce eliptik galaksileri tespit edecek kadar sönük kadirlere gidilememiş olmasına bağlayabiliriz.

Abell 2040 kümesi nispeten yakın bir küme olduğundan küme üyesi galaksilerin görüntüleri makul bir kalitede elde edilebilmiştir (**Ek 2**). Ancak uzak kümeler sözkonusu olduğunda küme üyesi galaksilerin morfolojilerini belirlemek de başlı başına bir problem haline gelmektedir. Morfolojiler belirlenemeyince tipe özel lüminozite fonksiyonlarını oluşturmak da biraz zahmetli olmaktadır. Görüntülerin yeterli olmadığı durumlarda araştırmacılar parlaklık profilleri kullanarak galaksilerin tiplerini belirlemeye çalışmaktadırlar (Schneider, 2006).

Fotometrik kırmızıya kayma değerlerinin, spektroskopik kırmızıya kayma değerleri kullanılarak kalibre edilmesi ve daha doğru sonuçlar elde etmek mümkün olmaktadır. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, CFHTLS ile elde edilen fotometrik kırmızıya kayma değerleri VVDS taramasında yeralan yaklaşık 8000 galaksinin spektroskopik kırmızıya kayma değerleri kullanılarak kalibre edilmiştir (Ilbert ve ark.,

2006). Bu tip kalibrasyonların yapılması sonucunda fotometrik kırmızıya kayma değerlerinin oldukça iyileşebildiği görülmüştür (**Şekil 5.2**). Yakın zamanda yürütülmeye başlayacak çok büyük tarama projeleri bulunmaktadır. PAN-STARSS, Dark Energy Survey, SNAP gibi bu büyük projelerin esas amaçları doğrudan fotometrik kırmızıya kaymalar olmasa da, elde edilen çok bantta görüntüler ile fotometrik değerler ve bunlardan itibaren de kırmızıya kaymalar hesaplanabilecektir. Yapılacak kalibrasyon çalışmaları ile çok daha duyarlı sonuçlar elde edilebilecektir.




**Şekil 5.2.** CFHTLS için yapılan kalibrasyonların sonucunda elde edilen fotometrik kırmızıya kaymalar ile spektroskopik kırmızıya kaymaların karşılaştırılması (Ilbert ve ark. 2006).

Fotometrik kırmızıya kayma konusu ülkemizde bugüne kadar çalışılmış bir konu değildir. Ancak günümüzde veri madenciliğinin çok önemli bir hale geldiği göz önüne alınırsa, ülkemiz araştırmacılarının yapabilecekleri çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Tez boyunca sözü edilen büyük tarama projelerinin hepsinin en azından bir kısım verisi halka açılmış bulunmaktadır. Bu veriler kullanılarak fotometrik kırmızıya kaymalar hesaplanabilir, fotometrik kırmızıya kaymalar ile ilgili teorik çalışmalar yapılabilir veya en azından doğrudan fotometrik kırmızıya kayma değerleri alınarak kozmolojik

problemler üzerine gidilebilir. Bu tez çalışması ile konunun ilgili araştırmacılara tanıtılabilmesi umulmaktadır.

# KAYNAKLAR


- Abell, G. O., 1958, The Distribution of Rich Clusters of Galaxies, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 3, 211.
- Adelman-McCarthy, J. K. ve ark., 2007, The Sixth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey, *arXiv*: 0707.3413.
- Baum, W. A., 1957, Photoelectric determinations of redshifts beyond 0.2 c., *Astronomical Journal*, 62, 6.
- Baum, W. A., 1962, Photoelectric Magnitudes and Red-Shifts, *IAU Symposium No.15 Problems of extra-galactic research*, 390.
- Bautz, L. P. ve Morgan, W. W., 1970, On the Classification of the Forms of Clusters of Galaxies, *Astrophysical Journal*, 162, 149.
- Binggeli, B., Sandage, A., Tammann, G. A., 1988, The luminosity function of galaxies, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 26, 509.
- Bruzual, G. A., 1985, Spectral Evolution of Galaxies - Current Views, *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica*, 10, 55.
- Budavari, T., Szalay, A. S., Connolly, A. J., Csabai, I., Dickinson, M., 2000, Creating Spectral Templates from Multicolor Redshift Surveys, *Astronomical Journal*, 120, 1588.
- Colless, M., 1989, The dynamics of rich clusters. II Luminosity functions, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 237, 799.
- Connolly, A. J., Szalay, A. S., Bershady, M. A., Kinney, A. L., Calzetti, D., 1995a, Spectral Classification of Galaxies: an Orthogonal Approach, *Astronomical Journal*, 110, 1071.
- Connolly, A. J., Csabai, I., Szalay, A. S., Koo, D. C., Kron, R. G., Munn, J. A., 1995b, Slicing Through Multicolor Space: Galaxy Redshifts from Broadband Photometry, *Astronomical Journal*, 110, 2655.
- Dressler, A., 1980, A catalog of morphological types in 55 rich clusters of galaxies, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 42, 565.
- Fernandez-Soto, A., Lanzetta, K. M., Yahil, A., 1999, A New Catalog of Photometric Redshifts in the Hubble Deep Field, *Astronomical Journal*, 513, 34.

- Fontana, A., ve D'Odorico, S., Poli, F., Giallongo, E., Arnouts, S., Cristiani, S., Moorwood, A., Saracco, P., 2000, Photometric Redshifts and Selection of High-Redshift Galaxies in the NTT and Hubble Deep Fields, *Astronomical Journal*, 120, 2206.
- Gwyn, S. D. J., 1995, *Photometric Redshifts of Galaxies*, MSc thesis, University of Victoria.
- Gwyn, S. D. J., Hartwick, F. D. A., 1996, The Redshift Distribution and Luminosity Functions of Galaxies in the Hubble Deep Field, *Astronomical Journal*, 468L, 77.
- Gwyn, S. D. J., Hartwick, F. D. A., 2001, *The evolution of galaxies in the Hubble deep fields*, PhD thesis, University of Victoria.
- Holmberg, E., 1958, A photographic photometry of extragalactic nebulae, *Lund Medd. Astron. Obs. Ser.* II, 136, 1.
- Hubble, E., 1936, The luminosity function of nebulae. I. The luminosity function of resolved nebulae as indicated by their brightest stars, *Astrophysical Journal*, 84, 158.
- Ilbert, O. ve ark., 2006, Accurate photometric redshifts for the CFHT legacy survey calibrated using the VIMOS VLT deep survey, *Astronomy and Astrophysics*, 457, 841.
- Jerjen, H., 2006, Luminosity Function of Galaxies, Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics, ed. P. Murdin, *IOP Publishing*, ISBN:0333750888.
- Kennicutt, R. C. J., 1992, A spectrophotometric atlas of galaxies, *Astronomical Journal Supplement Series*, 79, 255.
- Koo, D. C., 1985, Optical multicolors - A poor person's Z machine for galaxies, *Astronomical Journal*, 90, 418.
- Loh, E. D. ve Spillar, E. J., 1986a, A measurement of the mass density of the universe, *Astronomical Journal*, 307L, 1.
- NASA Extragalactic Database (NED), http://nedwww.ipac.caltech.edu
- Pence, W., 1976, K-corrections for galaxies of different morphological types, *Astronomical Journal*, 203, 39.

- Press, W. H., Schechter, P., 1974, Formation of Galaxies and Clusters of Galaxies by Self-Similar Gravitational Condensation, *Astronomical Journal*, 187, 425.
- Redshift, http://en.wikipedia.org/wiki/Redshifts
- Schechter, P., 1976, An analytic expression for the luminosity function for galaxies, *Astronomical Journal*, 203, 297.
- Schneider, P., 2006, Extragalactic Astronomy and Cosmology, Springer, *ISBN*-13: 978-3540331742.
- Sloan Digital Sky Survey, http://www.sdss.org
- Struble, M. F. ve Rood, H. J., 1999, A Compilation of Redshifts and Velocity Dispersions for ACO Clusters, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 125, 35.
- Yoshii, Y., ve Takahara, F., 1988, Galactic evolution and cosmology - Probing the cosmological deceleration parameter, *Astronomical Journal*, 326, 1.
- Zwicky, F., 1942, On the Large Scale Distribution of Matter in the Universe, *Physical Review*, vol. 61, Issue 7-8,. 489.

# EKLER

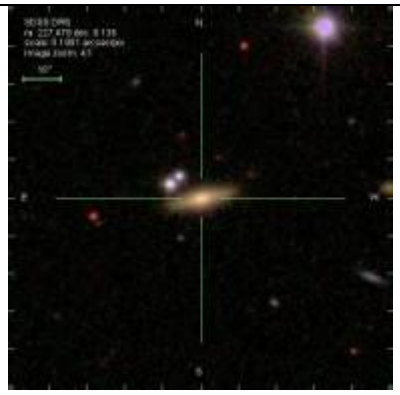
## EK 1. ABELL 2040 GALAKSİ KÜMESİNİN SDSS'DEN ALINAN PARLAKLIK VERİLERİ

| u | u_err | g | g_err | r | r_err | i | i_err | z | z_err |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17,541 | 0,018 | 16,117 | 0,003 | 15,409 | 0,003 | 15,019 | 0,003 | 14,675 | 0,005 |
| 19,226 | 0,048 | 17,369 | 0,006 | 16,442 | 0,004 | 16,048 | 0,004 | 15,690 | 0,007 |
| 17,744 | 0,044 | 16,008 | 0,005 | 15,193 | 0,004 | 14,802 | 0,003 | 14,223 | 0,006 |
| 17,866 | 0,021 | 15,922 | 0,003 | 15,038 | 0,003 | 14,627 | 0,003 | 14,277 | 0,004 |
| 17,768 | 0,030 | 16,572 | 0,005 | 16,123 | 0,005 | 15,861 | 0,006 | 15,673 | 0,017 |
| 18,157 | 0,036 | 16,453 | 0,004 | 15,630 | 0,003 | 15,229 | 0,003 | 14,888 | 0,006 |
| 17,168 | 0,023 | 15,257 | 0,003 | 14,397 | 0,002 | 13,983 | 0,002 | 13,666 | 0,004 |
| 18,430 | 0,047 | 17,406 | 0,010 | 17,046 | 0,014 | 16,946 | 0,047 | 16,920 | 0,049 |
| 18,419 | 0,031 | 16,566 | 0,004 | 15,726 | 0,003 | 15,324 | 0,003 | 15,006 | 0,007 |
| 25,203 | 1,465 | 24,901 | 0,954 | 23,965 | 0,899 | 22,010 | 0,254 | 21,876 | 0,995 |
| 17,737 | 0,021 | 15,822 | 0,003 | 14,960 | 0,003 | 14,565 | 0,003 | 14,209 | 0,005 |
| 18,796 | 0,039 | 16,976 | 0,005 | 16,090 | 0,004 | 15,682 | 0,004 | 15,300 | 0,008 |
| 17,943 | 0,032 | 16,448 | 0,004 | 15,770 | 0,004 | 15,417 | 0,005 | 15,140 | 0,011 |
| 17,368 | 0,015 | 15,404 | 0,003 | 14,532 | 0,002 | 14,121 | 0,002 | 13,753 | 0,004 |
| 18,297 | 0,031 | 16,375 | 0,004 | 15,514 | 0,003 | 15,099 | 0,003 | 14,756 | 0,006 |
| 17,263 | 0,016 | 15,289 | 0,003 | 14,331 | 0,002 | 13,824 | 0,002 | 13,398 | 0,003 |
| 24,431 | 1,230 | 21,983 | 0,087 | 21,351 | 0,070 | 20,431 | 0,041 | 20,410 | 0,143 |
| 17,596 | 0,028 | 16,284 | 0,004 | 15,694 | 0,004 | 15,379 | 0,004 | 15,125 | 0,009 |
| 17,728 | 0,020 | 15,769 | 0,003 | 14,880 | 0,002 | 14,440 | 0,002 | 14,073 | 0,004 |
| 18,520 | 0,043 | 17,067 | 0,006 | 16,395 | 0,005 | 15,996 | 0,005 | 15,747 | 0,015 |
| 17,870 | 0,025 | 16,041 | 0,003 | 15,221 | 0,003 | 14,803 | 0,003 | 14,470 | 0,005 |
| 17,076 | 0,027 | 15,357 | 0,003 | 14,391 | 0,003 | 13,915 | 0,002 | 13,511 | 0,004 |
| 19,468 | 0,055 | 17,547 | 0,008 | 16,610 | 0,006 | 16,184 | 0,007 | 15,830 | 0,011 |
| 17,777 | 0,020 | 16,381 | 0,004 | 15,683 | 0,003 | 15,333 | 0,003 | 15,017 | 0,006 |
| 18,303 | 0,032 | 16,304 | 0,005 | 15,382 | 0,005 | 14,938 | 0,005 | 14,565 | 0,007 |
| 18,263 | 0,029 | 16,276 | 0,004 | 15,348 | 0,003 | 14,900 | 0,003 | 14,506 | 0,005 |
| 16,731 | 0,014 | 14,912 | 0,002 | 14,049 | 0,002 | 13,623 | 0,002 | 13,259 | 0,003 |
| 17,613 | 0,024 | 16,414 | 0,004 | 15,781 | 0,004 | 15,449 | 0,004 | 15,153 | 0,008 |
| 16,280 | 0,012 | 14,287 | 0,002 | 13,381 | 0,002 | 12,939 | 0,002 | 12,595 | 0,002 |
| 19,274 | 0,054 | 17,361 | 0,006 | 16,515 | 0,004 | 16,112 | 0,004 | 15,787 | 0,009 |
| 18,050 | 0,033 | 16,270 | 0,004 | 15,366 | 0,003 | 14,909 | 0,003 | 14,529 | 0,005 |
| 17,751 | 0,025 | 16,375 | 0,004 | 15,704 | 0,003 | 15,320 | 0,004 | 15,023 | 0,009 |
| 19,186 | 0,038 | 17,302 | 0,005 | 16,443 | 0,004 | 16,044 | 0,004 | 15,707 | 0,008 |
| 18,651 | 0,042 | 16,732 | 0,004 | 15,867 | 0,004 | 15,464 | 0,004 | 15,144 | 0,008 |
| 18,550 | 0,033 | 16,720 | 0,004 | 15,886 | 0,003 | 15,485 | 0,003 | 15,189 | 0,008 |
| 17,709 | 0,032 | 15,828 | 0,003 | 14,963 | 0,003 | 14,523 | 0,003 | 14,178 | 0,006 |
| 17,271 | 0,026 | 15,380 | 0,003 | 14,475 | 0,002 | 14,033 | 0,002 | 13,653 | 0,004 |
| 18,425 | 0,029 | 16,479 | 0,004 | 15,591 | 0,003 | 15,174 | 0,003 | 14,834 | 0,005 |
| 19,109 | 0,045 | 17,226 | 0,006 | 16,371 | 0,004 | 15,960 | 0,004 | 15,627 | 0,008 |

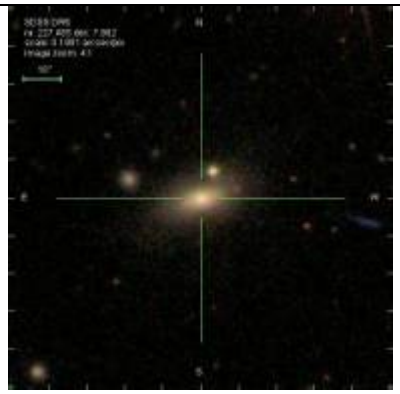
| u | u_err | g | g_err | r | r_err | i | i_err | z | z_err |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18,788 | 0,033 | 16,863 | 0,004 | 15,960 | 0,003 | 15,517 | 0,003 | 15,147 | 0,007 |
| 18,586 | 0,034 | 16,740 | 0,004 | 15,917 | 0,003 | 15,520 | 0,003 | 15,158 | 0,007 |
| 18,710 | 0,032 | 16,822 | 0,004 | 15,968 | 0,003 | 15,555 | 0,003 | 15,211 | 0,007 |
| 17,593 | 0,021 | 15,694 | 0,003 | 14,819 | 0,002 | 14,398 | 0,002 | 14,046 | 0,004 |
| 17,960 | 0,025 | 16,822 | 0,004 | 16,322 | 0,004 | 16,016 | 0,004 | 15,827 | 0,010 |
| 17,102 | 0,032 | 16,111 | 0,004 | 15,514 | 0,004 | 15,125 | 0,003 | 14,750 | 0,008 |
| 17,781 | 0,024 | 17,169 | 0,006 | 16,578 | 0,007 | 16,036 | 0,011 | 15,792 | 0,038 |
| 18,438 | 0,041 | 16,671 | 0,004 | 15,877 | 0,004 | 15,475 | 0,004 | 15,181 | 0,010 |
| 17,852 | 0,024 | 15,929 | 0,003 | 15,074 | 0,003 | 14,662 | 0,003 | 14,329 | 0,005 |
| 18,276 | 0,049 | 15,848 | 0,003 | 15,008 | 0,003 | 14,542 | 0,003 | 14,431 | 0,007 |
| 18,440 | 0,030 | 16,650 | 0,004 | 15,817 | 0,003 | 15,366 | 0,003 | 15,073 | 0,007 |
| 17,238 | 0,026 | 15,034 | 0,002 | 14,121 | 0,002 | 13,678 | 0,002 | 13,419 | 0,004 |
| 18,570 | 0,034 | 16,653 | 0,004 | 15,764 | 0,003 | 15,317 | 0,003 | 14,955 | 0,007 |
| 17,648 | 0,031 | 15,722 | 0,003 | 14,855 | 0,003 | 14,431 | 0,003 | 14,114 | 0,006 |
| 18,552 | 0,048 | 16,621 | 0,004 | 15,657 | 0,003 | 15,217 | 0,003 | 14,865 | 0,008 |
| 17,781 | 0,021 | 15,871 | 0,003 | 14,998 | 0,003 | 14,566 | 0,003 | 14,226 | 0,005 |
| 19,147 | 0,053 | 17,202 | 0,005 | 16,311 | 0,004 | 15,881 | 0,004 | 15,556 | 0,009 |
| 17,460 | 0,022 | 15,520 | 0,003 | 14,675 | 0,002 | 14,279 | 0,002 | 13,955 | 0,004 |
| 18,703 | 0,038 | 16,769 | 0,004 | 15,879 | 0,003 | 15,459 | 0,003 | 15,084 | 0,006 |
| 18,747 | 0,033 | 16,844 | 0,004 | 16,012 | 0,003 | 15,597 | 0,003 | 15,255 | 0,007 |
| 18,398 | 0,025 | 16,615 | 0,004 | 15,807 | 0,003 | 15,412 | 0,003 | 15,101 | 0,007 |
| 18,546 | 0,038 | 16,649 | 0,004 | 15,785 | 0,003 | 15,360 | 0,003 | 15,011 | 0,007 |
| 18,104 | 0,022 | 16,384 | 0,003 | 15,633 | 0,003 | 15,268 | 0,003 | 14,980 | 0,006 |
| 18,874 | 0,034 | 17,008 | 0,004 | 16,120 | 0,004 | 15,697 | 0,004 | 15,357 | 0,007 |
| 18,884 | 0,055 | 16,703 | 0,004 | 15,837 | 0,004 | 15,419 | 0,004 | 15,113 | 0,008 |
| 17,711 | 0,031 | 15,935 | 0,004 | 15,133 | 0,003 | 14,739 | 0,003 | 14,427 | 0,007 |
| 17,832 | 0,030 | 15,821 | 0,003 | 14,918 | 0,003 | 14,484 | 0,003 | 14,145 | 0,005 |
| 17,227 | 0,020 | 15,299 | 0,003 | 14,423 | 0,002 | 13,996 | 0,002 | 13,670 | 0,004 |
| 17,540 | 0,092 | 16,038 | 0,004 | 15,399 | 0,004 | 15,081 | 0,004 | 14,893 | 0,011 |
| 18,731 | 0,044 | 17,256 | 0,005 | 16,547 | 0,005 | 16,140 | 0,004 | 15,825 | 0,011 |
| 17,935 | 0,031 | 15,806 | 0,003 | 14,842 | 0,003 | 14,349 | 0,002 | 13,932 | 0,004 |
| 18,661 | 0,042 | 16,861 | 0,005 | 16,013 | 0,004 | 15,594 | 0,004 | 15,262 | 0,008 |
| 18,385 | 0,043 | 16,400 | 0,006 | 15,509 | 0,005 | 15,070 | 0,006 | 14,634 | 0,008 |
| 17,618 | 0,030 | 16,702 | 0,005 | 16,449 | 0,006 | 16,255 | 0,007 | 16,123 | 0,025 |
| 17,759 | 0,020 | 16,194 | 0,003 | 15,644 | 0,003 | 15,372 | 0,003 | 15,147 | 0,006 |
| 18,186 | 0,031 | 16,321 | 0,004 | 15,497 | 0,003 | 15,091 | 0,003 | 14,767 | 0,006 |
| 18,141 | 0,040 | 17,102 | 0,006 | 16,839 | 0,007 | 16,610 | 0,008 | 16,562 | 0,030 |
| 17,996 | 0,040 | 16,855 | 0,006 | 16,288 | 0,005 | 15,929 | 0,005 | 15,708 | 0,018 |
| 18,627 | 0,057 | 16,858 | 0,005 | 16,013 | 0,004 | 15,593 | 0,004 | 15,252 | 0,010 |
| 18,671 | 0,061 | 17,261 | 0,007 | 16,536 | 0,006 | 16,144 | 0,006 | 15,827 | 0,016 |
| 18,805 | 0,040 | 16,888 | 0,005 | 16,066 | 0,004 | 15,664 | 0,004 | 15,342 | 0,008 |
| 16,935 | 0,029 | 15,367 | 0,003 | 14,671 | 0,003 | 14,310 | 0,003 | 14,042 | 0,007 |
| 19,194 | 0,050 | 17,498 | 0,008 | 16,682 | 0,009 | 16,264 | 0,010 | 15,888 | 0,013 |
| 17,823 | 0,024 | 15,870 | 0,003 | 15,003 | 0,003 | 14,587 | 0,003 | 14,233 | 0,004 |
| 19,079 | 0,059 | 17,244 | 0,005 | 16,434 | 0,004 | 16,005 | 0,004 | 15,653 | 0,009 |
| 17,807 | 0,022 | 15,789 | 0,003 | 14,874 | 0,003 | 14,407 | 0,002 | 14,029 | 0,004 |
| 16,654 | 0,018 | 14,705 | 0,002 | 13,873 | 0,002 | 13,421 | 0,002 | 13,117 | 0,003 |
| 18,152 | 0,039 | 16,445 | 0,004 | 15,652 | 0,003 | 15,247 | 0,003 | 14,943 | 0,008 |
| 18,608 | 0,040 | 16,732 | 0,004 | 15,878 | 0,003 | 15,420 | 0,003 | 15,081 | 0,007 |
| 17,851 | 0,032 | 16,369 | 0,005 | 15,551 | 0,007 | 15,102 | 0,009 | 14,693 | 0,010 |

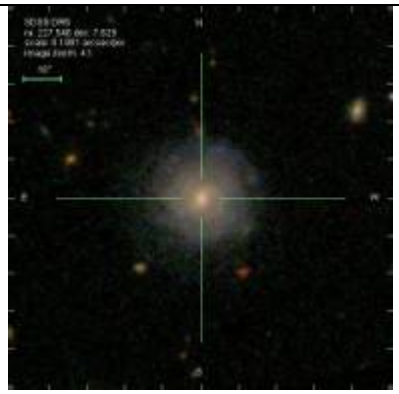
| u | u_err | g | g_err | r | r_err | i | i_err | z | z_err |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17,089 | 0,013 | 15,213 | 0,002 | 14,377 | 0,002 | 13,995 | 0,002 | 13,703 | 0,003 |
| 17,457 | 0,023 | 15,725 | 0,003 | 14,844 | 0,003 | 14,383 | 0,002 | 13,991 | 0,004 |
| 17,737 | 0,037 | 16,409 | 0,004 | 15,855 | 0,004 | 15,502 | 0,004 | 15,306 | 0,013 |
| 17,622 | 0,019 | 15,739 | 0,003 | 14,906 | 0,002 | 14,504 | 0,003 | 14,202 | 0,004 |
| 17,191 | 0,014 | 15,373 | 0,003 | 14,555 | 0,002 | 14,183 | 0,002 | 13,856 | 0,004 |
| 16,534 | 0,016 | 14,821 | 0,003 | 14,055 | 0,002 | 13,672 | 0,002 | 13,407 | 0,004 |
| 17,767 | 0,016 | 16,094 | 0,003 | 15,353 | 0,003 | 15,009 | 0,003 | 14,746 | 0,005 |
| 17,909 | 0,020 | 16,042 | 0,003 | 15,187 | 0,003 | 14,798 | 0,003 | 14,476 | 0,004 |
| 19,220 | 0,068 | 17,968 | 0,017 | 17,241 | 0,010 | 16,622 | 0,010 | 16,310 | 0,020 |
| 18,177 | 0,041 | 16,391 | 0,006 | 15,569 | 0,005 | 15,151 | 0,006 | 14,865 | 0,008 |
| 17,991 | 0,043 | 15,809 | 0,004 | 14,858 | 0,003 | 14,418 | 0,003 | 14,060 | 0,005 |
| 17,436 | 0,016 | 16,139 | 0,003 | 15,503 | 0,003 | 15,168 | 0,003 | 14,930 | 0,006 |
| 17,568 | 0,013 | 15,711 | 0,003 | 14,880 | 0,003 | 14,491 | 0,003 | 14,171 | 0,004 |
| 18,084 | 0,031 | 16,714 | 0,007 | 15,980 | 0,005 | 15,564 | 0,005 | 15,292 | 0,009 |
| 16,823 | 0,017 | 15,401 | 0,003 | 14,772 | 0,003 | 14,425 | 0,003 | 14,176 | 0,005 |
| 18,459 | 0,033 | 17,293 | 0,006 | 16,724 | 0,005 | 16,334 | 0,005 | 16,147 | 0,011 |
| 19,081 | 0,055 | 17,231 | 0,008 | 16,416 | 0,005 | 16,045 | 0,005 | 15,748 | 0,011 |
| 16,959 | 0,013 | 15,154 | 0,002 | 14,322 | 0,002 | 13,916 | 0,002 | 13,623 | 0,003 |
| 17,572 | 0,025 | 16,422 | 0,004 | 15,947 | 0,004 | 15,666 | 0,005 | 15,459 | 0,010 |
| 18,515 | 0,040 | 16,935 | 0,005 | 16,206 | 0,004 | 15,817 | 0,004 | 15,537 | 0,009 |
| 18,548 | 0,027 | 16,666 | 0,004 | 15,811 | 0,003 | 15,395 | 0,003 | 15,084 | 0,005 |
| 18,751 | 0,046 | 16,871 | 0,005 | 15,948 | 0,004 | 15,488 | 0,004 | 15,165 | 0,007 |

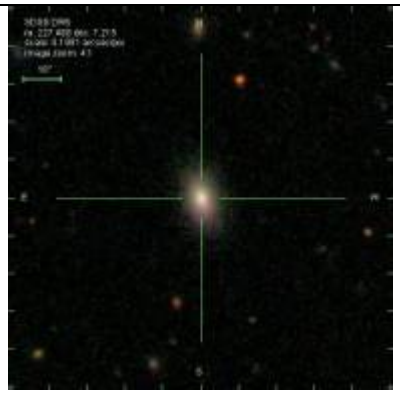
# EK 2. ABELL 2040 KÜMESİNİN SDSS'DEN ALINAN GÖRÜNTÜLERİ

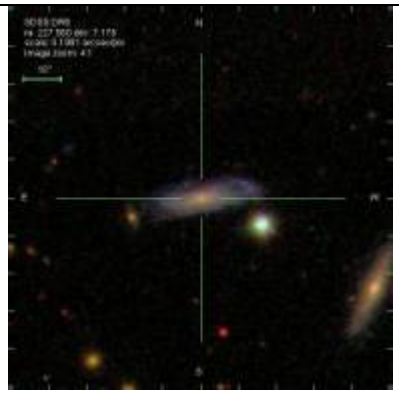

J150955.07+080810.4

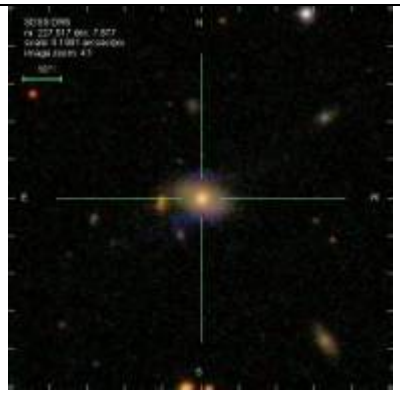

J151010.39+074229.5

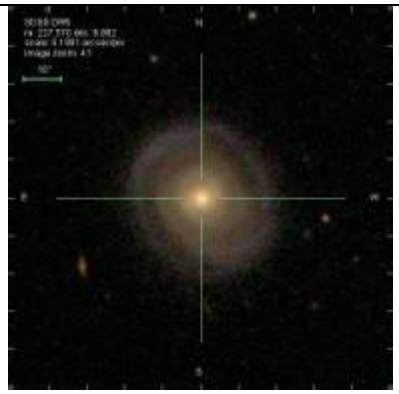

J150956.44+075254.4

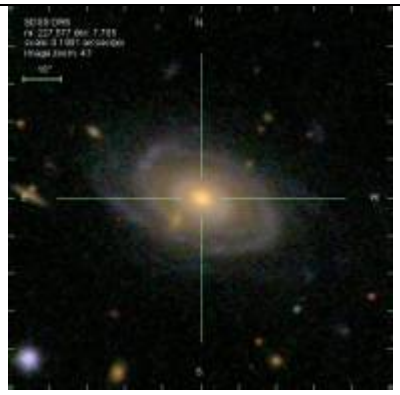

J151010.97+073744.2

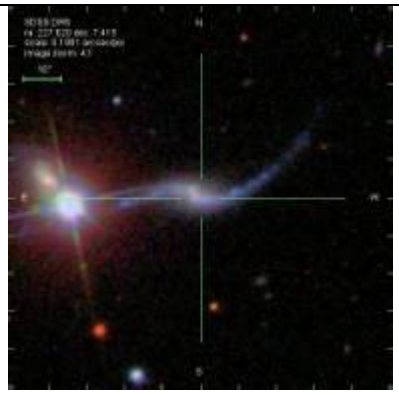

J150957.18+071252.7


J151014.41+071033.2


J151004.01+074037.1

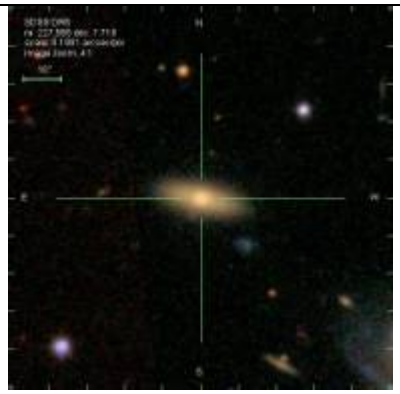

J151016.69+065332.0

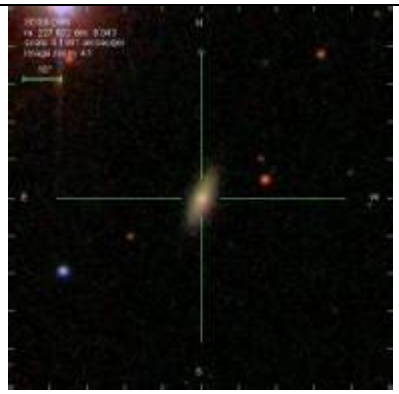

J151018.41+074219.5

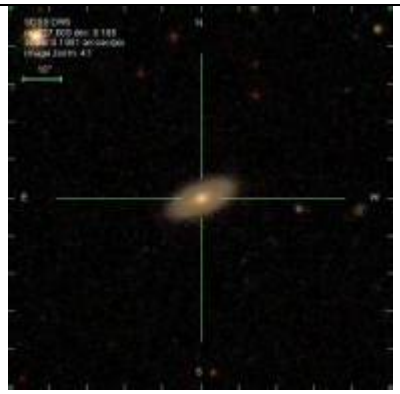

J151028.90+072455.4

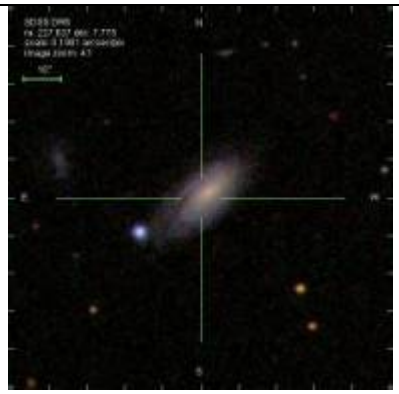

J151021.98+073919.4


J151031.62+072500.2

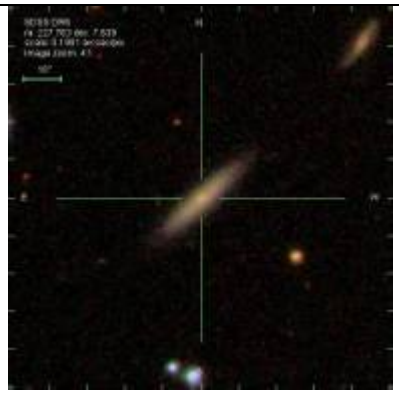

J151022.87+074304.2


J151031.75+080233.0

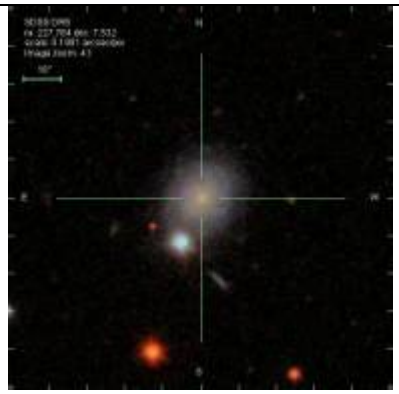

J151026.23+081108.9


J151032.90+074629.1


J151036.81+073907.9

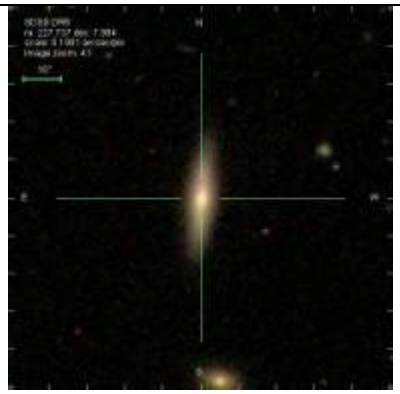

J151103.17+073820.7


J151048.30+071048.5

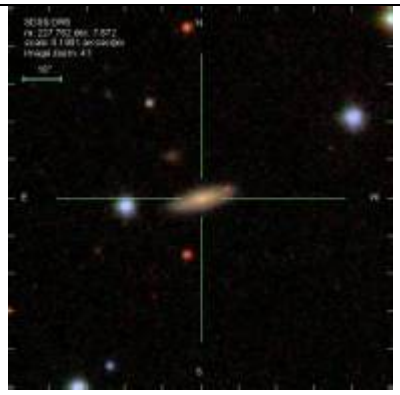

J151103.39+073155.7

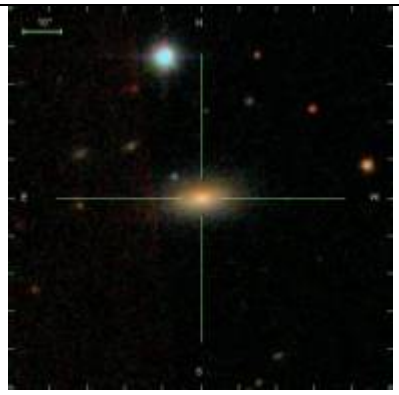

J151056.76+072153.4

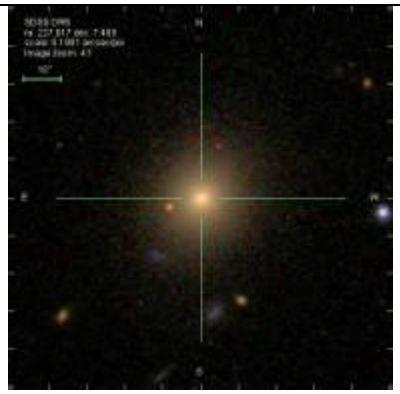

J151106.45+080802.1

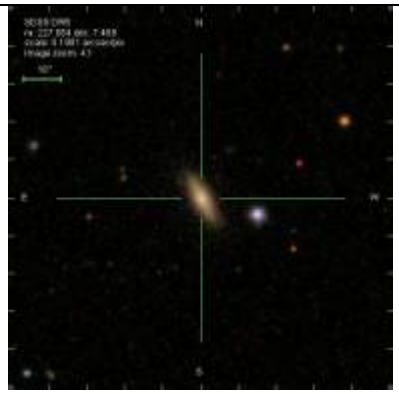

J151056.84+075938.4


J151107.31+073844.7


J151110.06+074019.3

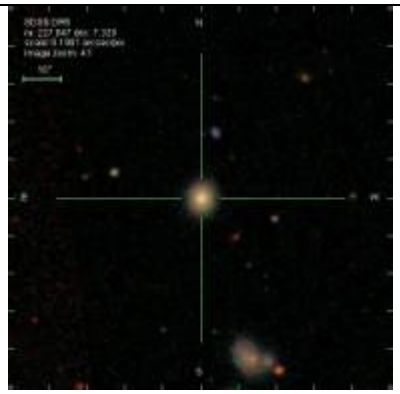

J151123.49+071625.7


J151116.00+072922.1


J151125.01+072807.3

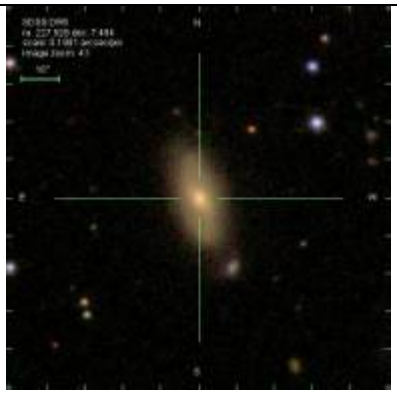

J151121.53+072250.6

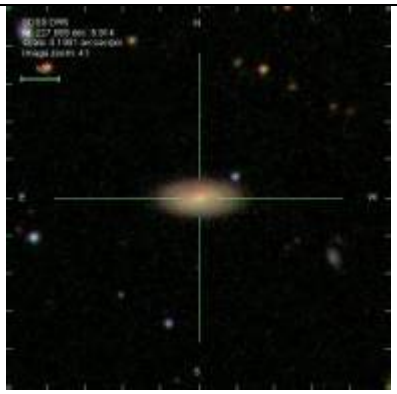

J151127.16+064250.8

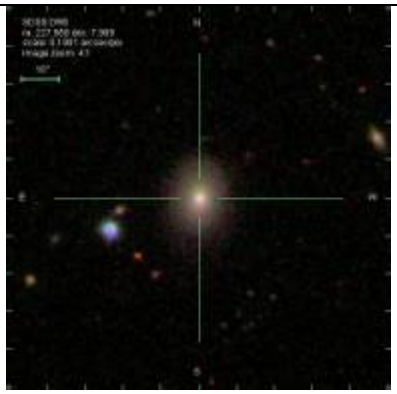

J151123.30+071911.7

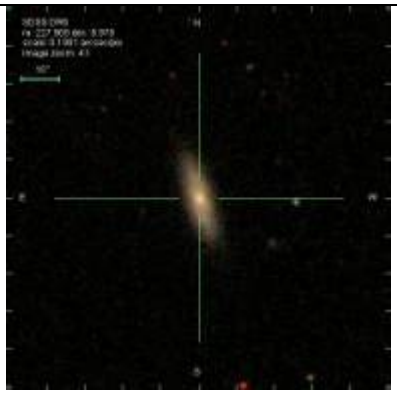

J151128.61+071544.0


J151131.38+071507.1

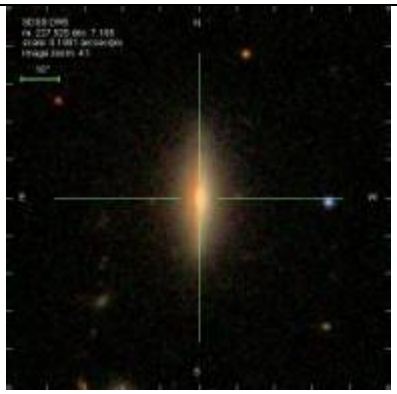

J151143.02+072937.5

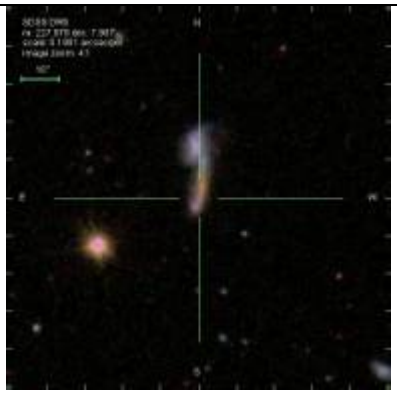

J151135.64+065451.8

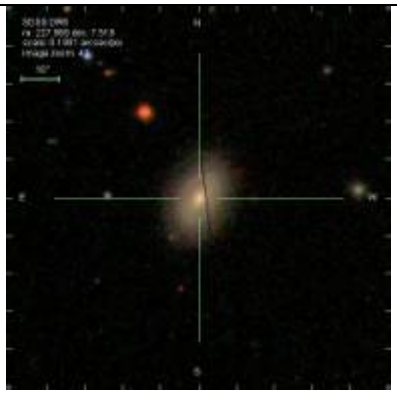

J151150.03+075918.6


J151138.25+065839.4

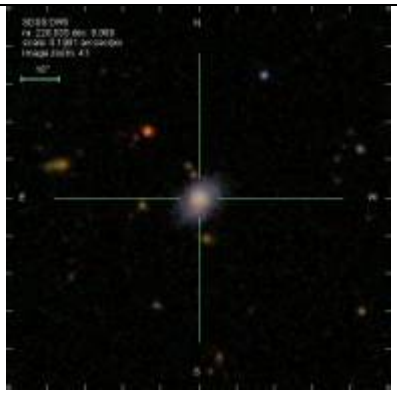

J151151.84+074244.6


J151142.11+070623.1


J151154.90+075424.3



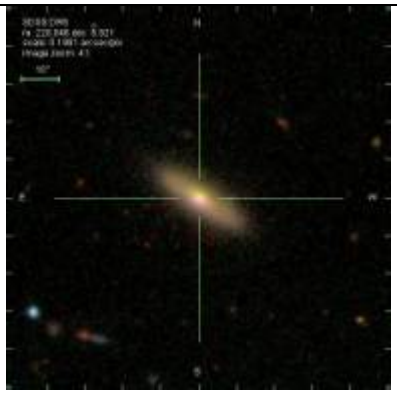
J151157.31+073106.8



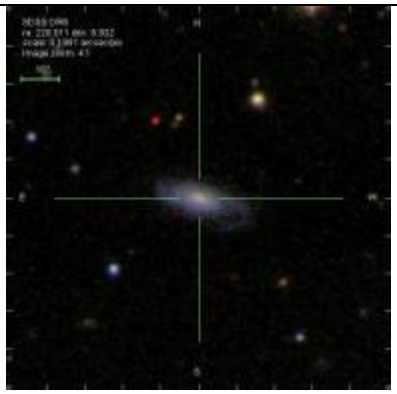
J151208.35+080406.4



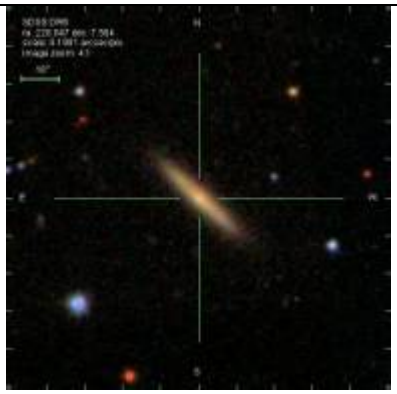
J151201.10+072322.3



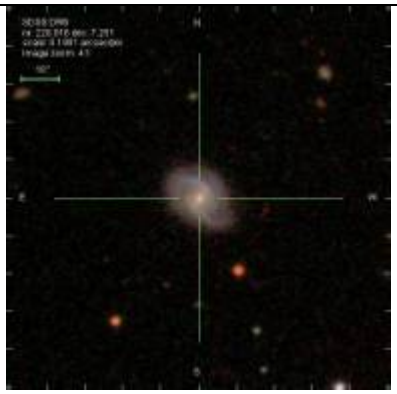
J151210.98+065514.0



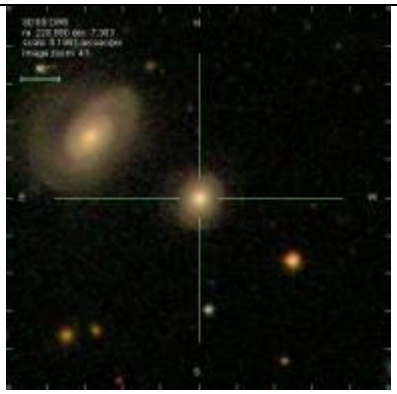
J151202.58+065553.9



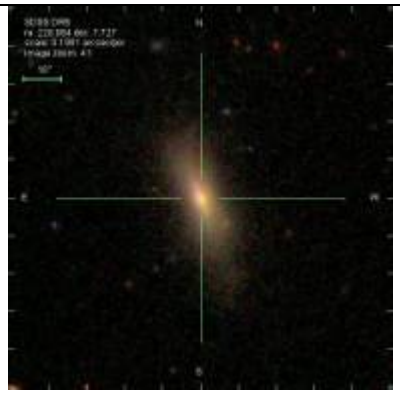
J151211.24+073351.4

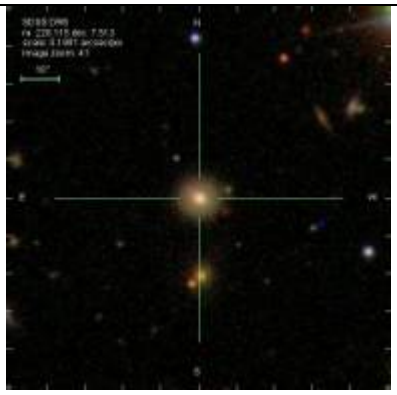


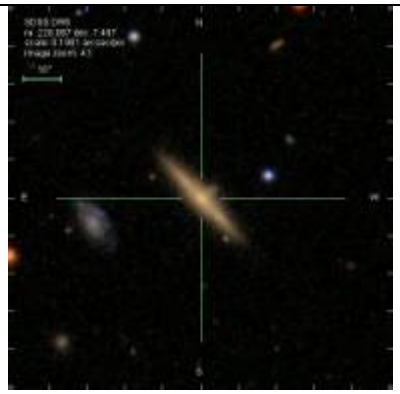
J151203.78+071502.6



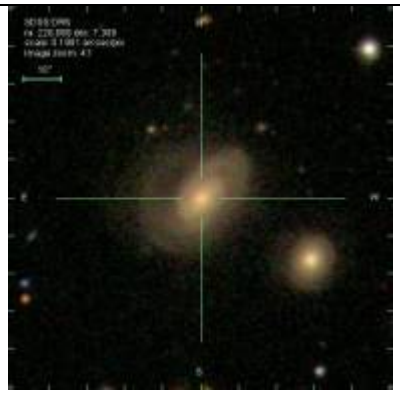
J151221.69+071812.1


J151222.61+074337.2

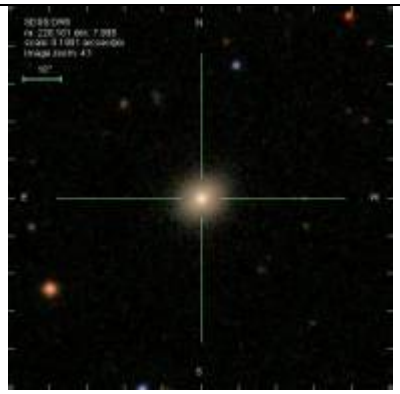

J151227.57+073045.4

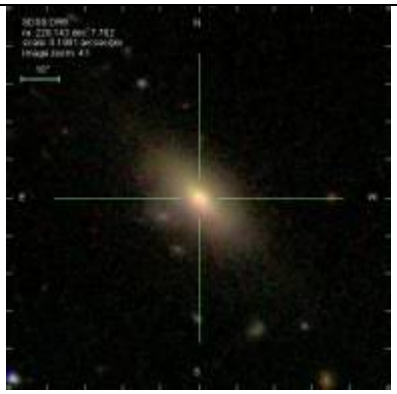

J151223.39+072948.7


J151228.14+075826.0

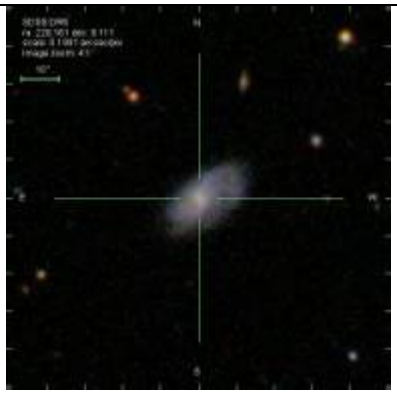

J151223.62+071828.2


J151232.49+073326.2

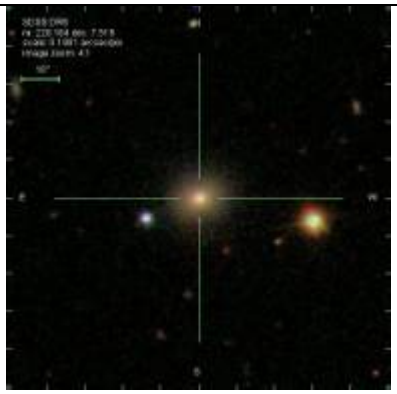

J151224.19+075343.8

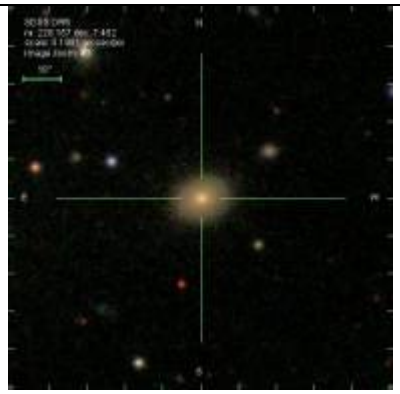

J151234.24+074542.2


J151234.33+072553.5

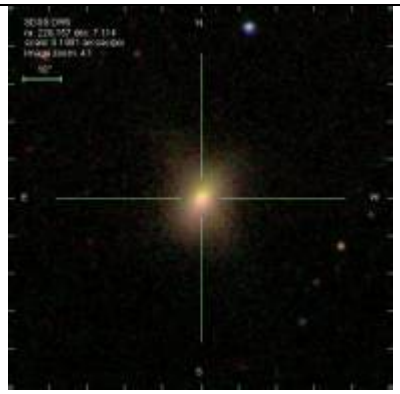

J151238.69+080638.7


J151235.08+072934.0

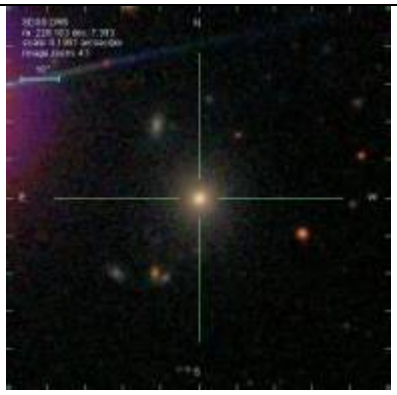

J151239.40+073110.0

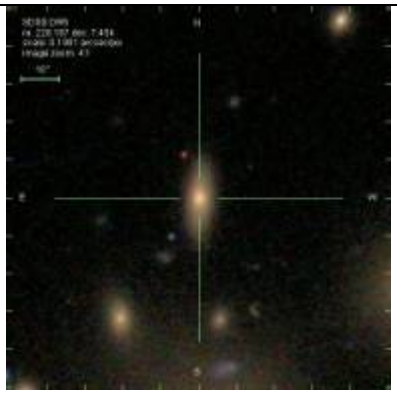

J151237.58+072706.5


J151241.44+073621.5

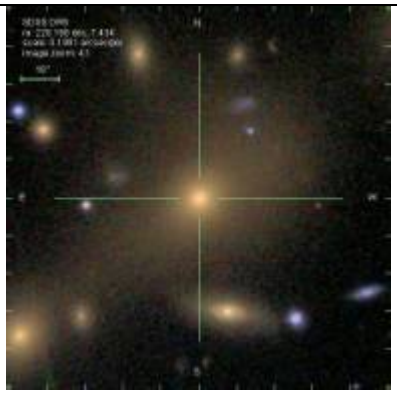

J151237.69+070651.7


J151243.30+072650.0


J151243.82+072334.8


J151247.17+072713.4


J151243.91+073337.4


J151247.49+072603.8

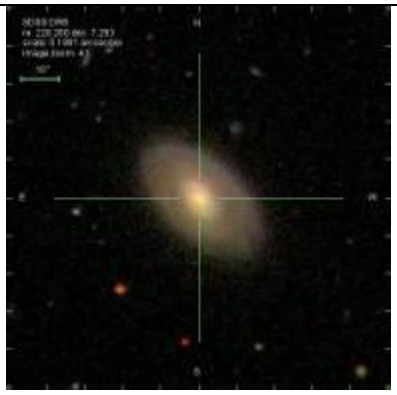

J151246.86+070434.7


J151250.67+072527.7

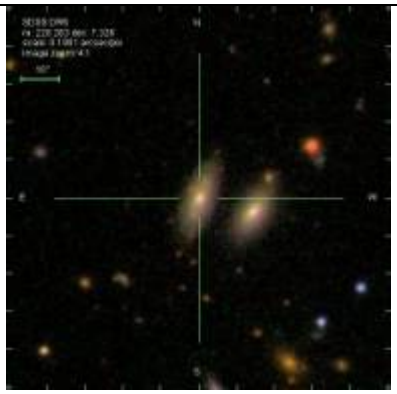

J151246.99+072534.0


J151253.95+070836.6

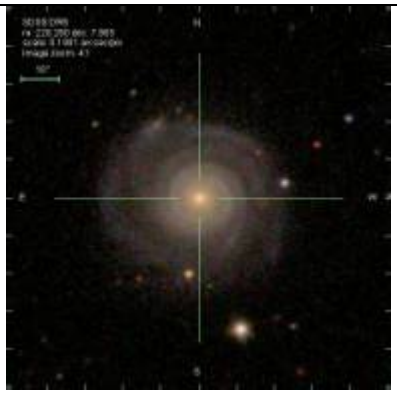

J151254.24+072041.4


J151302.37+071734.6

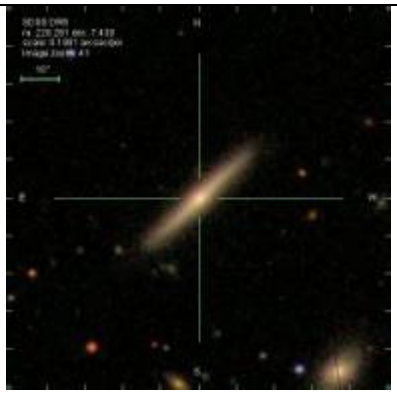

J151256.52+073030.9

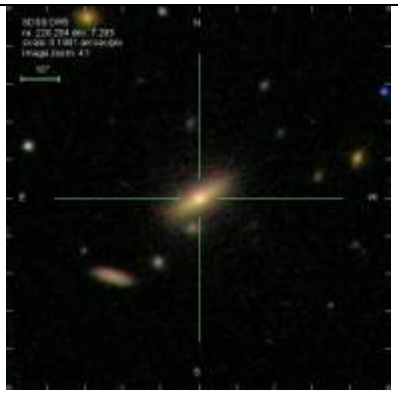

J151303.20+071932.6


J151258.51+073127.9

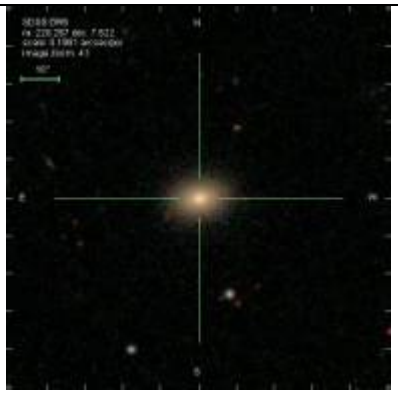

J151309.61+075153.1

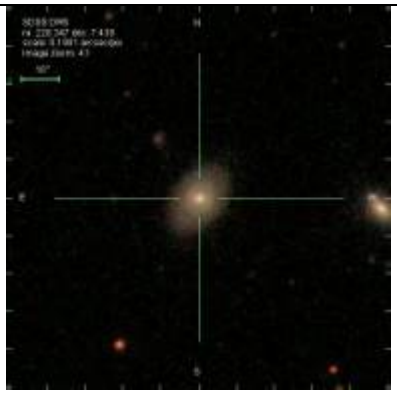

J151302.24+071929.0

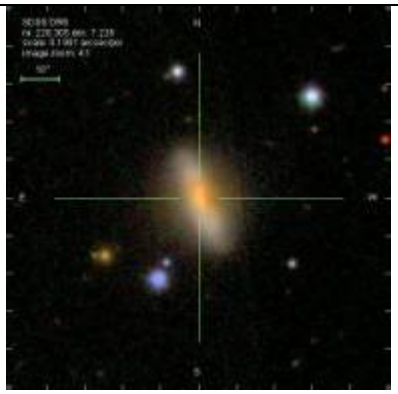

J151309.92+072616.9

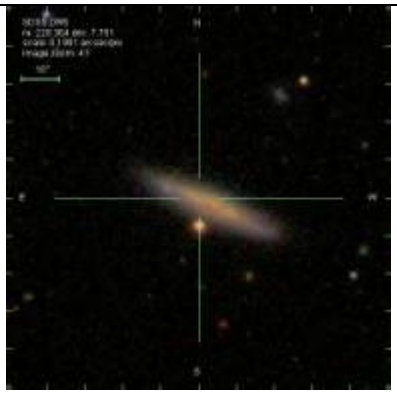

J151310.54+071705.8

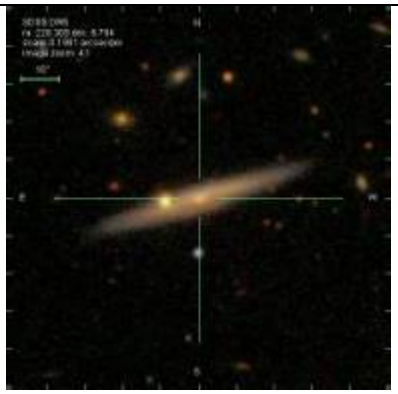

J151314.17+080247.0


J151311.36+073719.0

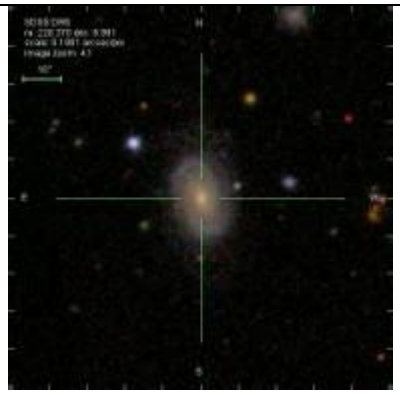

J151323.25+072617.1


J151313.11+071331.8

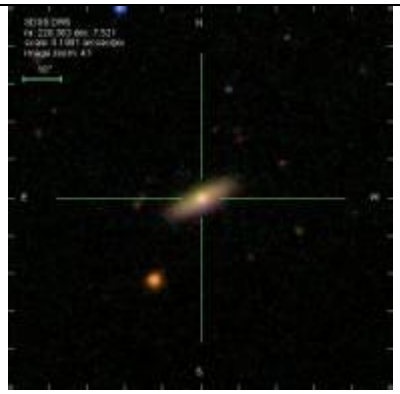

J151327.46+074503.8

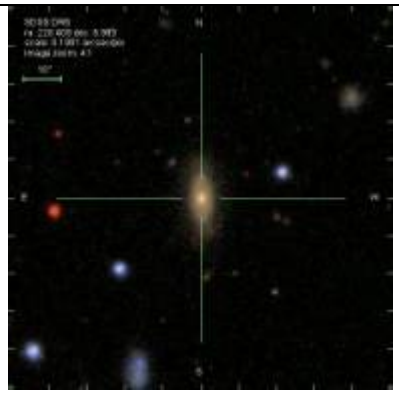

J151314.16+064739.5


J151327.82+080001.4


J151328.72+065928.4

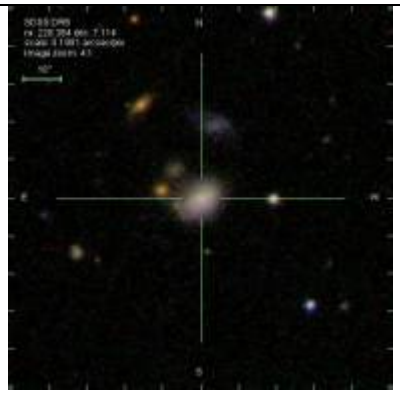

J151336.19+080508.6

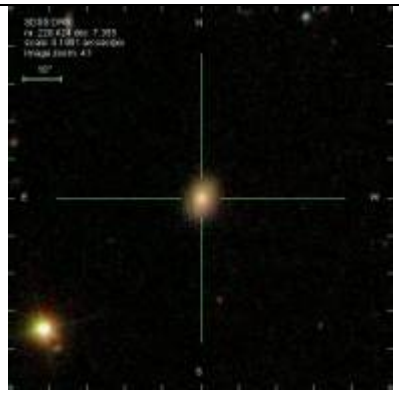

J151331.95+073116.7


J151338.08+065933.3

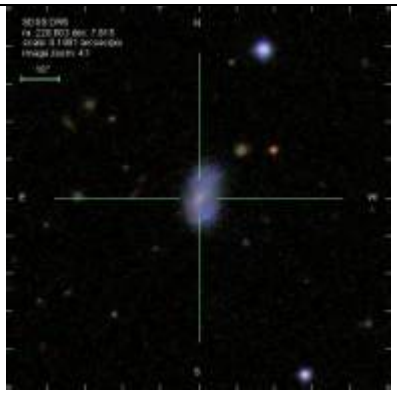

J151332.42+071341.5


J151338.32+070437.4


J151334.66+070648.7

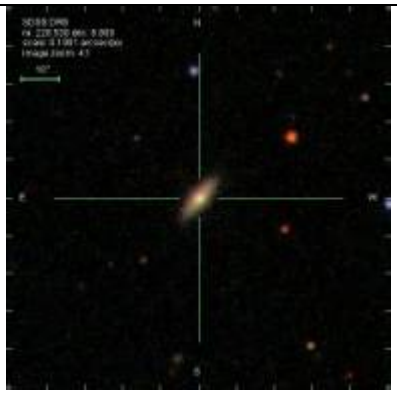

J151341.74+072118.2

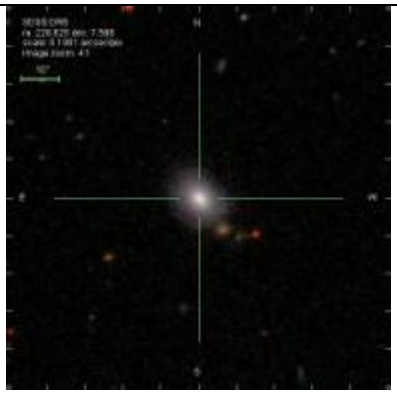

J151341.82+065603.3

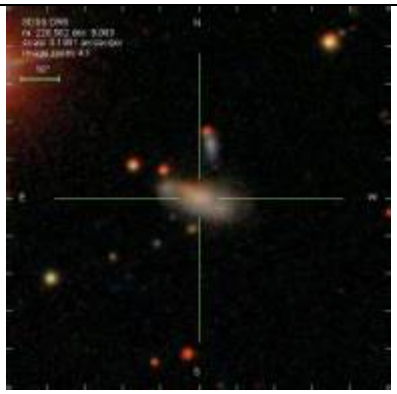

J151424.70+073652.6

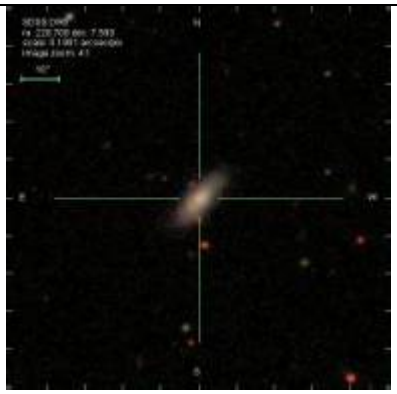

J151407.81+070019.0

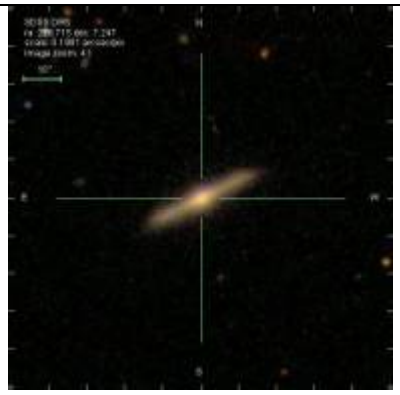

J151426.07+075329.1


J151409.21+064801.3

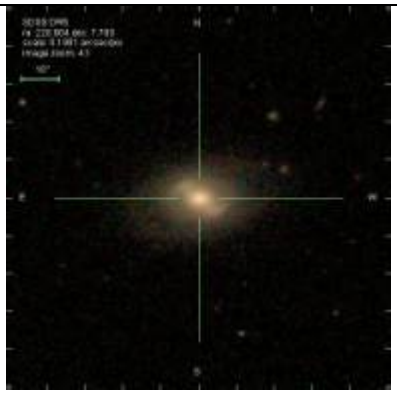

J151429.90+073546.7


J151414.98+080334.7


J151449.86+073524.9



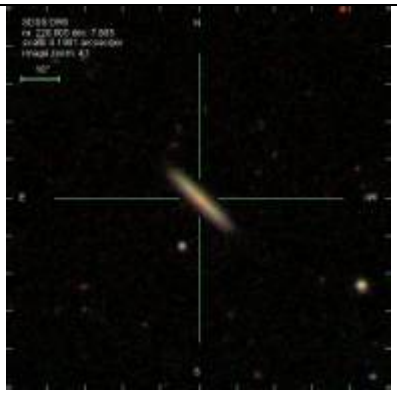
J151451.63+071447.7



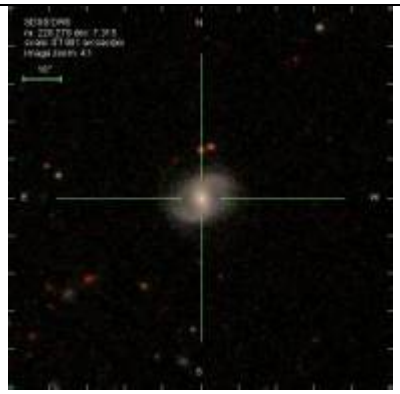
J151512.97+074647.9



J151455.30+071835.6



J151513.18+074107.0



J151506.94+071853.8



J151531.97+072829.0



J151507.54+070116.5

## EK 3. ABELL 2040 GALAKSİ KÜMESİNDEKİ GALAKSİLERİN MUTLAK PARLAKLIKLARI

| No | SDSS Adı | $M_u$ | $M_g$ | $M_r$ | $M_i$ | $M_z$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | J151127.16+064250.8 | -20,597 | -22,022 | -22,729 | -23,119 | -23,463 |
| **2** | J151409.21+064801.3 | -18,913 | -20,770 | -21,696 | -22,090 | -22,448 |
| **3** | J151314.16+064739.5 | -20,394 | -22,130 | -22,946 | -23,336 | -23,915 |
| **4** | J151210.98+065514.0 | -20,273 | -22,216 | -23,101 | -23,511 | -23,862 |
| **5** | J151202.58+065553.9 | -20,370 | -21,566 | -22,015 | -22,278 | -22,465 |
| **6** | J151135.64+065451.8 | -19,981 | -21,686 | -22,508 | -22,910 | -23,251 |
| **7** | J151016.69+065332.0 | -20,970 | -22,881 | -23,741 | -24,155 | -24,473 |
| **8** | J151341.82+065603.3 | -19,709 | -20,732 | -21,092 | -21,193 | -21,219 |
| **9** | J151138.25+065839.4 | -19,719 | -21,573 | -22,413 | -22,814 | -23,132 |
| **10** | J151507.54+070116.5 | -12,936 | -13,237 | -14,173 | -16,129 | -16,263 |
| **11** | J151407.81+070019.0 | -20,401 | -22,316 | -23,178 | -23,573 | -23,930 |
| **12** | J151338.08+065933.3 | -19,343 | -21,163 | -22,048 | -22,456 | -22,839 |
| **13** | J151328.72+065928.4 | -20,195 | -21,691 | -22,369 | -22,721 | -22,999 |
| **14** | J151338.32+070437.4 | -20,771 | -22,735 | -23,606 | -24,017 | -24,385 |
| **15** | J151246.86+070434.7 | -19,841 | -21,763 | -22,624 | -23,040 | -23,382 |
| **16** | J151142.11+070623.1 | -20,876 | -22,849 | -23,807 | -24,315 | -24,741 |
| **17** | J151334.66+070648.7 | -13,708 | -16,156 | -16,787 | -17,707 | -17,729 |
| **18** | J151253.95+070836.6 | -20,542 | -21,854 | -22,444 | -22,759 | -23,013 |
| **19** | J151237.69+070651.7 | -20,410 | -22,369 | -23,259 | -23,698 | -24,065 |
| **20** | J151014.41+071033.2 | -19,618 | -21,071 | -21,743 | -22,142 | -22,391 |
| **21** | J151332.42+071341.5 | -20,268 | -22,097 | -22,917 | -23,336 | -23,668 |
| **22** | J151313.11+071331.8 | -21,062 | -22,782 | -23,747 | -24,223 | -24,627 |
| **23** | J151048.30+071048.5 | -18,670 | -20,591 | -21,529 | -21,955 | -22,308 |
| **24** | J150957.18+071252.7 | -20,362 | -21,757 | -22,455 | -22,805 | -23,122 |
| **25** | J151451.63+071447.7 | -19,835 | -21,835 | -22,757 | -23,201 | -23,573 |
| **26** | J151310.54+071705.8 | -19,875 | -21,862 | -22,791 | -23,238 | -23,633 |
| **27** | J151302.37+071734.6 | -21,408 | -23,226 | -24,089 | -24,516 | -24,880 |
| **28** | J151203.78+071502.6 | -20,526 | -21,724 | -22,357 | -22,690 | -22,986 |
| **29** | J151131.38+071507.1 | -21,858 | -23,851 | -24,758 | -25,199 | -25,543 |
| **30** | J151128.61+071544.0 | -18,865 | -20,777 | -21,624 | -22,026 | -22,351 |
| **31** | J151123.49+071625.7 | -20,088 | -21,868 | -22,773 | -23,229 | -23,609 |
| **32** | J151506.94+071853.8 | -20,388 | -21,763 | -22,434 | -22,818 | -23,115 |
| **33** | J151455.30+071835.6 | -18,952 | -20,836 | -21,696 | -22,094 | -22,431 |
| **34** | J151303.20+071932.6 | -19,487 | -21,406 | -22,272 | -22,675 | -22,994 |
| **35** | J151302.24+071929.0 | -19,589 | -21,418 | -22,252 | -22,654 | -22,950 |
| **36** | J151254.24+072041.4 | -20,430 | -22,310 | -23,176 | -23,615 | -23,960 |
| **37** | J151223.62+071828.2 | -20,867 | -22,759 | -23,664 | -24,105 | -24,486 |
| **38** | J151221.69+071812.1 | -19,713 | -21,660 | -22,548 | -22,965 | -23,304 |

| No | SDSS Adı | $M_u$ | $M_g$ | $M_r$ | $M_i$ | $M_z$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **39** | J151123.30+071911.7 | -19,030 | -20,912 | -21,767 | -22,179 | -22,512 |
| **40** | J151341.74+072118.2 | -19,350 | -21,275 | -22,179 | -22,622 | -22,992 |
| **41** | J151243.82+072334.8 | -19,553 | -21,398 | -22,221 | -22,618 | -22,981 |
| **42** | J151201.10+072322.3 | -19,428 | -21,316 | -22,170 | -22,584 | -22,927 |
| **43** | J151121.53+072250.6 | -20,545 | -22,444 | -23,319 | -23,740 | -24,092 |
| **44** | J151056.76+072153.4 | -20,178 | -21,317 | -21,816 | -22,122 | -22,312 |
| **45** | J151031.62+072500.2 | -21,037 | -22,027 | -22,624 | -23,014 | -23,388 |
| **46** | J151028.90+072455.4 | -20,357 | -20,969 | -21,561 | -22,102 | -22,347 |
| **47** | J151323.25+072617.1 | -19,700 | -21,468 | -22,261 | -22,663 | -22,958 |
| **48** | J151309.92+072616.9 | -20,287 | -22,209 | -23,065 | -23,476 | -23,809 |
| **49** | J151250.67+072527.7 | -19,863 | -22,291 | -23,131 | -23,596 | -23,707 |
| **50** | J151246.99+072534.0 | -19,698 | -21,489 | -22,322 | -22,773 | -23,065 |
| **51** | J151247.49+072603.8 | -20,900 | -23,104 | -24,017 | -24,461 | -24,720 |
| **52** | J151247.17+072713.4 | -19,569 | -21,485 | -22,374 | -22,821 | -23,184 |
| **53** | J151243.30+072650.0 | -20,490 | -22,416 | -23,283 | -23,707 | -24,024 |
| **54** | J151237.58+072706.5 | -19,586 | -21,517 | -22,482 | -22,921 | -23,273 |
| **55** | J151234.33+072553.5 | -20,357 | -22,268 | -23,141 | -23,572 | -23,913 |
| **56** | J151125.01+072807.3 | -18,991 | -20,937 | -21,827 | -22,257 | -22,582 |
| **57** | J151531.97+072829.0 | -20,678 | -22,619 | -23,463 | -23,859 | -24,184 |
| **58** | J151331.95+073116.7 | -19,435 | -21,369 | -22,259 | -22,680 | -23,055 |
| **59** | J151258.51+073127.9 | -19,391 | -21,295 | -22,126 | -22,541 | -22,884 |
| **60** | J151256.52+073030.9 | -19,741 | -21,523 | -22,332 | -22,727 | -23,038 |
| **61** | J151239.40+073110.0 | -19,593 | -21,490 | -22,354 | -22,779 | -23,127 |
| **62** | J151235.08+072934.0 | -20,034 | -21,754 | -22,505 | -22,870 | -23,158 |
| **63** | J151227.57+073045.4 | -19,265 | -21,130 | -22,018 | -22,441 | -22,782 |
| **64** | J151223.39+072948.7 | -19,254 | -21,435 | -22,301 | -22,719 | -23,026 |
| **65** | J151157.31+073106.8 | -20,427 | -22,204 | -23,006 | -23,399 | -23,711 |
| **66** | J151143.02+072937.5 | -20,306 | -22,317 | -23,220 | -23,654 | -23,993 |
| **67** | J151116.00+072922.1 | -20,911 | -22,840 | -23,716 | -24,143 | -24,469 |
| **68** | J151103.39+073155.7 | -20,598 | -22,100 | -22,739 | -23,057 | -23,245 |
| **69** | J151449.86+073524.9 | -19,408 | -20,882 | -21,591 | -21,998 | -22,313 |
| **70** | J151243.91+073337.4 | -20,204 | -22,333 | -23,296 | -23,790 | -24,206 |
| **71** | J151232.49+073326.2 | -19,477 | -21,277 | -22,125 | -22,544 | -22,876 |
| **72** | J151211.24+073351.4 | -19,754 | -21,738 | -22,630 | -23,068 | -23,505 |
| **73** | J151424.70+073652.6 | -20,520 | -21,436 | -21,690 | -21,883 | -22,016 |
| **74** | J151429.90+073546.7 | -20,379 | -21,944 | -22,495 | -22,766 | -22,991 |
| **75** | J151311.36+073719.0 | -19,953 | -21,818 | -22,641 | -23,047 | -23,371 |
| **76** | J151241.44+073621.5 | -19,997 | -21,037 | -21,300 | -21,529 | -21,576 |
| **77** | J151107.31+073844.7 | -20,143 | -21,284 | -21,850 | -22,209 | -22,431 |
| **78** | J151103.17+073820.7 | -19,511 | -21,280 | -22,125 | -22,545 | -22,886 |
| **79** | J151036.81+073907.9 | -19,468 | -20,877 | -21,602 | -21,994 | -22,312 |

| No | SDSS Adı | $M_u$ | $M_g$ | $M_r$ | $M_i$ | $M_z$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **80** | J151021.98+073919.4 | -19,333 | -21,251 | -22,073 | -22,475 | -22,796 |
| **81** | J151010.97+073744.2 | -21,203 | -22,771 | -23,467 | -23,829 | -24,096 |
| **82** | J151513.18+074107.0 | -18,945 | -20,640 | -21,457 | -21,874 | -22,250 |
| **83** | J151151.84+074244.6 | -20,315 | -22,268 | -23,136 | -23,551 | -23,906 |
| **84** | J151110.06+074019.3 | -19,060 | -20,895 | -21,704 | -22,133 | -22,486 |
| **85** | J151022.87+074304.2 | -20,331 | -22,349 | -23,265 | -23,732 | -24,110 |
| **86** | J151018.41+074219.5 | -21,484 | -23,433 | -24,266 | -24,717 | -25,021 |
| **87** | J151010.39+074229.5 | -19,986 | -21,694 | -22,487 | -22,891 | -23,195 |
| **88** | J151004.01+074037.1 | -19,530 | -21,406 | -22,260 | -22,718 | -23,057 |
| **89** | J151327.46+074503.8 | -20,287 | -21,769 | -22,587 | -23,036 | -23,446 |
| **90** | J151234.24+074542.2 | -21,050 | -22,926 | -23,762 | -24,144 | -24,435 |
| **91** | J151222.61+074337.2 | -20,681 | -22,414 | -23,295 | -23,755 | -24,147 |
| **92** | J151032.90+074629.1 | -20,402 | -21,730 | -22,283 | -22,636 | -22,832 |
| **93** | J151512.97+074647.9 | -20,517 | -22,399 | -23,233 | -23,635 | -23,937 |
| **94** | J151426.07+075329.1 | -20,947 | -22,766 | -23,583 | -23,955 | -24,282 |
| **95** | J151309.61+075153.1 | -21,604 | -23,317 | -24,084 | -24,467 | -24,731 |
| **96** | J151224.19+075343.8 | -20,372 | -22,044 | -22,785 | -23,129 | -23,393 |
| **97** | J150956.44+075254.4 | -20,230 | -22,096 | -22,951 | -23,340 | -23,662 |
| **98** | J151154.90+075424.3 | -18,918 | -20,170 | -20,897 | -21,517 | -21,829 |
| **99** | J151327.82+080001.4 | -19,961 | -21,747 | -22,569 | -22,987 | -23,273 |
| **100** | J151228.14+075826.0 | -20,147 | -22,329 | -23,280 | -23,720 | -24,078 |
| **101** | J151150.03+075918.6 | -20,702 | -22,000 | -22,636 | -22,971 | -23,208 |
| **102** | J151056.84+075938.4 | -20,570 | -22,427 | -23,258 | -23,648 | -23,968 |
| **103** | J151414.98+080334.7 | -20,054 | -21,425 | -22,158 | -22,574 | -22,847 |
| **104** | J151314.17+080247.0 | -21,316 | -22,737 | -23,366 | -23,713 | -23,963 |
| **105** | J151208.35+080406.4 | -19,679 | -20,845 | -21,414 | -21,804 | -21,992 |
| **106** | J151031.75+080233.0 | -19,057 | -20,908 | -21,723 | -22,093 | -22,390 |
| **107** | J151336.19+080508.6 | -21,179 | -22,985 | -23,817 | -24,222 | -24,515 |
| **108** | J151238.69+080638.7 | -20,566 | -21,716 | -22,192 | -22,472 | -22,680 |
| **109** | J151106.45+080802.1 | -19,623 | -21,204 | -21,932 | -22,321 | -22,601 |
| **110** | J150955.07+080810.4 | -19,591 | -21,472 | -22,328 | -22,743 | -23,055 |
| **111** | J151026.23+081108.9 | -19,387 | -21,268 | -22,191 | -22,651 | -22,974 |

# ÖZGEÇMİŞ

## 1. Kimlik Bilgileri

**Adı:** Şebnem
**Soyadı:** SEZEN
**Doğum Tarihi:** 01.11.1980
**Doğum Yeri:** İstanbul
**Ünvanı:** Astronom
**Ev Adresi:** Atatürk Cad. Kireçhaneler Sok. No:4 D:11 81080, Erenköy - İstanbul
**Tel:** 0216 - 360 16 51
**Cep telefonu:** 0532 208 98 98
**Elektronik Posta:** sebnem_sezen@yahoo.com
**Yabancı Dil:** İngilizce (İleri)
**Sertifikalar:**

1) Intermediate, Temmuz 1995, Embassy Language and Training Centres, Hastings - East Sussex, İngiltere.
2) Upper-Intermediate, Temmuz 1996, Embassy Language and Training Centres, Hastings - East Sussex, İngiltere.
3) Advanced, Kasım 2003, İstanbul Lisan Merkezi, Kadıköy, İstanbul.
4) Ege University Proficiency Exam Certificate, 2004

## 2. Öğrenim Bilgileri

**İlkokul:** Kazım Karabekir İlköğretim Okulu, 1986 - 1991
**Ortaokul:** Fenerbahçe Lisesi, Göztepe - İstanbul, 1991 - 1994
**Lise:** Fenerbahçe Süper Lisesi, Göztepe - İstanbul, 1994 - 1998
**Lisans:** İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 1999 – 2003
**Yüksek Lisans:** Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik, 2004 – 2005 (Ders Aşaması)
**Yüksek Lisans:** İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri, 2005 - 2008

## 3. Üyesi Olduğu Kuruluşlar

İ.Ü.F.F. Amatör Astronomlar Kulübü (1999 - 2003)

## 4. İlgilendiği Konular

Gözlemsel Kozmoloji

## 5. Gözlemler

İstanbul Üniversitesi Gözlemevi, İstanbul
Eyüboğlu İkiz Gözlemevi, İstanbul
Çanakkale Astrofizik Gözlemevi

## 6. Katıldığı Toplantılar

**Toplantı Adı :** Mayıs 2000 Etkinlikleri
**Düzenleyen Kuruluş :** İ.Ü.F.F. Amatör Astronomlar Kulübü - İ.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
**Tarih :** 8 - 12 Mayıs 2000
**Yer :** İ.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

**Toplantı Adı:** III. Ulusal Gökyüzü Gözlem Şenliği
**Düzenleyen Kuruluş:** TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi – TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
**Tarih:** 1 – 3 Eylül 2000
**Yer:** TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Saklıkent, Bakırlıtepe.

**Toplantı Adı:** XII. Ulusal Astronomi Toplantısı
**Düzenleyen Kuruluş:** Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
**Tarih:** 4 – 8 Eylül 2000
**Yer:** Ege Üniversitesi, Bornova, İzmir.

**Toplantı Adı :** Mayıs 2001 Etkinlikleri
**Düzenleyen Kuruluş :** İ.Ü.F.F. Amatör Astronomlar Kulübü - İ.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
**Tarih :** 30 Nisan - 04 Mayıs 2001
**Yer :** İ.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul

**Toplantı Adı:** IV. Ulusal Gökyüzü Gözlem Şenliği
**Düzenleyen Kuruluş:** TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi – TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
**Tarih:** 14 – 16 Eylül 2001
**Yer:** TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Saklıkent, Bakırlıtepe.

**Toplantı Adı:** Optik İnterferometreler, Sıvı Aynalı Teleskoplar ve Kütleçekimsel Mercekler Çalıştayı
**Ders Veren:** Prof. Jean Surdej, University of Liege, Department of Astrophysics and Geophysics, Belgium.
**Düzenleyen Kuruluş:** Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fizik Bölümü
**Tarih:** 14 – 17 Mayıs 2002

**Yer:** Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.

**Toplantı Adı:** Yakın Çift Yıldız Çalışmalarında Yeni Gelişmeler: "Yıldızlara Giden Altın Yol"
**Düzenleyen Kuruluş:** Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fizik Bölümü
**Tarih:** 24 – 28 Haziran 2002
**Yer:** Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale

**Toplantı Adı:** V. Ulusal Gökyüzü Gözlem Şenliği
**Düzenleyen Kuruluş:** TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi – TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
**Tarih:** 30 Ağustos – 1 Eylül 2002
**Yer:** TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Saklıkent, Bakırlıtepe.

**Toplantı Adı:** V. Ulusal Gökyüzü Gözlem Şenliği
**Düzenleyen Kuruluş:** TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi – TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
**Tarih:** 30 – 1 Eylül 2002
**Yer:** TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Saklıkent, Bakırlıtepe.

**Toplantı Adı:** XIII. Ulusal Astronomi Toplantısı
**Düzenleyen Kuruluş:** TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
**Tarih:** 2 – 6 Eylül 2002
**Yer:** AKM Perge Salonu, Antalya.

**Toplantı Adı :** Mayıs 2003 Etkinlikleri
**Düzenleyen Kuruluş :** İ.Ü.F.F. Amatör Astronomlar Kulübü - İ.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
**Tarih :** 12 – 16 Mayıs 2003
**Yer :** İ.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul

**Toplantı Adı:** VI. Ulusal Gökyüzü Gözlem Şenliği
**Düzenleyen Kuruluş:** TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi – TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
**Tarih:** 22 – 24 Ağustos 2003
**Yer:** TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Saklıkent, Bakırlıtepe.

**Toplantı Adı:** XV. Ulusal Astronomi Toplantısı
**Düzenleyen Kuruluş:** İstanbul Kültür Üniversitesi – İstanbul Üniversitesi
**Tarih:** 28 Ağustos – 1 Eylül 2006
**Yer:** İstanbul Kültür Üniversitesi

## 7. Bildiriler

**Toplantı Adı :** Mayıs 2001 Etkinlikleri
**Bildiri Adı :** Geçmişten Günümüze Astronomi
**Düzenleyen Kuruluş :** İ.Ü.F.F. Amatör Astronomlar Kulübü - İ.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
**Tarih :** 30 Nisan - 04 Mayıs 2001
**Yer :** İ.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul

**Toplantı Adı :** XIII. Ulusal Astronomi Toplantısı
**Bildiri Adı :** WR Bileşenli Çift Yıldızların Moröte Değişkenliği
**Düzenleyen Kuruluş :** TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
**Tarih :** 2 – 6 Eylül 2002
**Yer :** AKM Perge Salonu, Antalya.

**Toplantı Adı :** Mayıs 2003 Etkinlikleri
**Bildiri Adı :** Güneş Sistemi Dışındaki Gezegen Araştırmaları
**Düzenleyen Kuruluş :** İ.Ü.F.F. Amatör Astronomlar Kulübü - İ.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
**Tarih :** 12 - 16 Mayıs 2003
**Yer :** İ.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul

**Toplantı Adı :** XV. Ulusal Astronomi Toplantısı
**Bildiri Adı :** Fotometrik Kırmızıya Kayma Yöntemi ve Uygulamaları
**Düzenleyen Kuruluş :** İstanbul Kültür Üniversitesi – İstanbul Üniversitesi
**Tarih :** 28 Ağustos – 1 Eylül 2006
**Yer :** İstanbul Kültür Üniversitesi

## 8. Yayınlar

- WR Bileşenli Çift Yıldızların Moröte Değişkenliği, **Sezen, Ş.**, 2002, XIII. Ulusal Astronomi Toplantısı Bildiri Kitabı, s. 345 – 350.
- Fotometrik Kırmızıya Kayma Yöntemi ve Uygulamaları, **Sezen, Ş.**, Limboz, F., Aliş, S., XV. Ulusal Astronomi Toplantısı Bildiri Kitabı, s. 689 – 698.