


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




**DOKTORA TEZİ**

# DOĞU ANADOLU GÖZLEMEVİ ADAPTİF OPTİK SİSTEMİNİN GALAKSİ ÇALIŞMALARINA ETKİSİNİN SİMÜLASYONLARLA İNCELENMESİ


**Süleyman FİŞEK**

**Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı**

**Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı**

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



**Şubat, 2025**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 10.02.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı Astronomi ve Uzay Bilimleri Programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi**

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

Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK
Atatürk Üniversitesi
Fen Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Onur KESKİN
Işık Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

Prof. Dr. Yüksel KARATAŞ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Can GÜNGÖR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

- **İntihal Programı Beyanı**

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

- **Proje Destekleri**


- **Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri**

| |
|---|
| S. Fişek ve S. Aliş, 2025, *DAG Teleskobu için Üretilen Simülasyon Görüntüleriyle Fotometrik Kırmızıya Kaymaların Belirlenmesi*, Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics, Volume 6, Issue 1. |

# ÖNSÖZ

Üniversitenin ilk yıllarından bu yana desteğini her zaman hissettiğim, yalnızca akademik olarak değil her anlamda da kendimi ileriye götürmem konusunda bana yol gösteren, tez çalışmaları sırasında benden kaynaklı her türlü problemi, gecikmeyi hoşgörüyle karşılayan, danışmanım, değerli Hocam Dr. Öğr. Üyesi Sinan ALİŞ'e ne kadar teşekkür etsem azdır.

Üniversite yaşamım boyunca her konuda bana destek olan Hocam Dr. F. Korhan Yelkenci'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Cahit Yeşilyaprak ve Dr. Öğr. Üyesi Onur Keskin Hocalarıma, tez çalışmalarım sırasında verdikleri destek ve katkılardan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince desteğini ve arkadaşlığını esirgemeyen takım arkadaşlarım Dr. E. Kaan Ülgen ve Oğuzhan Çakır'a,

Araştırmalarım sırasında fikir alışverişinde bulunduğum, birlikte çalıştığım arkadaşlarım Dr. Cihan Tuğrul Tezcan, Dr. Recep Balbay ve Dr. Onur Şatır'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım kapsamında sunulan araştırma ve altyapı imkanları için Türkiye Ulusal Gözlemevleri ve bünyesindeki Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG)'ne ve DAG Ekibi'ne teşekkür ederim.

Sevgili eşim Bilge Yavuzçetin Fişek'e sevgilerimi sunuyorum. Eminim onsuz her şey çok zor olurdu.

Hayatımın her aşamasında koşulsuz şartsız yanımda olan, değerli aileme şükranlarımı sunarım.

Şubat, 2025 Süleyman FİŞEK

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa No**

**ÖNSÖZ** ..... **iv**
**İÇİNDEKİLER** ..... **vi**
**ŞEKİL LİSTESİ** ..... **ix**
**TABLO LİSTESİ** ..... **xi**
**SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ** ..... **xiii**
**ÖZET** ..... **xiv**
**SUMMARY** ..... **xv**
**1. GİRİŞ** ..... **1**
**2. GENEL KISIMLAR** ..... **2**
2.1. DOĞU ANADOLU GÖZLEMEVİ ..... 2
2.1.1. DIRAC ..... 4
2.1.2. TROIA ..... 5
2.2. ADAPTİF OPTİK ..... 8
2.3. GALAKSİLER ..... 11
2.4. GALAKSİ SİMÜLASYONLARI ..... 16
2.5. FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMA ..... 19
**3. MALZEME VE YÖNTEM** ..... **22**
3.1. ÇALIŞMADA İNCELENEN GALAKSİLER ..... 22
3.2. DAG YERLESKESİ GÖKYÜZÜ PARLAKLIĞI ÖLÇÜMÜ ..... 25
3.3. DAG AO SİSTEMİ İÇİN PSF ÜRETİLMESİ ..... 26
3.4. SİMÜLASYON GÖRÜNTÜLERİNİN ÜRETİLMESİ ..... 29
3.4.1. Küme Alanları ..... 29
3.4.2. Sentetik Galaksiler ..... 32
3.5. GÖRÜNTÜLERİN ANALİZİ ..... 35
3.6. GALAKSİLERİN FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMALARININ HESAPLANMASI ..... 37
**4. BULGULAR** ..... **39**

4.1. ABELL 193 VE ABELL 2255 GALAKSİ KÜME ALANLARI ..... 39
4.1.1. Abell 193 Kümesine Ait Sonuçlar ..... 40
4.1.2. Abell 2255 Kümesine Ait Sonuçlar ..... 48
4.2. SİMÜLE GALAKSİLER İLE DAG TELESKOBU İÇİN FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMA DOĞRULUKLARININ BELİRLENMESİ ..... 55
4.2.1. Parlaklıkların ve Kırmızıya Kaymaların Belirlenmesi ..... 58
4.2.2. Fotometrik Kırmızıya Kaymaların Doğrulukları ..... 58
**5. TARTIŞMA VE SONUÇ ..... 62**
**KAYNAKLAR ..... 66**
**EKLER ..... 73**
**EK 1.** Tezden Üretilmiş Yayının Kapak Sayfası ..... 73
**ÖZGEÇMİŞ ..... 75**

# ŞEKİL LİSTESİ

**Page No**

**Şekil 2.1** DAG Teleskobu fabrika kabul testleri, Milano / İtalya, 2019. DAG Teleskobu ve iki adet Nasmyth Odakları (sol) ile aktif optik sistemi (sağ) görülmektedir. Görsel: Türkiye Ulusal Gözlemevleri ..... 3

**Şekil 2.2** DAG Teleskobu optik tasarımı (Yesilyaprak *ve diğ.*, 2024) ..... 3

**Şekil 2.3** DAG yerleskesi, 3170m Karaya Tepeleri, Erzurum. Görsel: Türkiye Ulusal Gözlemevleri. ..... 4

**Şekil 2.4** DAG teleskobunun AO sistemlerinin bulunacağı Nasmyth platformu ve termal oda... 5

**Şekil 2.5** DIRAC detektörü ve cryo mekanizmalı soğutma tankı..... 5

**Şekil 2.6** DAG-AO sistemi olan TROIA'nın tasarımın şematik gösterimi (Keskin *ve diğ.*, 2022) 6

**Şekil 2.7** TROIA sisteminin referans yıldız (NGS) parlaklığına bağlı olarak düzeltme gücü (Strehl oranı) (Keskin *ve diğ.*, 2020). ..... 7

**Şekil 2.8** M13 küresel yıldız kümesi Gemini Kuzey Gözlemevi'nden, AO sistemi olmadan (panel a) ve AO sistemi Altair devrede (panel b) iken gözlenmiştir. Panel a'daki görüntü, V bandında alınmış ve atmosferik türbülansın sebep olduğu etkiler düzeltilmemiştir; FWHM değeri 0.85 yaysaniyesidir. Panel b'deki görüntü ise K bandında (2.12 $\mu m$) AO düzeltmesi ile birlikte alınmış ve FWHM değeri 92 mas'tir. Görsel: Gemini Observatory/NSF/AURA/CNRC-Herzberg. ..... 9

**Şekil 2.9** AO sisteminin temel çalışma prensibi: WFS dalga cephesindeki bozulmaları ölçer ve bu bilgiyi dalga cephesini düzeltmek için DM'e gönderir. Düzeltilmiş dalga cephesinin odağında bulunan dedektör, düzeltilmiş yüksek çözünürlüklü görüntüyü alır (Davies & Kasper, 2012). ..... 11

**Şekil 2.10** Hubble galaksi sınıflamasının şematik gösterimi. Şemada, eliptik (E), merceksi (S0, SB0), çubuklu (SB) ve çubuksuz spiral (S) ve düzensiz (Irr) galaksiler gösterilmektedir..... 13

**Şekil 2.11** Rubin Gözlemevi (sol) ve Roman Teleskobu (sağ) simülasyonlarının karşılaştırılması (Troxel *ve diğ.*, 2023). ..... 17

**Şekil 2.12** Kozmik Ağ, z= 0, Millennium-XXL simülasyonu (Angulo *ve diğ.*, 2012). ..... 18

**Şekil 2.13** Illustris Simülasyonunda üretilen farklı tür galaksilerden örnekler (Illustris Collaboration). ..... 19

**Şekil 2.14** Sol: g,r,i filtrelerinde gözlenmiş CFHTLS D1 alanının küçük bir bölümü. Sağ: `SExtractor` kullanılarak fit edilmiş bulge+disk modeli parametrelerini içeren kataloglardan `SkyMaker` ile simüle edilmiş görüntü. ..... 20

**Şekil 2.15** Gelişmiş gürültü modelleri kullanarak gerçekçi galaksi simülasyonuna bir örnek (Smith *ve diğ.*, 2022). ..... 21

**Şekil 3.1** Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların gösterildiği akış şeması ..... 23

**Şekil 3.2** Abell 193 (sol) ve Abell 2255 (sağ) galaksi kümelerinin SDSS'den alınan renkli görüntüleri. ..... 24

**Şekil 3.3** DAG Yerleskesi kırmızıöte gökyüzü parlaklığı ölçümü ön çalışmaları için hazırlanan kurgu (sol) ve kubbe içerisinde bulunduğu DAG-MAM Kulesi (sağ). Görseller: Türkiye Ulusal Gözlemevleri ..... 25

**Şekil 3.4** 0.3" ve 1.5" atmosferik görüş değerleri için J-bandı PSF görüntüleri (sol) ve şiddet grafikleri (sağ). ..... 28

**Şekil 3.5** Solda, Abell 2255 Galaksi Kümesinin RTT150-TFOSC ile tek bir pozda alınan i bandı görüntüsü; sağda, aynı boyutlardaki alanın DAG-DIRAC ile gözlenmesi durumunda kırmızı kutular ile DIRAC görüş alanlarını göstermektedir. ..... 30

**Şekil 3.6** Abell 193 kümesine ait optik ve kırmızıöte görüntüler. Görüntüler 0.3" atmosferik görüş değeri için üretilmiştir. İlk iki sırada sırayla "ugriz" bantlarındaki görüntüler, son sırada ise "JHKs" bantlarındaki görüntüler verilmektedir. ..... 31

**Şekil 3.7** Abell 2255 kümesine ait optik ve kırmızıöte görüntüler. Görüntüler 0.3" atmosferik görüş değeri için üretilmiştir. İlk iki sırada sırayla "ugriz" bantlarındaki görüntüler, son sırada ise "JHKs" bantlarındaki görüntüler verilmektedir. ..... 32

**Şekil 3.8** Üretilen 5 simülasyonun 0.3" atmosferik görüş değerindeki i-bandı görüntüleri. ..... 34

**Şekil 3.9** `SExtractor` ile kullanılan Kron açıklıklarına (kesikli çizgiler) bir örnek. ..... 36

**Şekil 3.10** `LePhare` programının çalıştırılmasında izlenen ana adımlar (Sezen, 2008). ..... 37

**Şekil 4.1** Abell 193 kümesine ait 350 galaksinin i-bandı parlaklık dağılımı. Grafikte tüm atmosferik görüş değerleri için histogramlar farklı renklerle gösterilmektedir. ..... 40

**Şekil 4.2** Abell 193 kümesindeki galaksilerin i-bandı parlaklık hatalarının parlaklığın fonksiyonu olarak gösterimi. Farklı atmosferik görüş değerleri için noktalar ve eğriler farklı renklerle belirtilmiştir. ..... 41

**Şekil 4.3** Abell 193 kümesindeki galaksilerin J, H ve Ks bantları için parlaklık dağılımları. Histogramlar AO devre-dışı (sol) ve devredeyken (sağ) elde edilmiştir. ..... 44

**Şekil 4.4** Abell 193 kümesindeki galaksilerin J, H ve Ks bantlarındaki parlaklık hatalarının parlaklığın fonksiyonu olarak gösterimi. Farklı atmosferik görüş değerleri için noktalar ve eğriler farklı renklerle belirtilmiştir. AO sistemi aktif değilken ve devredeyken elde edilen noktalar ve eğriler farklı semboller ve renklerle belirtilmiştir. ..... 45

**Şekil 4.5** Abell 193 kümesi için simüle edilmiş görüntülerden elde edilen b/a oranları ile SDSS veritabanından alınan b/a değerlerinin karşılaştırılması. Grafikler yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla 0.3", 0.7", 1.0" ve 1.5" atmosferik görüş değerleri için AO sistemi etkin değilken (sol) ve etkin durumdayken (sağ) elde edilen sonuçları göstermektedir. ..... 47

**Şekil 4.6** Abell 2255 kümesine ait 745 galaksinin i-bandı parlaklık dağılımı. Grafikte tüm atmosferik görüş değerleri için histogramlar farklı renklerle gösterilmektedir. ..... 48

**Şekil 4.7** Abell 2255 kümesindeki galaksilerin i-bandı parlaklık hatalarının parlaklığın fonksiyonu olarak gösterimi. Farklı atmosferik görüş değerleri için noktalar ve eğriler farklı renklerle belirtilmiştir. ..... 49

**Şekil 4.8** Abell 2255 kümesindeki galaksilerin J, H ve Ks bantları için parlaklık dağılımları. Histogramlar AO devre-dışı (sol) ve devredeyken (sağ) elde edilmiştir. ..... 51

**Şekil 4.9** Abell 2255 kümesindeki galaksilerin J, H ve Ks bantlarındaki parlaklık hatalarının parlaklığın fonksiyonu olarak gösterimi. Farklı atmosferik görüş değerleri için noktalar ve eğriler farklı renklerle belirtilmiştir. AO sistemi aktif değilken ve devredeyken elde edilen noktalar ve eğriler farklı semboller ve renklerle belirtilmiştir. ..... 52

**Şekil 4.10** Abell 2255 kümesi için simüle edilmiş görüntülerden elde edilen b/a oranları ile SDSS veritabanından alınan b/a değerlerinin karşılaştırılması. Grafikler yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla 0.3", 0.7", 1.0" ve 1.5" atmosferik görüş değerleri için AO sistemi etkin değilken (sol) ve etkin durumdayken (sağ) elde edilen sonuçları göstermektedir. ..... 54

**Şekil 4.11** **Tablo 4.9**'da verilen beş farklı simülasyonda üretilen toplam (kırmızı) 688 ve tespit edilen (mavi) 538 galaksinin i-bandı parlaklık (üstte) ile kırmızıya kayma (altta) dağılımları. 57

**Şekil 4.12** $\sigma_{\mathrm{NMAD}}$ değerlerinin atmosferik görüşe göre değişimi. Değerler tüm galaksiler için ve galaksi türüne göre ayrı ayrı verilmektedir. ..... 60

**Şekil 4.13** Bu çalışmada simülasyon görüntülerinden elde edilen fotometrik kırmızıya kaymaların (zphot), simüle edilmiş galaksilerin kırmızıya kaymaları (zsim) ile karşılaştırılması. Grafikler dört farklı görüş değeri için verilmektedir. Alt panellerde $\Delta z/(1+zsim)$'nin zsim'e göre değişimi gösterilmektedir. Grafiklerdeki kırmızı çizgi zphot=zsim çizgisini, mavi çizgiler ise dışarlayan galaksiler için sınırları belirtmektedir. Grafiklerde sağda verilen renk çubuğu galaksi sayı yoğunluğunu belirtmektedir. ..... 61

**Şekil 5.1** Rubin Gözlemevi (sol) ve Roman Teleskobu (sağ) simülasyonlarının karşılaştırılması (Troxel *ve diğ.*, 2023). Daire içine alınmış cisimler Rubin Gözlemevi tarafından çözümlenemeyen cisimlerdir. ..... 62

# TABLO LİSTESİ

**Page No**

**Tablo 2.1** DAG DIRAC kamerasına ait temel parametreler (Yesilyaprak *ve diğ.*, 2024) ..... 6

**Tablo 3.1** ugriz ve JHKs bantları için gökyüzü parlaklıkları (Sanchez *ve diğ.*, 2008)..... 25

**Tablo 3.2** DAG Yerleskesi kırmızıöte gökyüzü parlaklığı test ölçümlerinde kullanılan Xenics marka kameranın özellikleri ..... 26

**Tablo 3.3** DAG adaptif optik sisteminin etkileri dikkate alınırken farklı atmosferik görüş değerleri için kullanılan değerler. ..... 27

**Tablo 3.4** `SkyMaker` programının simülasyon görüntüsü oluşturabilmek için ihtiyaç duyduğu girdi parametreleri (Bertin, 2009). ..... 29

**Tablo 4.1** Abell 193 kümesindeki galaksiler için farklı atmosferik görüşteki i-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.2**'deki eğri denklemlerinden elde edilmiştir..... 42

**Tablo 4.2** Abell 193 kümesindeki galaksilerin farklı atmosferik görüşteki ve AO etkin ve etkin değil durumlar için J-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.4**'teki eğri denklemlerinden elde edilmiştir..... 43

**Tablo 4.3** Abell 193 kümesindeki galaksilerin farklı atmosferik görüşteki ve AO etkin ve etkin değil durumlar için H-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.4**'teki eğri denklemlerinden elde edilmiştir..... 43

**Tablo 4.4** Abell 193 kümesindeki galaksilerin farklı atmosferik görüşteki ve AO etkin ve etkin değil durumlar için Ks-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.4**'teki eğri denklemlerinden elde edilmiştir..... 46

**Tablo 4.5** Abell 2255 kümesindeki galaksiler için farklı atmosferik görüşteki i-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.7**'deki eğri denklemlerinden elde edilmiştir. ..... 50

**Tablo 4.6** Abell 2255 kümesindeki galaksilerin farklı atmosferik görüşteki ve AO etkin ve etkin değil durumlar için J-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.9**'daki eğri denklemlerinden elde edilmiştir..... 50

**Tablo 4.7** Abell 2255 kümesindeki galaksilerin farklı atmosferik görüşteki ve AO etkin ve etkin değil durumlar için H-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.9**'daki eğri denklemlerinden elde edilmiştir..... 53

**Tablo 4.8** Abell 2255 kümesindeki galaksilerin farklı atmosferik görüşteki ve AO etkin ve etkin değil durumlar için Ks-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.9**'daki eğri denklemlerinden elde edilmiştir..... 53

**Tablo 4.9** Bu çalışmada üretilen galaksi simülasyonları. Çizelgede simülasyon numarası, galaksi sayısı, minimum ve maksimum kırmızıya kayma değerleri verilmektedir..... 56

**Tablo 4.10** Beş farklı simülasyonda üretilen 688 galaksiden parlaklık ölçümü yapılabilen ve kırmızıya kaymaları ölçülen 538 galaksinin morfolojik türü, Hubble T sınıfı ve sayıları..... 56

**Tablo 4.11** Beş farklı simülasyonda üretilen galaksilerin `SExtractor` ile tespit edilme sayıları ve buna bağlı tamlık oranları. ..... 58

**Tablo 4.12** LePhare ile belirlenen fotometrik kırmızıya kaymalarının saçılmaları ($\sigma_{NMAD}$). Çizelgenun en üst satırında bütün galaksiler dikkate alındığında hesaplanan saçılma değeri, diğer satırlarında ise galaksi türüne bağlı olarak hesaplanan saçılmalar verilmektedir. İkinci kolonda (NGAL) her bir örneklemdeki galaksi sayısı belirtilmiştir. ..... 59

# SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

**Simgeler** **Açıklama**

| | |
|---|---|
| $L_\odot$ | : Güneş ışınım gücü |
| $M_\odot$ | : Güneş kütlesi |
| $R_\odot$ | : Güneş yarıçapı |
| $R_e$ | : Etkin yarıçap |
| $r_s$ | : Ölçek yarıçapı |
| $X^2$ | : Ki-kare |
| $z$ | : Kırmızıya kayma |
| $'$ | : Yay dakikası |
| $''$ | : Yay saniyesi |

**Kısaltmalar** **Açıklama**

| | |
|---|---|
| ***AO*** | : Adaptif Optik |
| ***aO*** | : Aktif Optik |
| ***AGN*** | : Active Galactic Nucleus |
| ***ATASAM*** | : Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkez Müdürlüğü |
| ***BCG*** | : Brightest Cluster Galaxy |
| ***CFHT*** | : Canada France Hawaii Telescope |
| ***CFHTLS*** | : Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey |
| ***DAG*** | : Doğu Anadolu Gözlemevi |
| ***DAG-MAM*** | : DAG- Meteorological and Astronomical Monitoring |
| ***DIRAC*** | : DAG InfraRed Adaptive optics Camera |
| ***DM*** | : Deformable Mirror |
| ***EMCCD*** | : Electron Multiplying Charge-Coupled Device |
| ***ESO*** | : European Southern Observatory |
| ***FITS*** | : Flexible Image Transport System |
| ***FoV*** | : Field of View |
| ***FWHM*** | : Full Width at Half Maximum |

***JWST*** : James Webb Space Telescope
***kpc*** : Kiloparsec
***LePhare*** : PHotometric Analysis for Redshift Estimation
***LGS*** : Laser Guide Star
***LSST*** : Large Synoptic Survey Telescope
***M*** : Messier Object
***MAGZP*** : Magnitude Zeropoint
***Mpc*** : Megaparsec
***NGC*** : New General Catalogue
***NGS*** : Natural Guide Star
***NIR*** : Near-Infrared
***NMAD*** : Normalized Median Absolute Deviation
***PSF*** : Point Spread Function
***RTC*** : Real-Time Computer
***RTT150*** : Russian Turkish Telescope 150
***SDSS*** : Sloan Digital Sky Survey
***SED*** : Spektrel Enerji Dağılımı
***TB*** : Terabayt
***TFOSC*** : TUG Faint Object Spectrograph and Camera
***TROIA*** : TuRkish adaptive Optics for Infrared Astronomy
***WFS*** : Wavefront Sensor
***zphot*** : Fotometrik kırmızıya kayma
***zspec*** : Spektroskopik kırmızıya kayma
***2MASS*** : Two Micron All Sky Survey

# ÖZET

## DOKTORA TEZİ

### DOĞU ANADOLU GÖZLEMEVİ ADAPTİF OPTİK SİSTEMİNİN GALAKSİ ÇALIŞMALARINA ETKİSİNİN SİMÜLASYONLARLA İNCELENMESİ

**Süleyman FİŞEK**

**İstanbul Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sinan ALİŞ**

Bu tez çalışmasında Türkiye'nin ilk kırmızıöte ve en büyük teleskobu olacak Doğu Anadolu Gözlemevi teleskobunun adaptif optik sisteminin galaksi çalışmalarına etkileri incelenmiştir. Temelde iki ayrı simülasyon setiyle gerçek galaksi kümesi alanları ve sentetik galaksiler kullanılarak teleskobun, adaptif optik sisteminin ve kırmızıöte detektörünün toplam etkisi irdelenmiştir. Analizler 0.3", 0.7", 1.0" ve 1.5" atmosferik görüş değerleri için, adaptif optik etkin ve kapalı iken ayrı ayrı yapılmıştır. Küme alanları için 88, sentetik galaksiler için 160 toplam 248 görüntü simüle edilmiş ve analizleri yapılmıştır.

Abell 193 ve Abell 2255 galaksi küme alanlarına ait simülasyonlar adaptif optiğin galaksi parlaklıklarının belirlenmesinde çok önemli olmadığını ama hataların azaltılmasında belirgin katkısının olduğunu göstermiştir. Bundan daha önemlisi, galaksilerin yapısal parametrelerinden b/a'nın belirlenmesinde adaptif optik sayesinde 1" ve üzeri atmosferik görüş değerlerinde ciddi iyileşmeler beklenebileceği gösterilmiştir.

Sentetik galaksiler kullanılarak belirlenen fotometrik kırmızıya kayma doğruluklarında literatürle uyumlu sonuçlar alınmış ve yalnızca optik bölgedeki değil, aynı zamanda kırmızıöte bölgedeki filtrelerin de kullanılmasının önemi vurgulanmıştır.

Şubat 2025, 93 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** galaksiler - galaksi kümeleri - atmosferik etkiler - adaptif optik

# SUMMARY

## Ph.D. THESIS

### INVESTIGATING THE EFFECT OF THE EASTERN ANATOLIA OBSERVATORY ADAPTIVE OPTICS SYSTEM ON GALAXY STUDIES USING SIMULATIONS

**Süleyman FİŞEK**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Sciences**

**Department of Astronomy and Space Sciences**

**Supervisor: Asst. Prof. Sinan ALİŞ**

In this thesis, the effects of the adaptive optics system of the Eastern Anatolian Observatory telescope, which will be the first infrared and the largest telescope in Turkey, on galaxy studies were investigated. The total effect of the telescope, including the adaptive optics system and infrared detector, was examined using real galaxy cluster fields and synthetic galaxies with two separate simulation sets. The analyses were performed separately for different atmospheric seeing conditions of 0.3", 0.7", 1.0" and 1.5", with adaptive optics enabled and disabled. A total of 248 images, 88 for cluster fields and 160 for synthetic galaxies, were simulated and analyzed.

Simulations of the Abell 193 and Abell 2255 galaxy cluster fields showed that adaptive optics was not very important in determining galaxy magnitudes, but it is significant in reducing errors. More importantly, it has been shown that significant improvements can be expected at atmospheric seeing conditions of 1" and above thanks to adaptive optics in determining b/a, one of the structural parameters of galaxies.

Results for the photometric redshift accuracies are found to be consistent with the literature based on the simulations of synthetic galaxies. The importance of using infrared filters together with the filters in the optical region is also emphasized.

Feb 2025, 93 pages.

**Keywords:** galaxies – galaxies: clusters - atmospheric effects – instrumentation: adaptive optics – methods:statistical

# 1. GİRİŞ

Erzurum, Konaklı, Karakaya Tepelerinde 3170 metre yükseklikte bulunan Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG), 4 metrelik birincil aynası ile Türkiye'nin en büyük ve ilk kırmızıöte teleskobu olacaktır. Bu özelliklerinin yanısıra aktif optik (aO) ve adaptif optik (AO) gibi gelişmiş optik teknolojilere de sahip olan gözlemevi, kırmızıöte bölgede yüksek çözünürlüklü gözlemler gerçekleştirebilecektir (Yeşilyaprak *ve diğ.*, 2022).

Ülkemiz astronomisinin DAG ile birlikte, kendi teleskobuyla kırmızıöte gözlem imkanına sahip olacak olması beraberinde birçok ön hazırlık çalışmasını da gerekli hale getirmektedir. Alışıla gelmiş olan görsel bölge gözlemlerinden oldukça farklı stratejilere ihtiyaç duyulan kırmızıöte gözlemler için, gözlem talebi aşamasından başlayarak, gökyüzü parlaklığı, poz süresi, teleskobun yönlenme sayısı, anlık atmosferik şartlar gibi birçok parametre değerlendirilmelidir. Bu bağlamda, DAG'dan en etkin şekilde faydalanabilmek için hazırlık çalışmaları teleskop henüz aktif olarak çalışmadan önce başlamalıdır.

Sunacağı bilimsel imkanların yanısıra, adaptif optik, aktif optik, koronograf gibi sahip olduğu modern teknolojilerle DAG, yalnızca astronomlar için değil birçok farklı disiplinde, çok boyutlu olarak iyi analiz edilmesi ve hazırlanılması gereken bir araştırma altyapısıdır.

Bu çalışma kapsamında DAG-AO sisteminin kullanılmasıyla, özellikle galaksilere yönelik çalışmalar için elde edilecek performans simülasyonlar yardımıyla ilk defa incelenmiştir. Teleskobun ve AO sisteminin gözlenecek galaksilerin özelliklerine ve bazı atmosferik parametrelere bağlı olarak, galaksilere ait parlaklık, kırmızıya kayma gibi ölçümleri gerçek ve sentetik veriler kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmanın, galaksilere yönelik araştırmalarda DAG-AO sisteminin performansına dair öngörüde bulunulması ve bu sayede sistemi kullanacaklara bir referans oluşturması hedeflenmektedir.

# 2. GENEL KISIMLAR

## 2.1. DOĞU ANADOLU GÖZLEMEVİ

Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Projesi Türkiye'nin en büyük temel bilim projelerinden biri olarak 2011 yılında Devlet Planlama Teşkilatına (2011K120230) sunulmuş, önce etüt proje olarak kabul edilmiş, 2012 yılında ise esas proje olarak başlamıştır[1] .

DAG Projesinin, ülkemize ait ilk kırmızıöte ve büyük teleskop olması, gözlemevinde yapılacak çalışmalarla uluslararası işbirliklerinin geliştirilmesi gibi bilimsel faydalarının yanında bilgi ve teknolojiye dayalı alternatif sektörlerin gelişmesine de yapacağı katkı ile Doğu Anadolu Bölgesinin ekonomisine de olumlu etkisi olması beklenmektedir. Ayrıca, gözlemevi çatısı altında organize edilecek kongre ve toplantılarla, bulunduğu Erzurum Şehrini uluslararası bilim dünyasında ilgi odağı haline getirerek, bulunduğu bölgeye toplumsal olarak da fayda sağlayacaktır.

2024 yılından itibariyle Türkiye Ulusal Gözlemevleri bünyesinde, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve Atatürk Üniversitesi desteğiyle başarıyla yürütülen DAG Projesi, astronomi, astrofizik ve uzay bilimleri alanlarında uluslararası düzeyde projelerin ve ortak çalışmaların yürütüleceği büyük bir gözlemevinin altyapıları ve üst yapılarıyla birlikte çok yakın bir gelecekte ülkemize hizmet vermeye başlayacaktır (2012 – 2025).

DAG Projesi, 3 aşamalı bir proje olup;

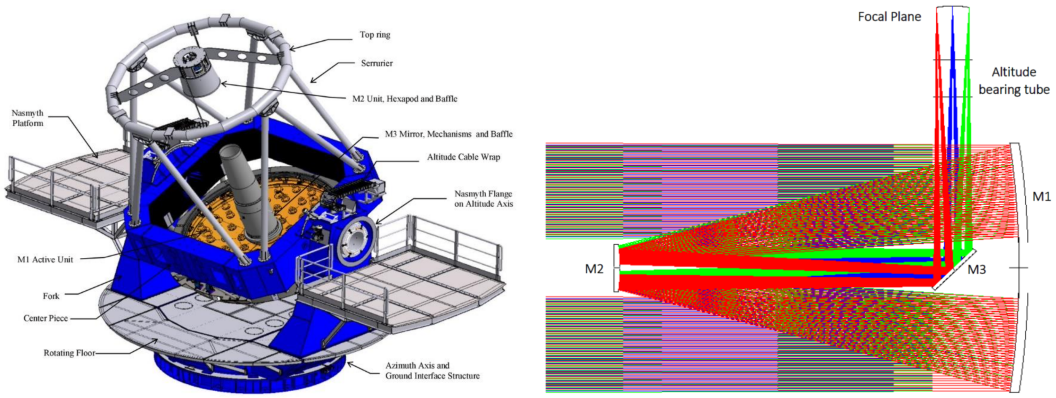
- ilk aşaması teleskop, kubbe, binalar ve altyapısıyla gözlemevi kurulmasından oluşan DAG Projesi'dir,
- ikinci aşaması Odak Düzlemi Aygıtları'nın (ODA) alımı, tasarımı, yapımı ve bir Optik Laboratuvarı kurulmasından oluşan ODA Projesi'dir,
- üçüncü aşaması ise 4 m'ye kadar olan bütün ayna ve uzay – uydu ekipmanlarının kaplanacağı Ayna Kaplama Sistemi'nden (AKS) oluşan AKS Projesi'dir.

[1] https://atasam.atauni.edu.tr/dag

**Şekil 2.1**'de farklı açılardan görülen DAG teleskobu optik tasarımı, iki Nasmyth odağı olan Ritchey-Chrétien bir teleskoptur. Teleskop, optik tasarımı gereği, küresel sapma (ing. spherical aberration) ve alan koması (ing. field coma) için düzeltilmiş içbükey hiperbolik bir birincil ayna (M1), dışbükey hiperbolik ikincil ayna (M2) ve yakınsak ışını doğru bükmek için M1'in üzerine yerleştirilmiş düz bir üçüncül aynaya (M3) sahiptir (**Şekil 2.2**). Teleskop optiği aktif olarak kontrol edilir (aO - ing. active optics). M1, 66 arka ve 24 yan olmak üzere 89 aktüatör ile kontrol edilmektedir. M3, her iki Nasmyth odak düzlemi arasında geçiş yapmak için Z ekseni etrafında 180° derece dönebilmektedir (Yeşilyaprak ve Keskin, 2020).



**Şekil 2.1** DAG Teleskobu fabrika kabul testleri, Milano / İtalya, 2019. DAG Teleskobu ve iki adet Nasmyth Odakları (sol) ile aktif optik sistemi (sağ) görülmektedir. Görsel: Türkiye Ulusal Gözlemevleri




**Şekil 2.2** DAG Teleskobu optik tasarımı (Yesilyaprak *ve diğ.*, 2024)

DAG teleskobu birinci nesil cihazları, 30" görüş alanına (ing. Field of View – FoV) sahip, adaptif optik (AO - ing. adaptive optics) sistemi ile birlikte kırınım limitinde gözlem imkanı sağlayabilecek olan bir yakın kırmızıöte (NIR - ing. Near-Infrared) dedektör ve dijital bir koronografdan oluşmaktadır. 4 metrelik teleskobun odak düzleminde yer alacak olan AO sistemine sahip bir NIR dedektör, düşük kütleli yıldız, ötegezegen arama, Samanyolu ve yakın galaksilerdeki yıldız oluşumu karakterizasyonu ve orta ve yüksek kırmızıya kayma

değerine sahip galaksi-dışı cisimlerin analiz çalışmalarına kadar ihtiyaç duyulan çok çeşitli bilimsel ilgi alanlarını destekleyebilir (Yeşilyaprak ve Keskin, 2020).

3170m gibi yüksek bir rakımda bulunan Doğu Anadolu Gözlemevi Yerleşkesinin (**Şekil 2.3**) atmosferik koşulları astronomik gözlemler için oldukça olumlu özelliklere sahiptir (Yeşilyaprak *ve diğ.*, 2016). Ayrıca yerleşkedeki düşük rüzgâr hızı ve rüzgâr yönündeki mevsimsel kararlılık, atmosferik açıdan gözlem kalitesini olumlu etkileyeceği düşünülmektedir (Yüzlükoğlu, 2017).



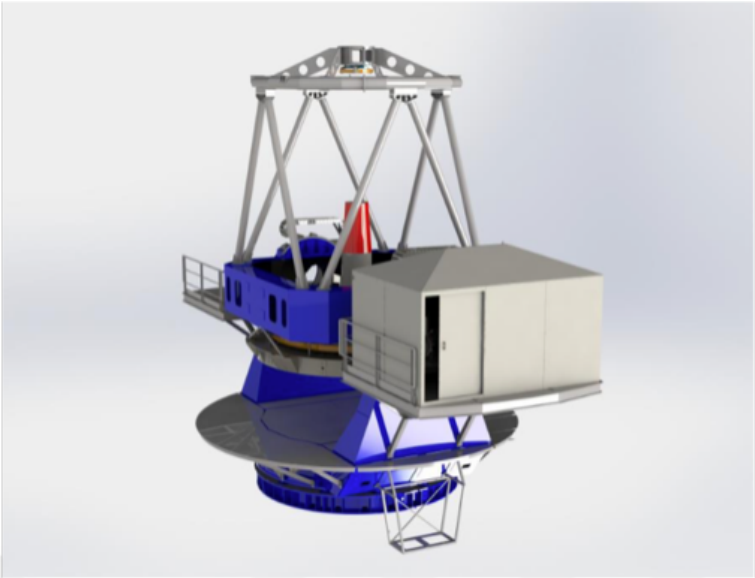
**Şekil 2.3** DAG yerleskesi, 3170m Karaya Tepeleri, Erzurum. Görsel: Türkiye Ulusal Gözlemevleri.

2024 yılı itibariyle Doğu Anadolu Gözlemevi ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi altyapıları birleştirilmiş ve Türkiye Ulusal Gözlemevleri olarak yeniden yapılandırılmıştır.

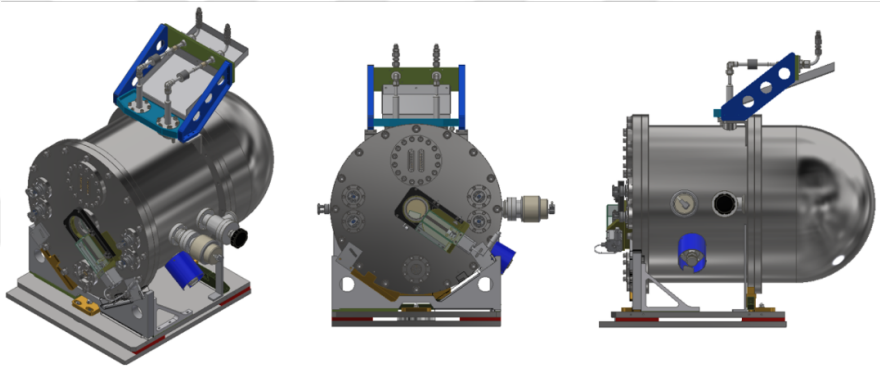
### 2.1.1. DIRAC

DAG InfraRed Adaptive optics Camera (DIRAC), yakın kırmızıöte bölgede çalışacak DAG teleskobu için tasarlanmış bir detektördür. DIRAC 0.9-2.5 $\mu m$ dalgaboyu aralığında ve teleskobun kırınım limitinde çalışacaktır. DIRAC, AO sistemi TROIA ile birlikte kırınım limitli Nasmyth odağında bulunacaktır.

Hem AO sisteminin optik bileşenleri, hem de kırmızıöte kameranın çok ileri sıcaklık dengesinde bulunması, kullanılan soğuk optikler nedeniyle elzemdir. Bu nedenle, DAG teleskobu AO platformunda TROIA, DIRAC ve bir diğer bilimsel aygıt olan PLACID termal olarak kararlı bir oda içinde bulunacaktır.



**Şekil 2.4** DAG teleskobunun AO sistemlerinin bulunacağı Nasmyth platformu ve termal oda.



**Şekil 2.5** DIRAC detektörü ve cryo mekanizmalı soğutma tankı.

DIRAC detektörü, bilimsel aygıtlar konusunda uzman ve dünyaca ünlü Anglo-Australian Observatory (AAO) tarafından üretilmiştir. İhale kapsamında başlangıçta daha düşük seviyeden bir algılayıcı için anlaşılsa da, projenin ilerleme sürecinde Hawaii yongası ile yükseltilmiştir. Hawaii yongaları Teledyne şirketi tarafından üretilen ve tüm dünyada kırmızıöte astronomide en çok kullanılan yongalardır. DIRAC detektörünün kalbi olan algılayıcı H1RG modelidir ve 1016 $\times$ 1016 piksellik yonga boyutuna sahiptir. **Tablo 2.1**'de DIRAC'ın temel parametreleri verilmektedir.

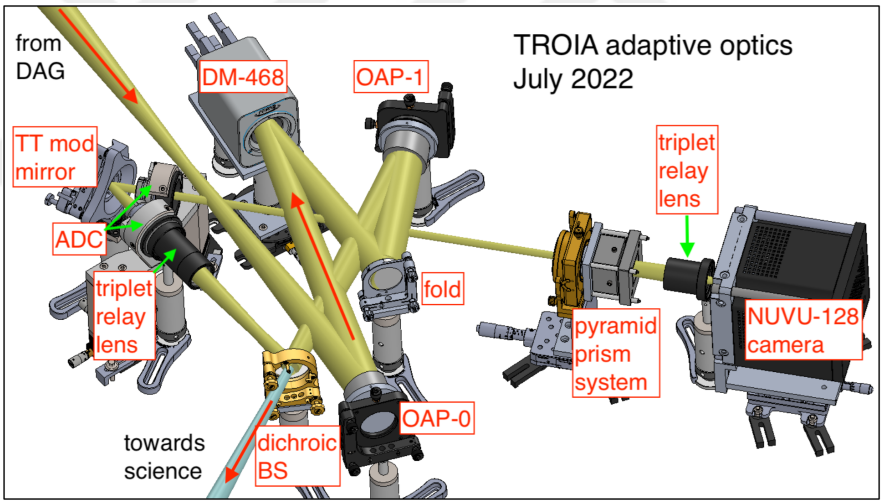
### 2.1.2. TROIA

TuRkish adaptive Optics system for Infrared Astronomy (TROIA) Türkiye'nin ilk adaptif optik sistemidir. DAG ile yüksek çözünürlüklü gözlemler elde etmek için geliştirilen

| Parametre | Değer |
|---|---|
| Dalgaboyu Aralığı | 0.9 - 2.5 $\mu m$ |
| Yonga Boyutları | 1016 $\times$ 1016 piksel |
| Piksel Büyüklüğü | 18 $\mu m$ |
| Piksel Ölçeği | 32.7 mas |
| Görüş Alanı (Fov) | 33.2" $\times$ 33.2" |
| Okuma Gürültüsü | 18 $e^-$ |
| Kara Akım | $<$0.1 $e^-$/piksel/s |
| Filtreler | J - H - Ks |

**Tablo 2.1** DAG DIRAC kamerasına ait temel parametreler (Yesilyaprak *ve diğ.*, 2024)

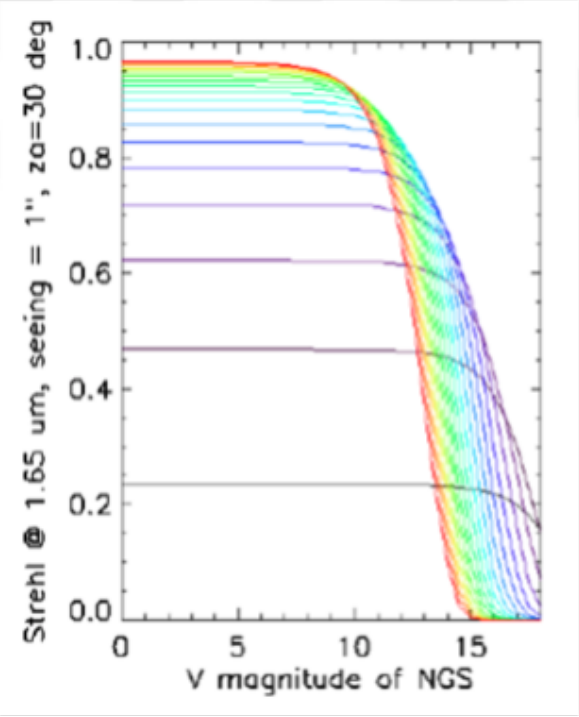
TROIA, 468 aktüatörün kontrol ettiği DM ve piramit tabanlı bir dalga cephesi sensörü (PWFS) kullanılarak, düzeltilmiş modların sayısının (sapmalar) sistematik olarak atmosferik koşullara ve NGS parlaklığına uyarlanan esnek bir konsepte sahip AO sistemidir. Bu sistem atmosferik bozulmaları dinamik bir şekilde düzeltmek için tasarlanmıştır.




**Şekil 2.6** DAG-AO sistemi olan TROIA'nın tasarımın şematik gösterimi (Keskin *ve diğ.*, 2022)

Atmosferik etkiler nedeniyle dalga cephesinde bozulmalar gerçekleşen NGS yıldızındaki bu bozulmalar dalga cephesi sensörleri (WFS) tarafından algılanarak, bu bilgi deforme edilebilir aynayı (DM) kontrol eden sisteme aktarılır. Devreye giren DM, atmosferden etkilenerek gelen ışığın dalga cephesindeki bozulmaları düzelterek yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmesine olanak sağlar. TROIA'da kullanılacak olan P-WFS sensörü çoğunlukla AO sistemlerinde kullanılan klasik Shack-Hartmann sensörlerine göre daha duyarlıdır ve bu da daha sönük referans yıldızlarının kullanılabilmesini olanaklı kılar.

TROIA, 468 adet aktüatör ile çalışan ALPAO marka DM-468 model deforme olabilen bir aynaya (DM) sahiptir. Aktüatörler sayesinde yüzeyi aktif olarak değişebilen DM, gök cisminden gelen atmosferik etkilere maruz kalmış ışığın dalga cephesini düzeltir. Fazla sayıda aktüatör içermesi, yüksek mertebeden atmosferik bozulmaları giderebilmek için idealdir. TROIA sistemi 10. kadire kadar referans yıldızı kullanarak AO düzeltmesi uygulayabilecek ve bu sayede %90'ın üzerinde Strehl oranlarına ulaşacaktır. Daha sönük referans yıldızları kullanıldığında (16. kadire kadar), Strehl oranı giderek azalmaktadır (Keskin *ve diğ.*, 2020). TROIA'da her ne kadar piramit dalga cephesi sensörü kullanılsa da sistemin en önemli sınırlaması kullanılacak referans yıldızın parlaklığı olacaktır. Bu nedenle, AO sistemini gökyüzünün her doğrultusunda kullanmak optimum verimlilikle olmayacaktır. Burada en önemli avantaj, gözlenmek istenen nesne bir nokta kaynak benzeri nesneyse (yıldız, eliptik galaksi gibi) cismin kendisinin de referans yıldız olarak kullanılabilecek olmasıdır.




**Şekil 2.7** TROIA sisteminin referans yıldız (NGS) parlaklığına bağlı olarak düzeltme gücü (Strehl oranı) (Keskin *ve diğ.*, 2020).

TROIA sisteminde dalga cephesi sensörü olarak Nüvü marka HNü 128 model EMCCD kamera kullanılmaktadır. Piksel boyutu 24 $\mu m$ olan kamera 128 $\times$ 128 piksel yapısındadır ve 600nm dalgaboyunda çalışmaktadır.

Adaptif optik sisteminin çalışma sürecinde sistem, bir ışın ayırıcı (ing. beam splitter) ile 850 nm'de teleskopa gelen ışığı ayırır ve kısa dalgaboyunda kalan kısım dalga cephesi analizi için kullanılır.

TROIA sistemi ile DAG odak düzleminde gerçekleştirilecek AO düzeltmesi 7"×7" olan bir alan için mümkün olacaktır. Küçük düzeltme alanında ulaştığı yüksek Strehl oranı ile DAG-TROIA sistemi ExAO sınıfı bir AO sistemi olarak tanımlanabilir.

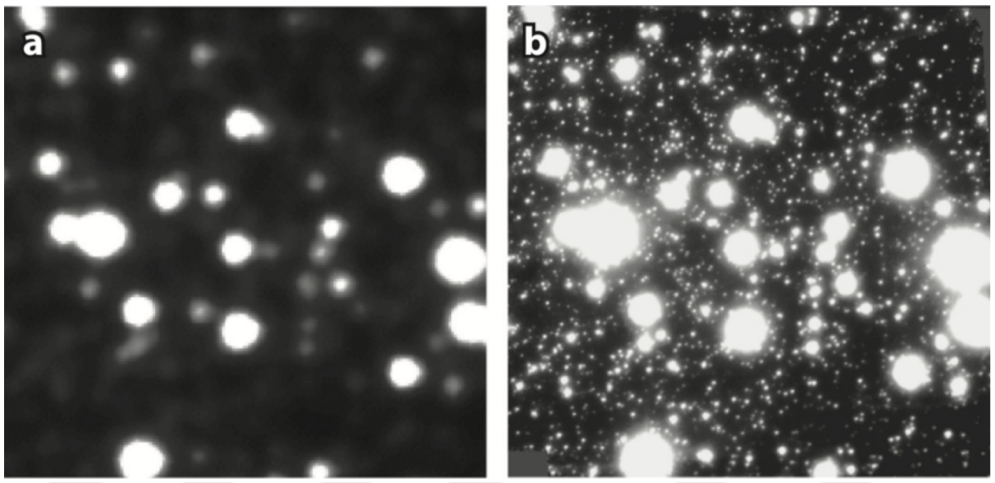
## 2.2. ADAPTİF OPTİK

Astronomlar için Dünya atmosferi, yer tabanlı teleskoplarda adaptif optik teknolojisinin kullanımına kadar, gökyüzünde gözlenen cismin açısal çözünürlüğü ve gözlem kalitesi açısından önemli bir sınırlayıcı etmen oluşturmaktadır. Teleskop ile gözlemi yapılan cisimden gelen ışık, kırıcı atmosferik türbülanstan geçtikten sonra Dünya yüzeyine ulaşmakta ve bu nedenle elde edilen astronomik görüntülerin açısal çözünürlüğü atmosferik görüş ile sınırlanmaktadır (Davies & Kasper, 2012). Günümüz modern teleskoplarında kullanılan ayna teknolojileri ve malzemeleri, aktif optik (aO) ve adaptif optik (AO) yöntemleri ile birleştirildiğinde, atmosferin gözlemler üzerindeki bozucu etkilerinin azaltılmasına ve büyük ölçüde giderilmesine olanak tanımaktadır. Adaptif optik sistemleri, gerçek zamanlı (real-time) çalışarak, yer tabanlı teleskoplar ile yapılan gözlemlerde, Dünya atmosferinden kaynaklanan olumsuz etkileri düzeltebilirler (Beckers *ve diğ.*, 1993).

Güneş, Dünya atmosferini ısıtır. Atmosferde gerçekleşen mekanik süreçler yoluyla, özellikle de rüzgar ile atmosferdeki bu ısı türbülans, farklı sıcaklıklarda girdaplar ve dolayısıyla da farklı kırılma indisleri oluşur. Uzaktaki bir cisimden gelen bir düzlem dalgası bu türbülanslı ortamdan geçecek ve farklı kırılma indislerine sahip atmosfer katmanlarından geçtikçe bozulacaktır. Dalga cephesinin farklı kısımları az ya da çok gecikecek ve dalga cephesi teleskoba ulaştığında bozulmuş olacaktır. Bozulan dalga cephesi için birçok değerin ortalaması alınarak oluşturulan görüntü, açısal çözünürlüğü düşük ve "bulanık" bir görüntü olacaktır. Bu bulanıklığın miktarı "seeing" olarak bilinir ve astronomik görüş kalitesini ifade eder. Genellikle seeing limiti, görüntülerin yarı maksimumda açısal tam genişliği (ing. full width at half maximum – FWHM) ile karakterize edilir (Rigaut & Neichel, 2020).

Seeing limiti, tüm büyük teleskoplarda, görünür (ing. visible) ve NIR dalga boylarında

sınırlayıcı bir etki yaratır. Atmosferik türbülansın neden olduğu bu olumsuz etki olmadığında, bu teleskoplar şimdikinden on kat daha iyi açısal çözünürlüğe sahip olabilirler (Rigaut & Neichel, 2020). Astronomlar, yer tabanlı teleskoplar için önemli bir problem olan seeing limitinin iyileştirilmesi için bir çözüm yolu arıyorlardı ve Babcoc (1953) AO konseptini önerdi. Atmosferik türbülansın olumsuz etkisi **Şekil 2.8**'de, M13 küresel kümesinin AO sistemi devrede ve devre-dışı iken alınmış görüntüsü ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.




**Şekil 2.8** M13 küresel yıldız kümesi Gemini Kuzey Gözlemevi'nden, AO sistemi olmadan (panel a) ve AO sistemi Altair devrede (panel b) iken gözlenmiştir. Panel a'daki görüntü, V bandında alınmış ve atmosferik türbülansın sebep olduğu etkiler düzeltilmemiştir; FWHM değeri 0.85 yaysaniyesidir. Panel b'deki görüntü ise K bandında (2.12 $\mu m$) AO düzeltmesi ile birlikte alınmış ve FWHM değeri 92 mas'tir. Görsel: Gemini Observatory/NSF/AURA/CNRC-Herzberg.

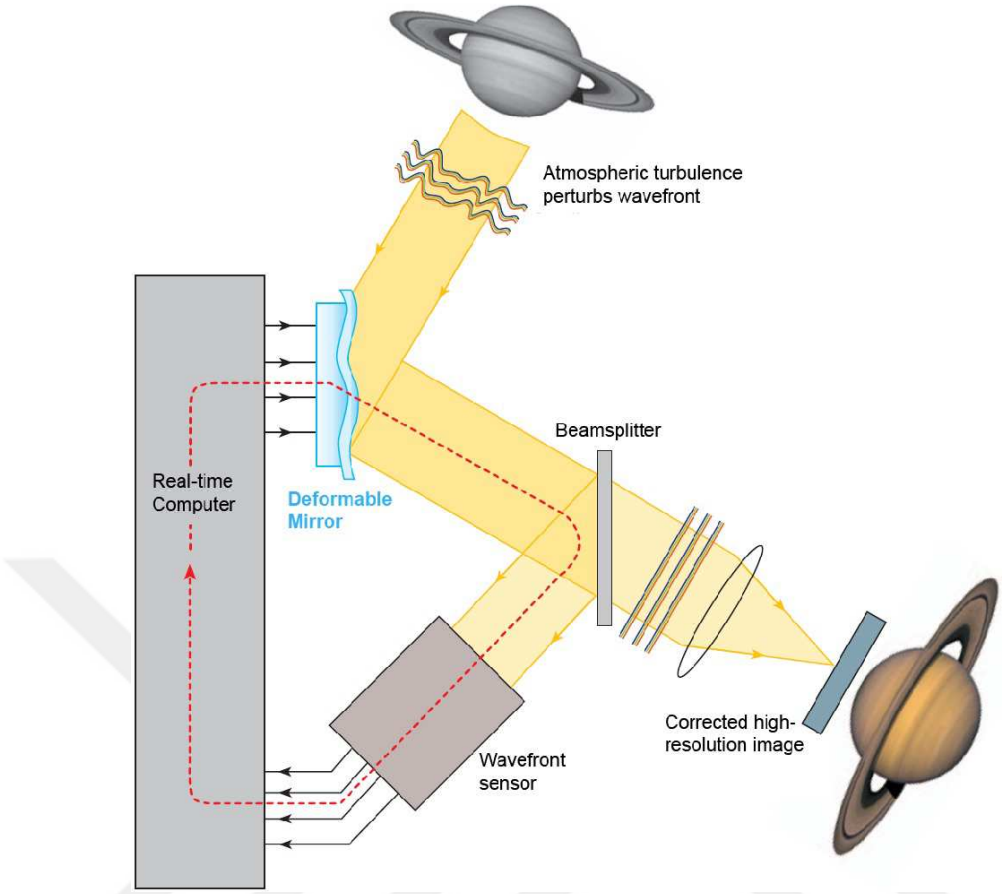
Babcoc (1953), çalışmasıyla AO sisteminin tüm temel ilkelerini ortaya koymuştur: atmosferik türbülansın neden olduğu dalga cephesi sapmalarını ölçmek için bir Dalga Cephesi Sensörü (ing. Wavefront Sensor – WFS); bu sapmaları telafi etmek için deforme olabilen bir ayna (ing. Deformable Mirror – DM); kapalı devre (ing. close-loop) çalışabilecek bir düzenek ve sistemin limitleri. Ancak 1953 yılındaki teknolojinin AO sisteminin inşası için hazır olmaması sebebiyle bu fikir 1970'li yıllara kadar bir konsept olarak kalmıştır.

İlk astronomik AO sistemi, Avrupa Güney Gözlemevi (ing. European Southern Observatory – ESO) koordinasyonunda Avrupa'da geliştirildi. COME-ON+ ismine sahip olan bu AO sistemi yakın-kırmızıöte (Near-Infrared – NIR) bir dedektör ile birlikte kullanılan, günümüz AO teknolojileri ile karşılaştırıldığında oldukça düşük kaliteli bir sistemdi. 1989'da, Observatoire de Haute-Provence gözlemevinin 1.5 metrelik teleskobu ile yapılan ilk

gözlemde, teleskobunun kırınım limitine (ing. diffraction limit) ulaşmayı başardı (Rousset *ve diğ.*, 1990). Günümüzde ise AO sistemi artık astronomik enstrümantasyonlar arasında oldukça önemli bir yere sahip ve bilimsel çalışmalarında önemli rol oynuyor (Davies & Kasper, 2012).

AO sistemlerinde dalga cephesi aberasyonlarını gerçek zamanlı olarak analiz etmek ve kısmen telafi etmek için bir WFS ve bir dalga cephesi düzeltici kombinasyonu kullanılır. Birçok farklı WFS türü vardır ancak bu sensörlerin ortak işlevi, dalga cephesindeki bozulma miktarını ölçmektir. Dalga cephesi düzeltici olarak kullanılan DM, genellikle şekli bir tür elektromekanik etki ile kontrol edilebilen bir aynadır. Bu etkiyi yapan elektromekanik cihazlar aktüatörler (ing. actuator) olarak adlandırılırlar. WFS genellikle DM'nin akış yönüne yerleştirilir ve kapalı-devre (close-loop) denilen bir düzenekte çalışır: WFS ideal dalga cephesinde bir sapma tespit ettiğinde DM'yi bu etkiyi düzeltmek için günceller (**Şekil 2.9**). DM komutları, bir kontrol matrisi kullanılarak ve sistemin doğrusal olduğu varsayılarak, gerçek zamanlı bir bilgisayar (ing. real-time computer – RTC) tarafından WFS hata sinyalinden hesaplanır. Tüm WFS'ler, sonlu sayıda noktada uzaysal olarak dalga cephesini örnekler ve bu örnekleme belli bir frekansta (tipik olarak birkaç yüz hertz) olur. Bu iki koşulla birlikte WFS'nin çalışmak için ihtiyaç duyduğu minimum foton sayısı, limit parlaklık (ing. the limiting magnitude) olarak adlandırılan kritik bir referans yıldız parlaklığı olduğu anlamına gelir. Gökyüzünde yeterince parlak bir yıldızı referans alarak çalışan AO sistemlerinin (ing. Natural Guide Star AO – NGS AO) yanı sıra gözlenmek istenen bölgede limit parlaklıktan daha parlak bir yıldızın olmaması durumunda lazer yardımı ile gökyüzünde yapay bir yıldız üreterek bu yıldızı referans olarak kullanan AO sistemleri de (ing. Laser Guide Star AO – LGS AO) mevcuttur.

Galaksi çalışmalarında AO sisteminin kullanılmasıyla elde edilebilecek bilimsel sonuçlar, yer tabanlı teleskoplar ile galaksilerin ve geniş ölçekli evrenin doğasını anlamak adına oldukça önemlidir. Bu noktada, Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG), hem görsel hem de yakın kırmızıöte dalga boylarında gözlem yapabilecek olan AO sistemine sahip 4 metre ayna çaplı teleskop ile hem Türk hem de uluslararası bilim insanları için galaksi gözlemleri ve çalışmaları için oldukça önemli bir araç olacaktır. En uygun atmosferik şartlarda seeing limiti 1" dir fakat AO sistemine sahip 4 metrelik bir teleskop için bu değer 20 kat daha iyidir (Keskin *ve diğ.*, 2020).




**Şekil 2.9** AO sisteminin temel çalışma prensibi: WFS dalga cephesindeki bozulmaları ölçer ve bu bilgiyi dalga cephesini düzeltmek için DM'e gönderir. Düzeltilmiş dalga cephesinin odağında bulunan dedektör, düzeltilmiş yüksek çözünürlüklü görüntüyü alır (Davies & Kasper, 2012).

## 2.3. GALAKSİLER

Galaksiler, evrendeki en temel yapılardır ve yıldızlar, gezegenler ve büyük gaz ve toz bulutlarından oluşan, kütleçekimsel olarak bağlı dinamik sistemlerdir. Farklı kütle, boyut, ışınım gücü, parlaklık gibi özelliklere sahip olabilen galaksiler, Kozmik zaman boyunca evrimleşirler. Bir galaksi trilyonlarca yıldız barındırabilir ve çapı milyon ışık yılı mertebelerine ulaşabilir (Binney & Merrifield, 1998). Bununla beraber, cüce galaksiler gibi bilinen en küçük galaksiler de yalnızca birkaç bin yıldız içerebilir ve çapları birkaç yüz ışık yılıyla sınırlıdır (Tolstoy ve diğ., 2009). Günümüzde detaylı ve gelişmiş gözlemsel verileri sayesinde, galaksilerin pek çoğunun merkezinde Güneş'in kütlesinin milyonlarca katı büyüklüğünde süper kütleli kara deliklerin bulunduğu bilinmektedir (Kormendy & Ho, 2013).

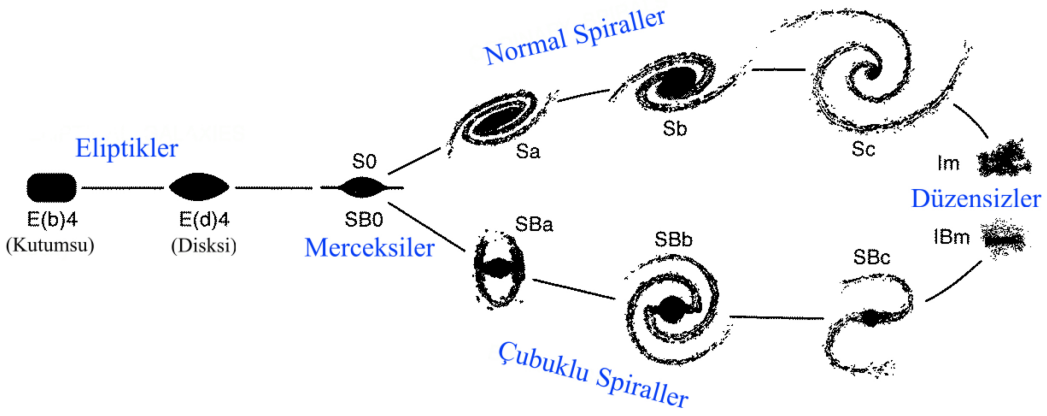
Galaksiler, çeşitli fiziksel özellikleriyle birbirlerinden farklılık gösterir. Bu özelliklerden biri ışınım gücüdür. Cüce galaksiler $10^6 - 10^9 L_\odot$ gibi düşük ışıma gücüne sahipken, dev eliptik galaksiler $10^{12} L_\odot$ ışıma gücü seviyesine ulaşabilir. Samanyolu, yaklaşık $2x10^{10} L_\odot$ ışınım gücüne sahip, ortalama parlaklıkta bir spiral galaksidir (Binney & Merrifield, 1998). Galaksinin parlaklığı, yıldız popülasyonu ve yıldız oluşum hızı gibi faktörlerle ilişkilidir ve bu da evrimsel süreçlerin anlaşılmasında kritik bir rol oynar (Peebles, 1993).

Galaksilerin açısal boyutları, çeşitli metriklerle tanımlanan yarıçap ile ifade edilir. Etkin yarıçap ($R_e$), toplam parlaklığın yarısının içerildiği bölgeyi tanımlar ve özellikle eliptik galaksilerde yaygın olarak kullanılır (Graham & Guzman, 2003). Disk galaksilerde ise yüzey parlaklığının merkeze olan uzaklıkla üstel olarak azaldığını ifade eden ölçek yarıçapı ($r_s$) kullanılır. Ayrıca, izofot yarıçapı, yüzey parlaklığının belirli bir eşik değere (örneğin, B bandında kare yay saniyesi başına 25 kadir) düştüğü sınırı belirler. Galaksi yarıçapları geniş bir aralıkta değişir: cüce galaksilerin yarıçapları $0.1 - 1$ kpc iken dev eliptik galaksilerin yarıçapı 100 kpc'yi aşabilir.

Galaksilerin kütlesi, yıldızlar, gaz, karanlık madde ve merkezi kara deliklerin toplamını içerir. Galaksi kütleleri geniş bir aralıkta değişiklik gösterir ve bu aralık, galaksilerin türlerine ve çevresel koşullarına bağlıdır. Genel olarak, cüce galaksiler $10^7$ - $10^9$ $M_\odot$ gibi düşük kütlelere sahipken, büyük spiral galaksiler ve dev eliptik galaksiler $10^{11}$ - $10^{12}$ $M_\odot$ arasında kütlelere ulaşabilir. Samanyolu, tahmini toplam kütlesi $1.5 \times 10^{12}$ $M_\odot$ olan orta büyüklükte bir spiral galaksi olarak kabul edilir. Dev eliptik galaksi M87, yaklaşık $10^{13}$ $M_\odot$ kütleye sahiptir ve dev bir karanlık madde halosuyla çevrilidir (Sofue & Rubin, 2001). Galaksi kütlelerin çoğunluğunu karanlık madde oluştururken, yıldızlar ve gaz toplam kütlenin yalnızca küçük bir kısmını temsil eder. Kütlenin önemli bir göstergesi olan dönüş eğrileri, spiral galaksilerde iç bölgedeki hızların sabit kalmasını sağlayan karanlık maddenin varlığını ortaya koyar (Navarro, Frenk, & White, 1997).

Galaksilerin evrimi ve çeşitliliği, bu temel parametrelerin etkileşimleriyle şekillenir. **Şekil 2.10**'da gösterilen Hubble Diyagramı, galaksileri şekillerine ve yapısal özelliklerine göre sınıflandırırken, kütle, yıldız oluşumu ve birleşme geçmişi gibi faktörler bu sınıflamayı daha karmaşık hale getirir (Conselice, 2014). Spiral galaksiler genellikle yıldız oluşum bölgelerine sahipken, eliptik galaksiler daha yaşlı yıldız popülasyonlarına sahiptir. Cüce galaksiler, düşük kütleleri nedeniyle çevresel etkilerden daha fazla etkilenir ve bu durum

galaksi kümelerinde incelenen evrimsel süreçler açısından önemlidir (Bland-Hawthorn & Gerhard, 2016).




**Şekil 2.10** Hubble galaksi sınıflamasının şematik gösterimi. Şemada, eliptik (E), merceksi (S0, SB0), çubuklu (SB) ve çubuksuz spiral (S) ve düzensiz (Irr) galaksiler gösterilmektedir.

Genel olarak eliptik veya spiral olarak sınıflandırılan galaksilerin, çeşitli etkileşimler sonucunda yapıları, zamana bağlı olarak değişebilmektedir. Düzenli ya da düzensiz biçimlerde farklı morfolojik türlere sahip olabilmektedirler (De Vaucouleurs, 1959; Hubble, 1936; Sparke & Gallagher, 2000).

Galaksilerin görünen özellikleri galaksi morfolojisi olarak tanımlanır ve galaksi oluşumu ve evriminin anlaşılmasında kritik bir rol oynamaktadır (Wadadekar, 2012). Geleneksel Hubble sınıflandırma sistemi, daha fazla morfolojik veri elde edildikçe yeni türler ve yorumları kapsayacak şekilde geliştirilmeye ve genişletilmeye devam etmiştir (Buta, 2013). Büyük dijital gökyüzü taramaları ve otomatik ölçüm teknikleri bu alanda yeni perspektifler sağlamıştır (Wadadekar, 2012).

Hubble, üç temel galaksi tipi tanımlamıştır: Eliptik, Spiral ve Düzensiz Galaksiler. Birçok spiral galaksinin, merkezi bir çubuk yapısı gösterdiğini de ortaya koymuştur. Belli bir süre boyunca Hubble sınıflamasının evrimsel bir süreci ifade ettiği düşünülse de daha sonra yapılan çalışmalar ile bu düşünceden vazgeçilmiştir (Hubble, 1936). Literatürde galaksi sınıflaması için yaygın olarak kullanılan Hubble Sınıflaması, Sandage (1961) ve De Vaucouleurs (1959) tarafından güncellenerek genişletilmiştir.

**Eliptik Galaksiler (E):** Eliptik galaksiler, düzlemsel yapıları olmayan, küresel veya elipsoidal şekilli yapılardır. Parlaklık profilleri genellikle $R^{1/4}$ ile orantılıdır ve yaşlı yıldız popülasyonlarına sahiptirler. Bu galaksilerin sahip olduğu gaz miktarı oldukça düşüktür ve yıldız oluşumu büyük ölçüde sona ermiştir. Bu galaksiler, genellikle kümelerin merkezinde yer alır ve yüksek kütleli olmalarıyla dikkat çekerler. Eliptik galaksilerin kütleleri $10^8$ - $10^{13}$ $M_\odot$ arasında değişir (Kormendy *ve diğ.*, 2009). M87 gibi dev eliptik galaksiler, birleşmelerle büyüyerek bu türün en uç örneklerini oluştururlar.

**Merceksi Galaksiler (S0):** Merceksi galaksiler, eliptik ve spiral galaksiler arasında bir geçiş türü olarak kabul edilir. Merkezi bir çekirdek ile bir disk yapısı taşır, ancak sarmal kollara sahip değildir. Bu galaksilerde yıldız oluşumu büyük ölçüde durmuş ve gaz içeriği azalmıştır. NGC 1023 gibi lentiküler galaksiler, genellikle düşük yıldız oluşum oranları ve yaşlı yıldız popülasyonları ile tanımlanır (Dressler, 1980).

**Spiral Galaksiler (S):** Spiral galaksiler, merkezi bir çekirdek etrafında dönen disk yapısına ve genellikle belirgin sarmal kollara sahip galaksilerdir. Hubble diyagramında, kolların sıkılığına ve çekirdek-disk oranına göre Sa, Sb ve Sc olarak sınıflandırılır. Sa galaksiler sıkı sarmal kollara ve büyük bir çekirdeğe sahipken, Sc galaksiler daha açık kollara ve daha küçük bir çekirdeğe sahiptir. Samanyolu gibi spiral galaksiler, yıldızların yanı sıra gaz ve toz bakımından da zengindir (Binney & Tremaine, 2008).

Spiral galaksiler ayrıca merkezlerinde çubuk şeklinde bir yapı barındırabilen çubuklu spiral galaksileri (SB) de içerir. Çubuk yapılar, gaz ve yıldızların galaksi merkezine taşınmasında önemli bir rol oynar ve galaksi merkezindeki yıldız oluşumunu tetikleyebilir. Çubuk yapının varlığına göre SB0, SBa, SBb ve SBc gibi alt türler tanımlanır. NGC 1300 gibi galaksiler, belirgin çubuk yapısı ve sarmal kollarıyla iyi bir örnektir (Athanassoula, 2005).

**Düzensiz Galaksiler (Irr):** Düzensiz galaksiler, belirgin bir şekli veya simetrik yapısı olmayan, düzensiz yıldız ve gaz dağılımlarına sahip galaksilerdir. Genellikle küçük boyutludurlar ve $10^7$ - $10^{10}$ $M_\odot$ arasında değişen kütlelere sahiptirler. Yıldız oluşumu aktif olabilir ve bu da bu galaksileri parlak hale getirebilir. Magellan Bulutları, düzensiz galaksilere iyi bir örnektir. Bu tür galaksiler, genellikle büyük galaksilerle olan etkileşimler veya birleşmeler sonucu oluşur (Hunter, 1997).

Galaksiler, kütleçekimsel olarak diğer galaksiler ile gruplar halinde bulunabilirler. Daha

büyük yapılar olan galaksi kümeleri, binlerce galaksi içerirler ve kümeler halinde süper galaksi kümelerini oluştururlar.

Galaksi kümeleri, evrendeki en büyük bağlı yapıların bir örneğidir ve yüzlerce ile binlerce galaksiyi barındırabilir. Kümelerin boyutları genellikle birkaç megaparsekten (Mpc) başlayarak 10 Mpc'ye kadar ulaşabilir (Bahcall, 1999). Tipik bir galaksi kümesi, üç ana bileşene sahiptir: galaksiler, sıcak X-ışını yayıcı gaz ve karanlık madde. Küme içindeki galaksiler, genellikle toplam kütlenin sadece %5'ini oluştururken, sıcak gaz $10^7$ - $10^8$ K sıcaklığa sahiptir ve toplam kütlenin yaklaşık %10'unu oluşturur. Kalan %85'lik kısım ise karanlık maddeden meydana gelir (Sarazin, 1988).

Küme kütleleri genellikle $10^{14}$ - $10^{15}$ $M_{\odot}$ arasında değişir ve bu kütle, galaksilerin hareketleri, sıcak gazın X-ışını verileri ve zayıf kütleçekimsel mercekleme ölçümleri kullanılarak belirlenir (Voit, 2005). Kümelerdeki galaksi sayısı, küçük gruplardan (örneğin, 50-100 galaksi) büyük kümelere (1000'den fazla galaksi) kadar çeşitlilik gösterebilir. Coma Kümesi, en iyi incelenmiş büyük kümelerden biridir ve yaklaşık 1000'den fazla galaksi içerir (Biviano *ve diğ.*, 1995). Kütleçekim etkisiyle bağlı oldukları için galaksi kümeleri, karanlık maddeyi haritalamak ve evrenin büyük ölçekli yapısını incelemek için kritik öneme sahiptir.

Galaksi kümeleri genellikle merkezde bir ya da daha fazla dev eliptik galaksi (BCG, Brightest Cluster Galaxy) barındırır. Bu dev galaksiler, küçük galaksilerin birleşmesiyle büyür ve küme merkezine doğru gaz ve yıldız akışını sağlar (De Lucia & Blaizot, 2007). Kümeler ayrıca, kütleçekimsel mercekleme gibi etkiler aracılığıyla evrenin genişlemesini ve karanlık enerji özelliklerini anlamada bir laboratuvar görevi görür. Örneğin, Bullet Kümesi, karanlık maddenin varlığını doğrudan gösteren en önemli gözlemsel kanıtlardan biridir (Clowe *ve diğ.*, 2006).

Yeni nesil teleskoplar, galaksilerin yapısını, evrimini ve evrenin uzak köşelerindeki özelliklerini anlamamızda devrim niteliğinde fırsatlar sunmaktadır. Bu teleskoplar, aynı zamanda daha derin alanlarda yapılan gözlemlerle, evrenin erken dönemlerine dair yeni bilgilere ulaşmamıza imkân sağlayacaktır. Yeni bir teleskop ve dedektör için önceden görüntü simülasyonu yapmak, bu teknolojilerin potansiyelini anlamak ve nasıl bir performans sergileyeceğini öngörmek için kritik bir adımdır. Galaksilerin bu yeni dedektörle gözlemlenmesi durumunda elde edilecek sonuçlar, hem dedektörün hem de teleskobun performansını optimize etmek için oldukça önemlidir. Bu simülasyonlar, ışığın dedektöre

nasıl ulaşacağını, algılama sınırlarını, çözünürlüğü ve hassasiyeti test etmeye imkan sağlar (Kitching *ve diğ.*, 2012).

## 2.4. GALAKSİ SİMÜLASYONLARI

Gözlemsel çalışmalardaki sistematik hataları veya yanlılıkları araştırmak, büyük projelerdeki yazılımları veya veriyollarını test etmek için sıklıkla simülasyonlardan yararlanılır. Bu simülasyonlar, belirli bir cisim popülasyonu için (örneğin eliptik galaksiler, galaksi kümeleri) üretilebileceği gibi (Euclid Collaboration, Adam *ve diğ.*, 2019; Euclid Collaboration, Castander *ve diğ.*, 2024; Kauffmann *ve diğ.*, 2020), belirli bir teleskop ve detektör için de üretilebilir (Connolly *ve diğ.*, 2014; Grazian *ve diğ.*, 2004; Gschwend *ve diğ.*, 2018; MacCrann *ve diğ.*, 2022). Özellikle gerçek gözlemler başlamadan veya bir uzay teleskobu durumunda, teleskop uzaya gönderilmeden önce, elde edilecek sonuçlar ve performans metrikleri için simülasyonlar bir gereklilik olmaktadır (Lin *ve diğ.*, 2004; Marshall *ve diğ.*, 2024).

Yeni nesil gelişmiş teleskoplar ve birlikte kullanılan dedektörler, kırmızıötesi, morötesi ve X-ışını gibi farklı dalga boylarında yüksek çözünürlükte görüntüler elde etmemizi sağlarken, galaksilerin oluşumu ve evrimi hakkında daha hassas ve ayrıntılı gözlemler yapmamıza da olanak tanımaktadır (Gardner *ve diğ.*, 2006). Bu gözlemlerin analizlerinde galaksi simülasyonları da oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Simülasyonlar, teorik modeller ile gözlem sonuçlarının karşılaştırılmasına olanak sağlamakta ve farklı simülasyonlar yardımıyla gözlem süreçlerini test ederek, yapılacak gözlemin sınırlarının belirlenmesine dolayısıyla yapılacak gözlemin başarı oranının artmasına imkan sağlamaktadır. Örneğin, James Webb Uzay Teleskobu (JWST) için ortaya konan bilimsel hedeflere daha yüksek başarı oranlarında ulaşılabilmesi için gözlem simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Vera Rubin Gözlemevi gibi yeni nesil gözlemevlerinin sağlayacağı geniş veri setleri için de henüz gözlemler başlamadan önce simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu sayede gerçekte elde edilecek duyarlılıkların hangi gözlem koşullarında ve hangi gözlem yöntemleri ile elde edilebileceği, performans metriklerinin ortaya konması, sistematik hataların giderilmesi ya da gözlemsel yanlılıklarının belirlenmesi mümkün olmuştur (Nelson *ve diğ.*, 2019). Bu tür simülasyon çalışmaları gözlemler sırasında oluşabilecek problemlerin çözümü hatta önceden öngörülebilmesi için önemli bir rehber niteliği taşımaktadır. **Şekil 2.11**'de yer konuşlu Rubin

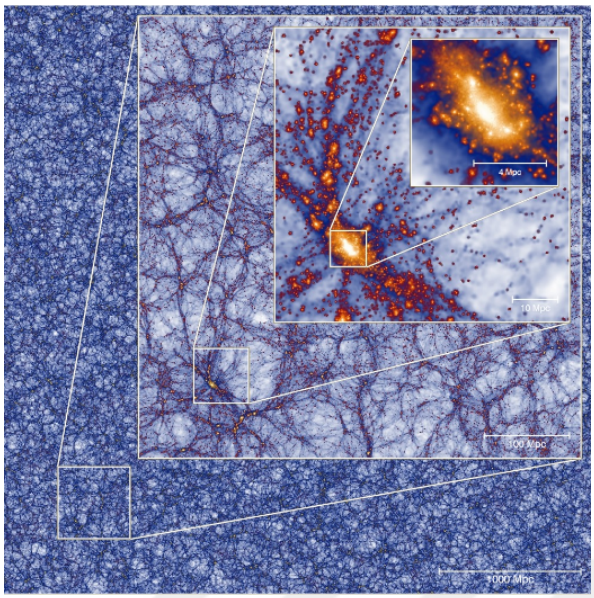
Gözlemevi ile uzaya yerleştirilecek Roman teleskopları için üretilmiş simülasyonlardan bir karşılaştırma verilmektedir. Roman teleskobunun uzaydan gözlem yapacak olması beklendiği gibi çözünürlük farkı ortaya koyacaktır. Ancak araştırmacılar bu karşılaştırmalar sayesinde birbirine karışan cisimleri nasıl ayırabileceklerini inceliyorlar (Troxel *ve diğ.*, 2023).




**Şekil 2.11** Rubin Gözlemevi (sol) ve Roman Teleskobu (sağ) simülasyonlarının karşılaştırılması (Troxel *ve diğ.*, 2023).

Simülasyona dayanan çalışmalarda öncelikle belirli kriterlere veya amaca yönelik olarak cisim kataloglarının üretilmesi gerekir. Bu tür deneme kataloglar farklı varsayımlar veya parametreler için üretilebilir ve gökyüzü tarama projelerinin veya analiz algoritmalarının testinde önemli rol oynarlar (Klein *ve diğ.*, 2024; Smith *ve diğ.*, 2024). Lopez-Lopez *ve diğ.* (2024) Euclid Uzay Teleskobu için galaksi ve AGN üretebilen `MAMBO` adında bir platform geliştirmişlerdir. Bu ve benzeri platformlar veya yazılımlar aracılığıyla çeşitli türden cisimler için simüle kataloglar üretilebilir (Gu *ve diğ.*, 2024; Lee *ve diğ.*, 2024).

Galaksi simülasyonları, yeni dedektörlerin tasarımında ve test edilmesinde kritik bir rol oynar (Schaye *ve diğ.*, 2015). Simülasyon verileri, dedektörlerin düşük yüzey parlaklığına sahip cüce galaksiler veya yüksek kırmızıya kaymalı erken dönem galaksiler gibi farklı galaksi türlerini tespit etme kabiliyetini değerlendirmek için kullanılır (Naab & Ostriker, 2017). Bu süreç, teleskopların ve dedektörlerin hassasiyet, açısal çözünürlük ve dalgaboyu aralığı gibi teknik özelliklerinin optimize edilmesine katkı sağlamaktadır. Örneğin, Euclid ve Roman Uzay Teleskopu gibi projeler, galaksi simülasyonlarıyla desteklenerek karanlık enerji, galaksi morfolojisi ve kozmik yapıların oluşumu üzerine daha ayrıntılı çalışmalar gerçekleştirecektir (Laureijs *ve diğ.*, 2011).




**Şekil 2.12** Kozmik Ağ, z = 0, Millennium-XXL simülasyonu (Angulo *ve diğ.*, 2012).

Bunun dışında, galaksi oluşumu ve evrimini araştırmayı amaçlayan simülasyonlarda genellikle yıldız popülasyonu modelleri ve spektral enerji dağılımı (SED) analizleri entegre edilir. Bu tür simülasyonlar, galaksilerdeki farklı yaş ve metal bolluğundaki yıldız popülasyonlarının katkılarını belirlemeye yardımcı olur (Bruzual ve Charlot, 2003). Millenium, IllustrisTNG ve EAGLE gibi büyük ölçekli galaksi simülasyon projeleri, galaksilerin fiziksel özelliklerini ve yıldız oluşum oranlarını tahmin etmek için kullanılmaktadır. **Şekil 2.12**'de Millennium-XXL simülasyonundan evrenin geniş ölçekli yapısının çalışılmasına olanak tanıyan bir görüntü, **Şekil 2.13**'te ise Illustris simülasyonunda üretilen farklı türden galaksilerden oluşturulan bir Hubble diyagramı görülmektedir. Bu tür simülasyonlar esas olarak kozmik zamanda evrendeki yapıların oluşum ve evrimlerini anlamak için kullanılırlar. Bu gözlemleri gerçek zamanlı yapamayacağımız için bilinen tüm fiziksel süreçler ve yasalar dikkate alınarak gözlediğimiz evreni ve galaksileri oluşturmayı amaçlarlar.

Bununla birlikte bu çalışmada gerçekleştirilen simülasyonlar daha çok gözlemsel verilerin daha iyi anlaşılması ve önceden yapılacak çalışmalara yönelik gerçekleştirilir. **Şekil 2.14**'te bu tez çalışmasında kullanılan `SkyMaker` programı ile Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey (CFHTLS) projesi için üretilmiş simülasyon görüntüsünü verilmektedir (Bertin, 2009). Şekilde sağdaki görüntü aynı alanın simülasyonudur. Buradaki örnekte gözlemle simülasyonun uyumunun çok iyi olması gözlemsel veriden galaksilere ait parametrelerin oldukça iyi elde edilmiş olmasına bağlıdır. Ancak burada amaç gözleme



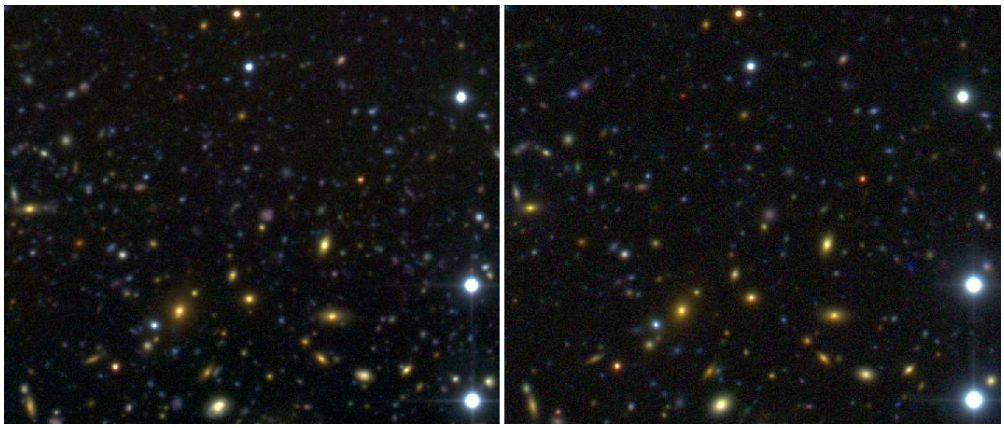

**Şekil 2.13** Illustris Simülasyonunda üretilen farklı tür galaksilerden örnekler (Illustris Collaboration).

en yakın görüntüyü simüle etmek değil, aradaki farkların kaynaklarının anlaşılması, optik sistemin kusurları veya veri indirgemedeki sistematik hataların anlaşılması yönündedir.

Smith *ve diğ.* (2022) yakın zaman önce galaksi simülasyonları üretmek için yeni bir model sunmuştur. Burada görüntülerdeki gürültü gelişmiş bir olasılık fonksiyonu ile temsil edilmektedir. Modellerini DES ve SDSS'den aldıkları galaksi örnekleri ile test etmişler ve **Şekil 2.15**'te verilen görüntüyü oluşturmuşlardır. Bu mozaik görüntüdeki galaksilerin yarısı simülasyon yarısı ise gerçek gözlemdir.

## 2.5. FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMA

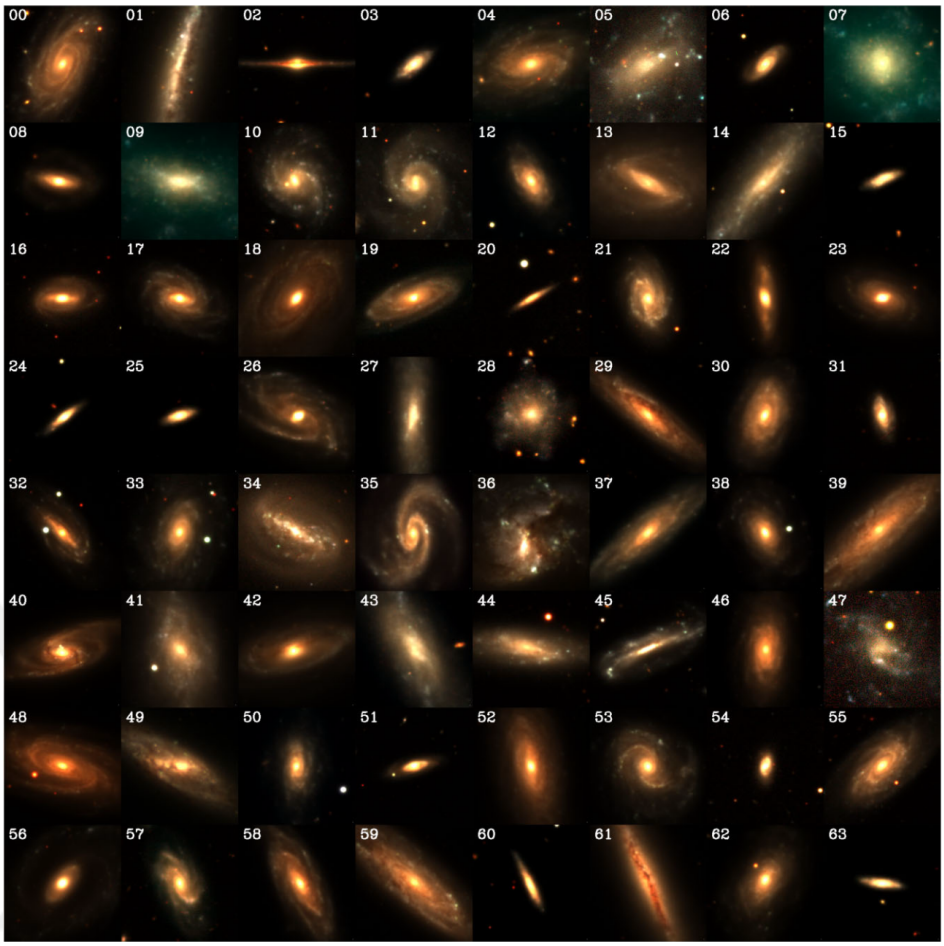
Fotometrik kırmızıya kayma, uzak gök cisimlerinin tayf özelliklerine dayalı olarak kırmızıya kaymalarının, geniş bant fotometrik ölçümlerle tahmin edilmesidir. Spektroskopik gözlemler kadar kesin olmasa da, düşük maliyetli ve geniş alanlı gökyüzü taramaları için önemli bir tekniktir (Mobasher *ve diğ.*, 2007; Salvato *ve diğ.*, 2019). Fotometrik kırmızıya kayma hesaplamalarında, bir gök cismine ait farklı filtrelerle alınmış fotometrik akıların (örneğin u, g, r, i, z bantları) renkler arası farkları analiz edilir. Temel olarak, gök cisimlerinin gözlenen akıları, kırmızıya kayma ile evrilen şablon spektrumlarla karşılaştırılır veya makine öğrenimi yöntemleriyle doğrudan çıkarım yapılır. Bu yöntemlerin temel amacı, fotometrik verileri kullanarak kırmızıya kayma değerlerini doğrulukla tahmin etmektir (Ilbert *ve diğ.*, 2009).



**Şekil 2.14** Sol: g,r,i filtrelerinde gözlenmiş CFHTLS D1 alanının küçük bir bölümü. Sağ: `SExtractor` kullanılarak fit edilmiş bulge+disk modeli parametrelerini içeren kataloglardan `SkyMaker` ile simüle edilmiş görüntü.

Fotometrik kırmızıya kayma hesaplamaları genellikle iki ana yöntemle gerçekleştirilir: şablon temelli (template-based) ve veri temelli (machine learning). Şablon temelli yöntemlerde, teorik veya gözlemsel spektrum şablonları kırmızıya kayma boyunca kaydırılarak gözlemlerle uyumlu hale getirilir. Örneğin, `LePhare` (*Photometric Analysis for Redshift Estimate*), bu alandaki en popüler yazılımlardan biridir (Arnouts *ve diğ.*, 1999; Ilbert *ve diğ.*, 2006). `LePhare`, teorik veya gözlemsel spektrum kütüphanelerini kullanarak, en uygun kırmızıya kayma değerini bulmak için en küçük kareler yöntemini uygular ve kozmolojik parametrelerle uyumlu sonuçlar verir. Veri temelli yöntemlerde ise makine öğrenimi algoritmaları, kırmızıya kayma ve gözlenen fotometrik veriler arasındaki ilişkiyi öğrenmek için geniş spektral veri kümelerine ihtiyaç duyar. Random Forest, kNN, ve sinir ağları gibi algoritmalar bu alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Collister ve Lahav, 2004; Sadeh *ve diğ.*, 2016).

Fotometrik kırmızıya kayma, özellikle derin ve geniş alan gökyüzü taramaları için devrim niteliğindedir. Spektroskopik gözlemler oldukça hassas olsa da zaman alıcı ve pahalıdır; dolayısıyla yalnızca sınırlı sayıda kaynağa uygulanabilir. Fotometrik kırmızıya kayma, milyonlarca galaksi ve diğer gök cisimlerinin hızlı bir şekilde incelenmesini mümkün kılar (Hildebrandt *ve diğ.*, 2010; Tanaka *ve diğ.*, 2018). Örneğin, Vera C. Rubin Gözlemevi'ndeki LSST (Legacy Survey of Space and Time), milyarlarca gök cismini fotometrik yöntemlerle kataloglayacak ve bu veriler fotometrik kırmızıya kayma analizleri için kullanılacaktır (Graham *ve diğ.*, 2018; Ivezic *ve diğ.*, 2019). Benzer şekilde, Euclid ve Nancy Grace Roman Space Telescope gibi uzay görevleri, hem kozmoloji hem de galaksi evrimi için



**Şekil 2.15** Gelişmiş gürültü modelleri kullanarak gerçekçi galaksi simülasyonuna bir örnek (Smith *ve diğ.*, 2022).

fotometrik kırmızıya kayma tahminlerine dayalı kapsamlı veriler sağlayacak (Laureijs *ve diğ.*, 2011; Spergel *ve diğ.*, 2015). Dolayısıyla bu yöntem, evrenin genişleme hızını belirlemek, kozmolojik parametreleri incelemek ve karanlık enerji gibi temel sorulara yanıt aramak için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, galaksi grupları ve kümelerinin dağılımını incelemek ve kozmik ağın (cosmic web) yapısını anlamak için de kullanılır (Kitching *ve diğ.*, 2014; Scoville *ve diğ.*, 2007).

Günümüzde bu yöntemlerin doğruluğunu artırmak için hibrit yaklaşımlar da geliştirilmektedir; örneğin, spektroskopik ve fotometrik verilerin birleştirilmesiyle hata paylarının azaltılması gibi. Özellikle yapay zeka ve derin öğrenme tekniklerinin entegrasyonu, fotometrik kırmızıya kayma doğruluğunu artırmakta ve sistematik hataları azaltmaktadır (Pasquet *ve diğ.*, 2019; Schuldt *ve diğ.*, 2021). Büyük veri tabanları ve daha hassas fotometrik ölçümlerle birlikte, bu yöntemin gözlemsel kozmolojideki potansiyeli sürekli genişliyor.

# 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında simülasyon görüntüleri üretmek için kullanılan galaksi katalogları iki farklı yöntem ile elde edilmiştir. Bölüm 4.1'de sunulan, Abell 193 ve Abell 2255 alanlarında bulunan ve çoğunluğu küme üyesi olan galaksilerin fotometrik ve yapısal parametreleri SDSS (Sloan Digital Sky Survey) veri tabanından elde edilmiştir. Diğer galaksi katalogları ise Bertin (2010) tarafından geliştirilmiş olan `Stuff` programı kullanılarak tamamen sentetik olarak bu çalışmada kullanılmak için üretilmişlerdir.

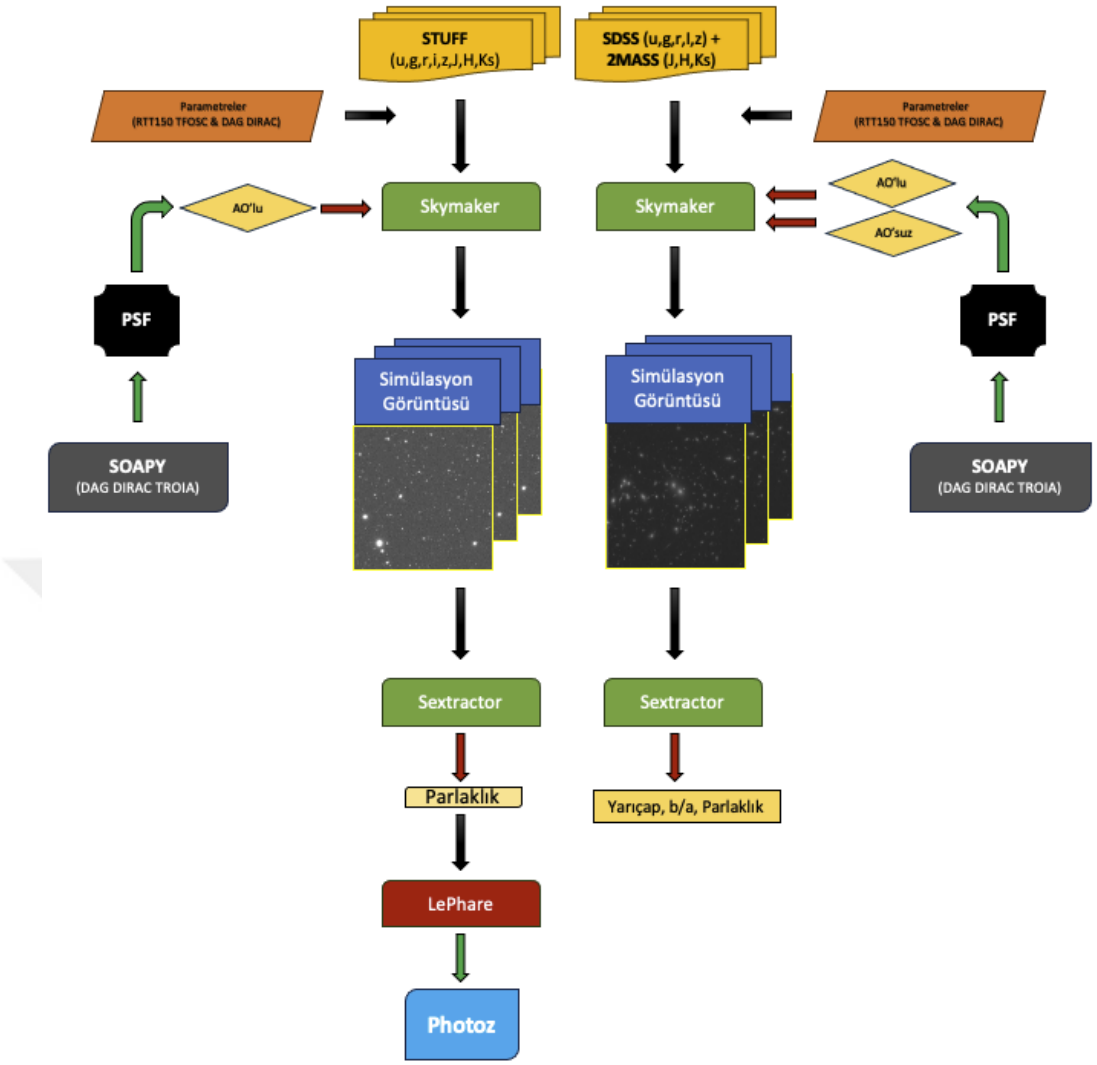
Elde edilen galaksi katalogları için simülasyon görüntüleri, `Skymaker` (Bertin, 2009) programı kullanılarak üretilmiştir. Bu görüntüler `SExtractor` (Bertin ve Arnouts, 1996) ile analiz edilip parlaklıklar elde edilmiş ve `LePhare` (Arnouts *ve diğ.*, 1999; Ilbert *ve diğ.*, 2006) ile fotometrik kırmızıya kaymalar hesaplanmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan iki ayrı veriseti için izlediğimiz işlemleri gösteren akış şeması **Şekil 3.1**'de verilmektedir. İlerleyen bölümlerde bu akış şemasındaki temel unsurlar açıklanmaktadır.

## 3.1. ÇALIŞMADA İNCELENEN GALAKSİLER

Bu tez çalışmasında Abell 193 ve Abell 2255 galaksi küme alanlarının simülasyonları ile DAG teleskobuyla belirlenecek fotometrik kırmızıya kayma doğrulukları için sentetik galaksiler üretilmiştir.

Abell 193 ve Abell 2255 kümeleri daha önce RTT150-TFOSC ile gözlenmiş ve ayrıca çok sayıda galaksi içeren yoğun alanlar olması nedeniyle tercih edilmiştir. Abell 193, z=0.048 kırmızıya kaymaya sahip ve 1. sınıf zenginlikteki bir kümedir. Abell 2255 ise z=0.080 kırmızıya kaymada ve 2. sınıf zenginlikte bir kümedir. Abell, galaksi kümelerini 0-3 arasında zenginlik değerlerine ayırmıştır, 0 en düşük, 3 en yüksek zenginlik sınıfını belirtmektedir (Abell, Corwin ve Olowin, 1989). Her iki kümenin SDSS ile elde edilmiş görüntüleri **Şekil 3.2**'de verilmektedir.




**Şekil 3.1** Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların gösterildiği akış şeması

Küme alanlarında yer alan galaksilere ait parlaklık değerleri ve yapısal parametreler SDSS ve 2MASS (Two Micron All Sky Survey) veri tabanlarından elde edilerek kataloglar oluşturulmuştur. SDSS projesi, Apache Point Gözlemevinde bulunan ve 2.5m açıklığa sahip bir teleskop ve teleskobun odak düzleminde yer alan 142 megapiksellik bir dedektör ile gerçekleştirilmektedir. 2000 yılında başlayan ve tüm gökyüzünün neredeyse üçte birini taramış olan proje kapsamında 1 trilyon cismin fotometrik ve 3 milyondan fazla cismin tayfsal gözlemi yapılmıştır (Almeida *ve diğ.*, 2023; York *ve diğ.*, 2000).

İhtiyaç duyulan parametreler SDSS DR18[2] veri sürümünden elde edilmiştir. Cisimlerin ilgili değerleri için SDSS veri tabanında sorgulama yapılırken, sorgu genişliği RTT150-TFOSC'un görüş alanı olan $13'$ olarak belirlenmiştir. Sorgu alanı içerisinde

[2] https://www.sdss.org/dr18/



**Şekil 3.2** Abell 193 (sol) ve Abell 2255 (sağ) galaksi kümelerinin SDSS'den alınan renkli görüntüleri.

yer alan cisimlerin u, g, r, i ve z bandlarındaki parlaklıkları ve yapısal parametreleri seçilirken alanda yer alan yıldızlar sorgunun dışında bırakılmış ve SDSS DR18 veri setinde galaksi olarak sınıflandırılmış olan cisimlere ait parametreler simülasyon görüntüleri üretmek için hazırlanan kataloglarda yer almıştır. Cisimlerin kırmızıöte parlaklıkları ise 2MASS[3] (Two Micron All Sky Survey) veri tabanından elde edilmiştir. $13'$ genişliğinde gerçekleştirilen sorguda parlaklık değerleri alınırken **Tablo 3.4**'te `SkyMaker` programının galaksi görüntülerini simüle edebilmesi için gerekli olan yapısal parametrelerin tamamı 2MASS veri tabanında yer almadığı için bu parametreler SDSS z bandında alınan değerlerden derlenmiştir.

Çalışmamızda kullandığımız diğer veriseti içinse sentetik kataloglar üretilmiştir. Bertin (2010) tarafından geliştirilmiş olan `Stuff` programı kullanılarak üretilen sentetik galaksi katalogları, tez çalışmasının amacına uygun bir şekilde farklı varsayımlar ve parametreler çerçevesinde tasarlanarak üretilmişlerdir. Bu katalogların ayrıntıları Bölüm 4.2'de verilmektedir. `Stuff` ve `SkyMaker` programlarının aynı çalışma grubu tarafından geliştirilmiş olmalarının bir avantajı olarak `Stuff` tarafından üretilen sentetik galaksi katalogları **Tablo 3.4**'te verilen formatta üretilmektedir.

[3] https://irsa.ipac.caltech.edu/Missions/2mass.html

## 3.2. DAG YERLESKESİ GÖKYÜZÜ PARLAKLIĞI ÖLÇÜMÜ

Bu tez çalışmasında simülasyonlar üretilirken gökyüzü parlaklık değerleri de dikkate alınmıştır. Ancak, hem Karakaya (DAG, Erzurum) hem de Bakırlıtepe (RTT150, Antalya) yerleşkeleri için gökyüzü parlaklık değerleri bulunmadığından bu değerler bilinen yerleşkeler için literatürden alındı. Optik filtreler için SDSS teleskobunun bulunduğu Apache Point Gözlemevinin değerlerini alındı. Bu gözlemevi coğrafi açıdan Türkiye'deki koşullara benzerlik göstermektedir. Kırmızıöte gökyüzü parlaklıkları ise Sanchez *ve diğ.* (2008)'den alınmıştır. **Tablo 3.1**'de ugriz ve JHKs filtreleri için simülasyonlarda kullandığımız gökyüzü parlaklık değerleri verilmektedir.

| | u | g | r | i | z | J | H | Ks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gökyüzü Parlaklığı (mag/arcsec$^2$) | 22.01 | 21.84 | 20.84 | 20.16 | 18.96 | 16.0 | 14.0 | 13.5 |

**Tablo 3.1** ugriz ve JHKs bantları için gökyüzü parlaklıkları (Sanchez *ve diğ.*, 2008).

Bununla birlikte, tez çalışmaları kapsamında Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM)'nde gerçekleştirilen uzun dönemli bilimsel ziyaret sırasında, Karakaya Yerleşkesi için kırmızıöte bölge gökyüzü parlaklığı ölçümü çalışmalarına başlanmıştır. Başlangıç olarak envanterde bulunan kırmızıöte bir detektör ile çalışılmıştır.



**Şekil 3.3** DAG Yerleskesi kırmızıöte gökyüzü parlaklığı ölçümü ön çalışmaları için hazırlanan kurgu (sol) ve kubbe içerisinde bulunduğu DAG-MAM Kulesi (sağ). Görseller: Türkiye Ulusal Gözlemevleri

| Kamera Modeli | Xeva-2.5-320 |
|---|---|
| Tür | HgCdTe |
| Spektral aralık | 0.85 - 2.5 $\mu m$ |
| Dizge | 320 x 256 px |
| Pixel büyüklüğü | 30 $\mu m$ |

**Tablo 3.2** DAG Yerleskesi kırmızıöte gökyüzü parlaklığı test ölçümlerinde kullanılan Xenics marka kameranın özellikleri

Özellikleri **Tablo 3.2**'de verilen dedektör, bir Ks filtresi ile birlikte **Şekil 3.3**'te görüleceği gibi, 20 cm açıklığa sahip bir portatif teleskobun odak düzlemine yerleştirilerek, DAG-MAM (DAG- Meteorological and Astronomical Monitoring) kulesinde (Tezcan, 2024) bulunan kubbe içinde konumlandırılmış ve test gözlemleri gerçekleştirilmiştir.

Yerleşkede gerçekleştirilen test gözlemlerinde Betelgeuese ve Aldebaran gibi parlak yıldızların gözlemleri yapılmış fakat kurgunun bu aşamada hareketsiz olarak tasarlanması ve prototip aşamasında olması nedeniyle istenilen verime ulaşılamamıştır. Ancak, daha kapsamlı ve donanımlı bir sistem için fizibilite çalışmaları devam etmektedir. Gökyüzü parlaklığının ölçülmesi sadece yapılacak simülasyonlar için değil ayrıca yerleşkedeki gökyüzü kalitesinin takibi ve kırmızıöte bölgede yapılacak gözlemlerde planlama için elzem niteliktedir.

## 3.3. DAG AO SİSTEMİ İÇİN PSF ÜRETİLMESİ

Görüntüler üretilirken Keskin *ve diğ.* (2022) tarafından ayrıntıları verilen TROIA sistemine ait parametreler dikkate alınmış ve yakın-kırmızıöte bölge görüntüleri için (J, H, Ks bantları) bu etkiler dahil edilmiştir. Adaptif optiğin görüntülere etkileri PSF (point-spread function) yoluyla olmaktadır. Verilen atmosferik görüş değerlerine karşılık adaptif optiğin düzeltmesi sonucunda elde edilen PSF'ler **Şekil 3.4**'te verilmektedir.

DAG-AO sisteminin üreteceği görüntü kalitesini yansıtan PSF'ler üretilirken DAG teleskobunun birincil ayna çapı (M1) 3.940 m, ikincil ayna çapı (M2) 0.975 m ve rehber yıldız parlaklığı V=8 kadir alınmıştır. Bunun yanında referans yıldızının görüş alanının ortasında (on-axis), yani en ideal konumda olduğu varsayılmıştır. TROIA sisteminde 468 aktüatör bulunmakla birlikte, `soapy` simülasyonlarında bozulabilir ayna için kare şekil kabul edildiğinden, bir kenarında 21 aktüatör bulunan bir kare tanımlanmıştır. Böylece,

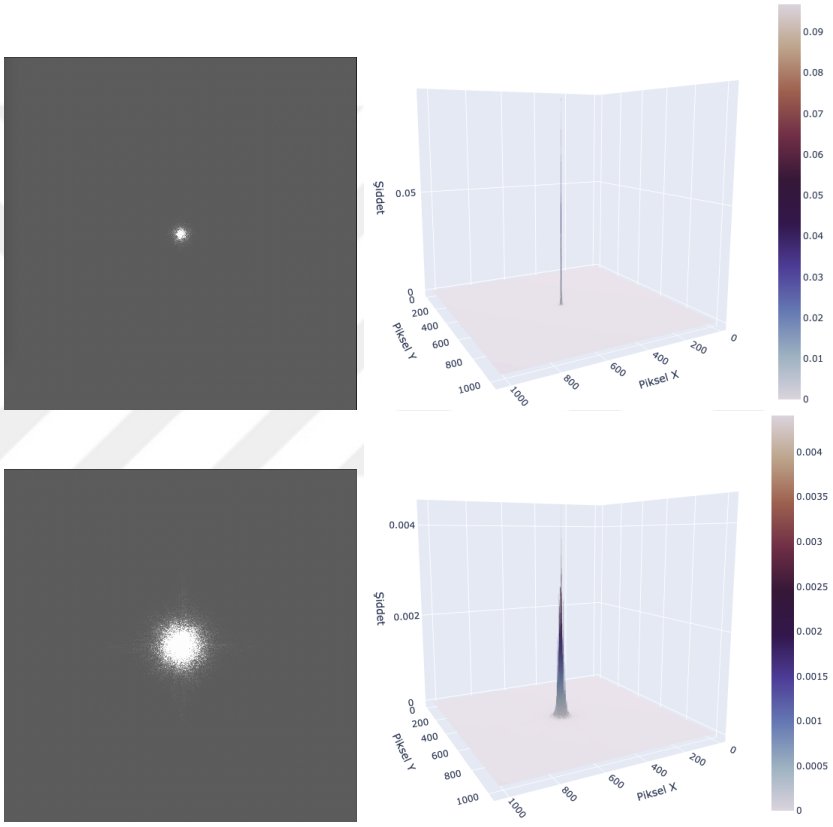
| Parametre | 0.3" | 0.7" | 1.0" | 1.5" |
|---|---|---|---|---|
| Fried parametresi ($r_0$) (m) | 0.35 | 0.15 | 0.10 | 0.07 |
| Rüzgar Yönü | Kuzey | Kuzey | Kuzey | Kuzey |
| Rüzgar Hızı (m/s) | 0 | 3 | 5 | 10 |

**Tablo 3.3** DAG adaptif optik sisteminin etkileri dikkate alınırken farklı atmosferik görüş değerleri için kullanılan değerler.

AO sisteminin etkilerini simüle ederken 468 yerine 441 aktüatörlü ($21 \times 21$) bir düzeltme uygulanmıştır. Gerçekte, TROIA sisteminde kullanılan bozulabilir aynada aktüatörler dairesel yapıda bir dağılıma sahiptir (Keskin *ve diğ.*, 2020).

Görüş değerine bağlı olarak değişen değerler **Tablo 3.3**'te verilmektedir. Rüzgar yönü ve hızı için Karakaya Yerleşkesinde yapılan ölçümlerden elde edilen hakim yön ve medyan hız değerleri kullanılmıştır (Balbay *ve diğ.*, 2023). PSF'ler üretilirken, adaptif optik çalışmaları için geliştirilmiş olan PSF simülasyonu `soapy`[4] [,5] (Reeves, 2016) kullanılmıştır. `Soapy` programı AO sistemi içerisinde yer alan bileşenlerin (atmosfer, WFS, DM, vb.) modüler bir şekilde kullanılabilmesini sağlayan, kullanımı hızlı, tamamen `Python` (van Rossum ve Drake, 2009) dilinde yazılmış bir adaptif optik simülasyonudur.

[4] https://soapy.readthedocs.io/en/latest/index.html
[5] https://github.com/AOtools/soapy




**Şekil 3.4** 0.3" ve 1.5" atmosferik görüş değerleri için J-bandı PSF görüntüleri (sol) ve şiddet grafikleri (sağ).

## 3.4. SİMÜLASYON GÖRÜNTÜLERİNİN ÜRETİLMESİ

Tez çalışmasında üretilen görüntüler `SkyMaker` programı kullanılarak simüle edilmiştir. **Tablo 3.4**'te verilen girdi dosyaları içerikleri Abell 193 ve Abell 2255 kümeleri için gözlemsel parametreler kullanılarak; Bölüm 4.2'de verilen sentetik galaksiler içinse `Stuff` kullanılarak oluşturulmuştur.

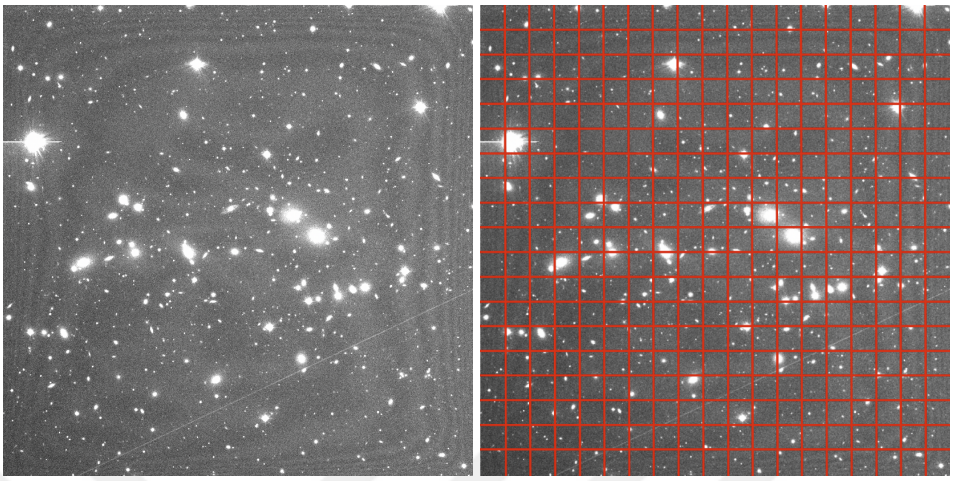
| Satır | Açıklama |
|---|---|
| 1 | SkyMaker cisim kodu: yıldız için 100 galaksi için 200 |
| 2 | x-piksel |
| 3 | y-piksel |
| 4 | görünen parlaklık (gözlem dalgaboyunda) |
| 5 | bulge ve toplam parlaklık oranı (gözlem dalgaboyunda) |
| 6 | bulge bölgesinin efektif yarıçapı (yaysaniyesi) |
| 7 | bulge bölgesinin görünür en-boy oranı |
| 8 | bulge bölgesinin pozisyonu (derece, yatay eksene göre saat yönünün tersine) |
| 9 | diskin ölçek uzunluğu (yaysaniyesi) |
| 10 | diskingörünür en-boy oranı |
| 11 | diskin pozisyonu (derece, yatay eksene göre saat yönünün tersine) |
| 12 | galaksi kırmızıya kayma değeri |
| 13 | sayısal Hubble evresi (de Vaucouleurs türü T) |

**Tablo 3.4** `SkyMaker` programının simülasyon görüntüsü oluşturabilmek için ihtiyaç duyduğu girdi parametreleri (Bertin, 2009).

### 3.4.1. Küme Alanları

Abell 193 ve Abell 2255 küme alanları simüle edilirken, optik bölge görüntüleri için RTT150-TFOSC parametreleri kullanılmış ve 0.39"/piksel çözünürlükle 2048 $\times$ 2048 piksellik görüntüler üretilmiştir. Kırmızıöte bölge görüntüleri simüle edilirken DAG-DIRAC değerleri kullanılmış, ancak DIRAC'ın yonga boyutları 20320 $\times$ 20320 piksel olarak varsayılmıştır. Bu varsayım, optik ve kırmızıöte görüntülerin aynı görüş alanına sahip olmaları için yapılmıştır. Böyle bir varsayım yapılmayıp, tam gerçek bir DIRAC gözlemi simüle edilmek istenseydi, RTT150-TFOSC ile görüntülenen alan yaklaşık 400 DAG-DIRAC görüntüsüne eşdeğer olacaktı. **Şekil 3.5**'te Abell 2255 küme alanının TFOSC ile elde edilmiş örnek görüntüsü ve aynı alanın DIRAC'ın mevcut konfigürasyonu ile gözlenmek istendiğinde kaç ayrı yönlenme gerektiği gösterilmektedir. Açıkça görülmektedir ki, galaksi kümesi gibi geniş alan kapsayan veya yaygın kaynak olan cisimlerde DIRAC ile gözlem yapmak zaman açısından çok verimli olmayacaktır. Yine de, bu tür bir gözlem için

kaç farklı yönlenme yapılması gerektiği, bu yönlenmelerde kaç poz alınması gerektiği ve ulaşılabilecek sonuçlar için bir gözlem öncesi hesaplama aracı veya simülatör geliştirilebilir.

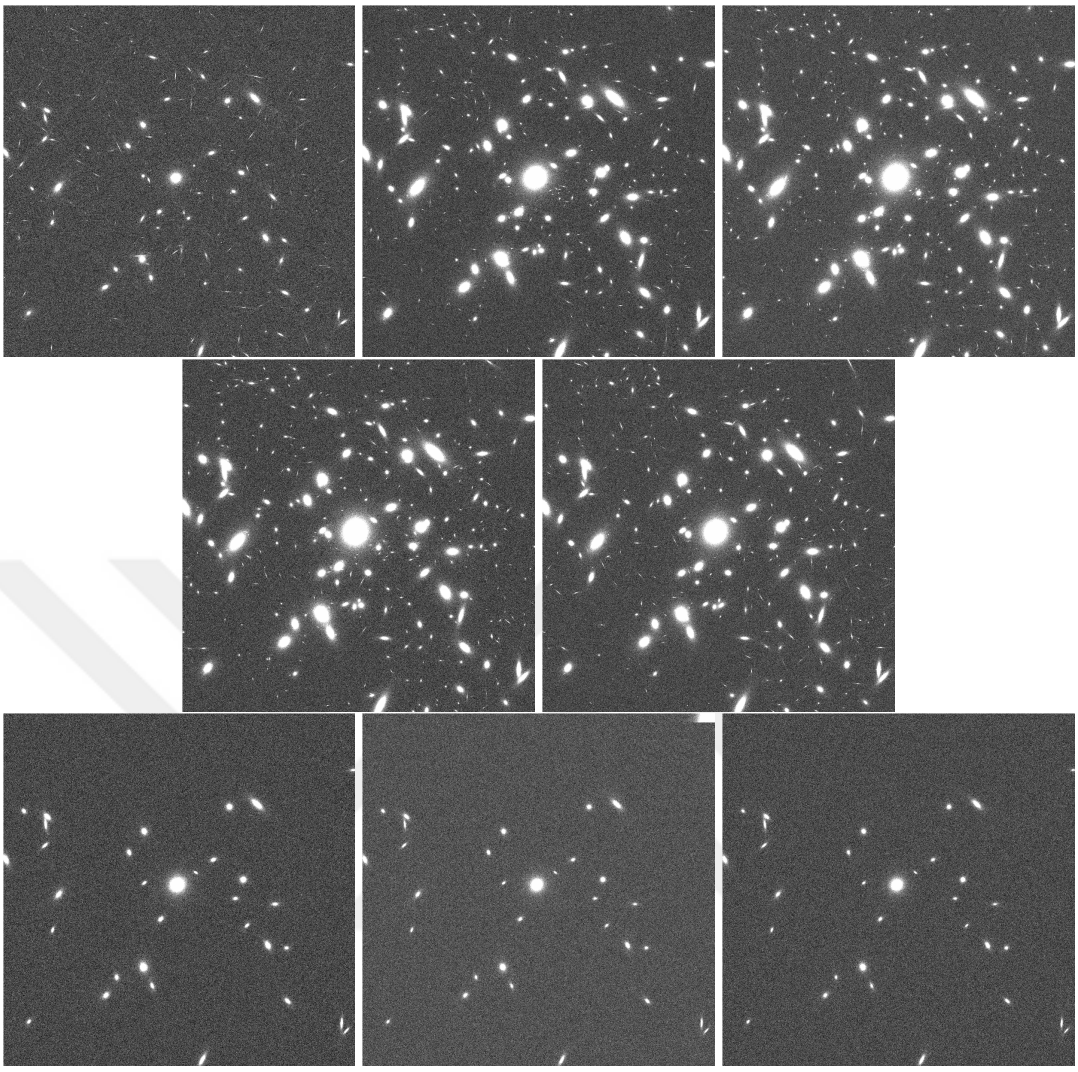


**Şekil 3.5** Solda, Abell 2255 Galaksi Kümesinin RTT150-TFOSC ile tek bir pozda alınan i bandı görüntüsü; sağda, aynı boyutlardaki alanın DAG-DIRAC ile gözlenmesi durumunda kırmızı kutular ile DIRAC görüş alanlarını göstermektedir.

Abell 193 kümesi için 0.3" atmosferik görüş değerinde üretilen simülasyon görüntüleri **Şekil 3.6**'da optik ve kırmızıöte filtreler için ayrı ayrı verilmektedir. Optik görüntüler üretilirken TFOSC kamerası için `SkyMaker`'in dahili PSF özelliği kullanılmış ve dört farklı görüş değeri için görüntüler üretilmiştir. Kırmızıöte görüntüler üretilirken, Bölüm 3.2.1'de verilen *soapy* ile ürettiğimiz PSF'ler kullanılmıştır. `SkyMaker`'a harici olarak bu PSF'ler verilmiş ve görüntüler buna göre üretilmiştir.

Abell 193 kümesine ait görüntüler üretilirken poz süreleri u: 70s, g: 30s, r: 15s, i: 10s, z: 10s, J: 20s, H: 10s ve Ks: 10s olarak uygulanmıştır. Kırmızıöte bölge gözlemlerde gökyüzü parlaklığının fazla olması nedeniyle uzun poz süreleri uygulanamamaktadır. Optik bölgede ulaşılan benzer derinliklere ulaşabilmek için kırmızıöte görüntüler üretilirken farklı GAIN (kazanç) değerleri dikkate alınmıştır. `SkyMaker`'ın çalışma algoritması nedeniyle, çok sayıda kırmızıöte görüntü elde edip birleştirmek için GAIN değeri arttırılmaktadır. Dolayısıyla, Abell 193 kümesinde J, H ve Ks filtreleri için kazanç değeri 300 olarak kullanılmıştır. Bu da, örneğin, J filtresinde 300 x 20s'lik görüntü elde etmeye eşdeğer bir sonuç vermektedir.

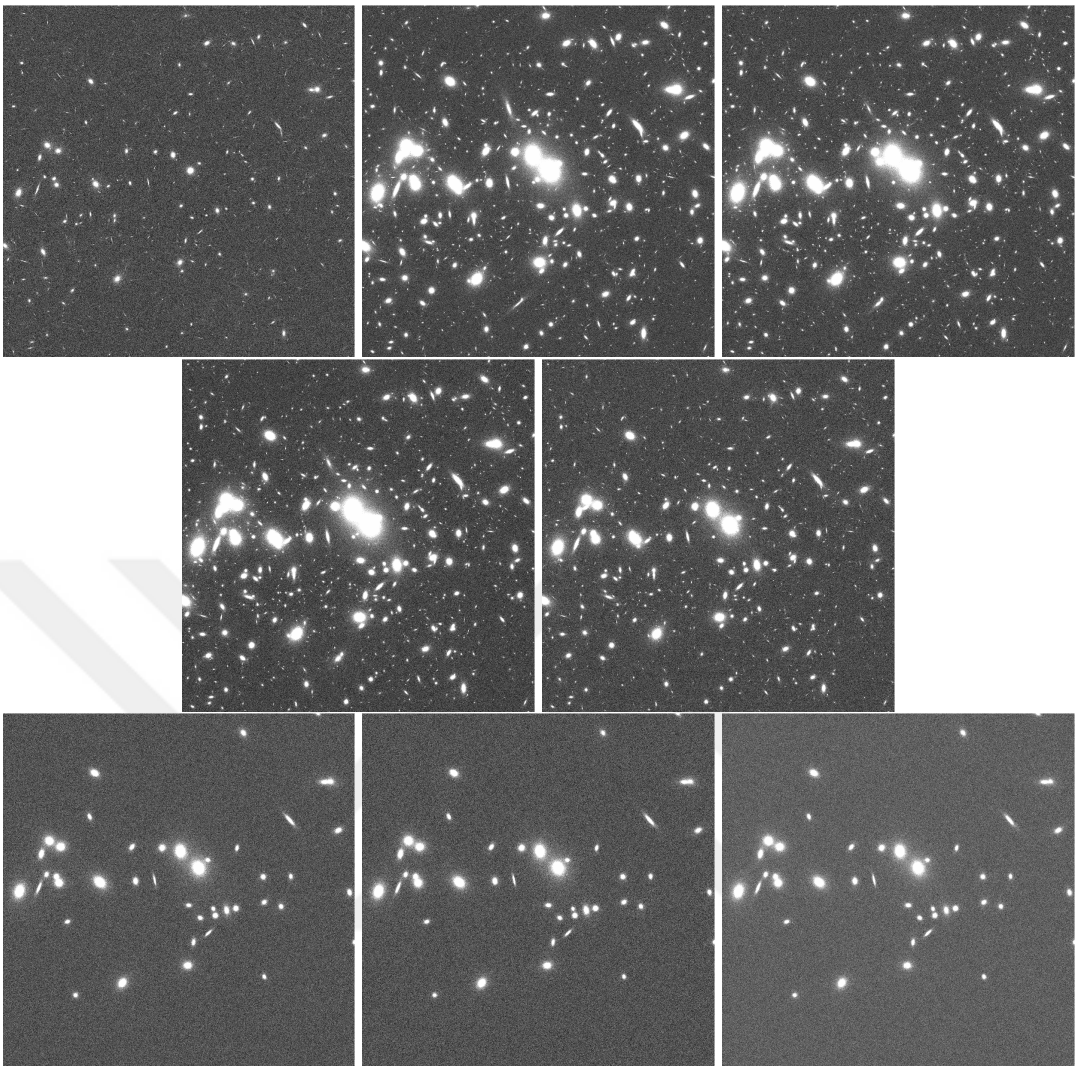
Bu kısımda Bölüm 4.1.1'dekine benzer şekilde ama Abell 2255 galaksi kümesine ait görüntüler üretilmiş ve analizler yapılmıştır. **Şekil 3.7**'de Abell 2255 kümesi için üretilen optik ve kırmızıöte görüntüler verilmektedir. Tüm görüntüler 0.3" atmosferik görüş değerine karşılık üretilmiştir. Optik görüntüler farklı görüş değerleri için `SkyMaker`'ın dahili PSF



**Şekil 3.6** Abell 193 kümesine ait optik ve kırmızıöte görüntüler. Görüntüler 0.3" atmosferik görüş değeri için üretilmiştir. İlk iki sırada sırayla "ugriz" bantlarındaki görüntüler, son sırada ise "JHKs" bantlarındaki görüntüler verilmektedir.

özelliği ile kırmızıöte görüntüler ise `soapy` ile ürettiğimiz PSF'ler kullanılarak üretilmiştir.

Tez kapsamında simüle ettiğimiz iki küme alanı farklı özelliklerde galaksiler içerdiğinden, iki simülasyon için farklı poz süreleri kullanılmak durumunda kalmıştır. Bunun temel nedeni, alandaki parlak galaksilerin görüntülerde doymamasını sağlamaktır. Buna göre, Abell 2255 kümesi simüle edilirken poz süreleri u: 150s, g: 110s, r: 60s, i: 60s, z: 55s, J: 60s, H: 40s ve Ks: 30s olarak uygulanmıştır. Kırmızıöte görüntüler için kazanç değeri JHKs filtreleri için sırasıyla 200, 300 ve 400 olarak kullanılmıştır. Dolayısıyla, her üç kırmızıöte filtre için efektif poz süresi 12000s olmuştur.



**Şekil 3.7** Abell 2255 kümesine ait optik ve kırmızıöte görüntüler. Görüntüler 0.3" atmosferik görüş değeri için üretilmiştir. İlk iki sırada sırayla "ugriz" bantlarındaki görüntüler, son sırada ise "JHKs" bantlarındaki görüntüler verilmektedir.

### 3.4.2. Sentetik Galaksiler

Her bir simülasyon DAG teleskobu birinci nesil odak düzlemi aleti olan DIRAC'ın (DAG Infrared Camera) piksel ölçeği dikkate alınarak 16k $\times$ 16k piksel boyutlarında üretilmiştir. DIRAC'ın 0.033 "/piksel değerindeki piksel ölçeği ile her bir simülasyonun görüş alanı (FoV): $9' \times 9'$ bir alana karşılık gelmektedir. DIRAC'ın efektif görüş alanı 33.1" $\times$ 33.1" olacaktır, ancak bu çalışmada DIRAC özelliklerini taşıyan 16k $\times$ 16k boyutlarında mozaik bir CCD kamera varsayılmıştır. Bu sayede daha çok galaksi simüle edilebilmiştir.

Bu aşamada çalışmaya ideal veriler üzerinden devam edilmek istendiğinden, simüle edilen

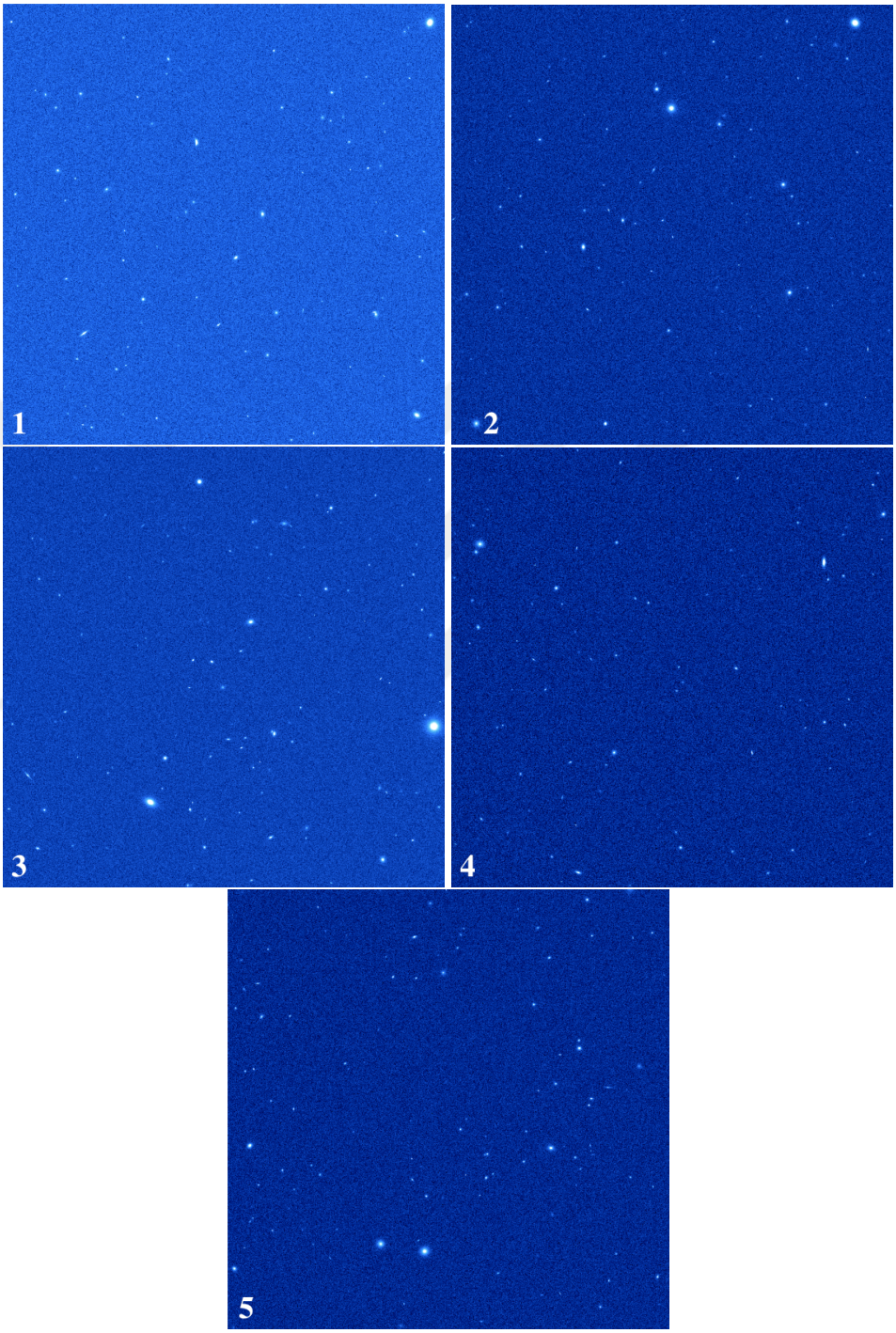
alanlar yıldız içermemektedir.

`Stuff` ile üretilen kataloglarda yer alan galaksilerin, astronomi görüntüsü olarak simüle edilmesi için `SkyMaker` programı kullanılmıştır. `SkyMaker`, özellikleri bilinen bir teleskop ve kamera ile gözlem yapılmış gibi gök cisimlerinin gerçekçi görüntülerini üretebilen bir yazılımdır (Bertin, 2009). `SkyMaker` ile simülasyon görüntüleri üretilirken teleskobun birincil ve ikincil ayna çapı, fotometrik filtreler, pozlama süresi, dedektörün kazanç, gürültü, boyut, doygunluk seviyesi gibi bilgiler dikkate alınır. Görüntüleri simüle edilecek cisimlerin (bu çalışmada galaksiler) parlaklık ve morfolojik özellikleri ise `Stuff` gibi ampirik model üretebilen bir yazılımdan sağlanır. `Stuff` tarafından üretilen katalog dosyalarının içeriği, `SkyMaker` yazılımı için uyumlu bir girdi dosyası olarak oluşmaktadır. Sonuç olarak, her filtre için simüle edilmiş galaksiler, FITS formatında bir görüntü oluşturmak için kullanılır.

Simülasyon görüntülerinin oluşturulması sırasında dikkate alınan bir diğer önemli parametre de atmosferik görüştür. `SkyMaker`, kullanıcı tarafından yaysaniyesi biriminde verilen görüş değerini dikkate alarak görüntüleri üretmektedir. Bu çalışmada kullanılan simülasyon görüntüleri üretilirken 0.3", 0.7", 1.0" ve 1.5" olmak üzere dört farklı atmosferik görüş değeri dikkate alınmış ve görüntüler her bir görüş değeri için ayrı ayrı üretilmiştir.

MegaCam (*u*, g, r, i, z*) filtreleri için üretilen görüntülerde atmosferik görüş etkisi `SkyMaker` yazılımı tarafından hesaplanmış, 2MASS (*J, H, Ks*) filtreleri için üretilen görüntüler için bu çalışmada üretilen PSF'ler kullanılmıştır. Bu sayede, beş bant optik ve üç bant yakın-kırmızıöte olmak üzere toplam sekiz bantta görüntüler üretilmiştir.

**Şekil 3.8**'de beş simülasyona ait i-bandı görüntüleri 0.3" görüş değeri için örnek olarak verilmektedir.




**Şekil 3.8** Üretilen 5 simülasyonun 0.3" atmosferik görüş değerindeki i-bandı görüntüleri.

## 3.5. GÖRÜNTÜLERİN ANALİZİ

Galaksilerin parlaklık, etkin yarıçap ($R_e$), b/a, durum açısı ($\theta$) gibi yapısal ve fotometrik parametrelerinin elde edilmesi için literatürde sıklıkla kullanılan `SExtractor` (Bertin ve Arnouts, 1996) programı kullanıldı. `SExtractor`, astronomik görüntülerdeki cisimlerin çeşitli parametrelerini hesaplayarak bir cisim kataloğu üretmemize yarayan bir programdır. FITS dosya formatında verilen astronomik görüntüleri analiz ederek, görüntülerde cisimleri tespit eder ve konfigürasyon dosyalarındaki tercihlere bağlı olarak parlaklıkları ve birçok parametreyi hesaplar. Programın çıktısı ASCII, FITS veya LDAC formatlarında cisim katalogları şeklindedir. `SExtractor` günümüzde tüm gökyüzü tarama projelerinde, bireysel gözlem projelerinde ve birçok astronomik uygulamada kullanılmaktadır. Programın en güçlü yanı hızıdır. Son yıllarda artan geniş alanlı detektörler ve büyük veri ile hız çok önemli bir hale gelmiştir. Ayrıca `SExtractor`'un güncel versiyonunda galaksilerin yapısal parametrelerine dair hesaplama özelliklerinin de eklendiği görülmüştür.

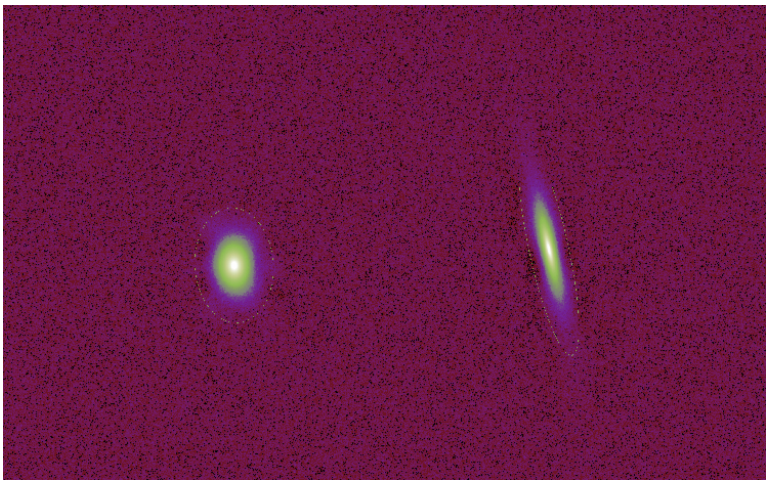
`SExtractor` programının çalışabilmesi için gerekli konfigürasyon dosyası ve analiz sonucunda elde edilmek istenilen parametrelere ait bilgileri içeren parametre dosyasının önceden hazırlanması gerekir.

Kongfigürasyon dosyası içeriğinde, çalışma kapsamında görüntülerin üretilmesi aşamasında da kullanılan bazı parametreler yer almaktadır (Dedektör GAIN değeri, satürasyon seviyesi, piksel ölçeği, sıfır nokta sabitleri vb.) ve bu değerler farklı dalgaboyu, poz süresi, kamera özellikleri için değişmektedir.

Analizler sonrasında elde etmek istediğimiz parametreleri, parametre dosyasında tanımlayarak bir çıktı kataloğu elde edebiliriz. Bu çalışmada yer alan galaksilere için istenilen sonuçlar: fiziksel x-y konumları ve bu bilgilerin maksimum minimum değerleri, parlaklık ve hataları, yarı büyük ve küçük eksen büyüklükleri, FWHM ve eliptiklik değerleridir.

Bölüm 4.1'de elde edilen sonuçlar, konfigrasyon dosyasındaki değerler ve parametre dosyasında tanımlanan analiz edilecek parametreler dikkate alınarak elde edilmiştir.

`SExtractor` çalıştılırken simülasyon üretilirken belirlenen parametreler (piksel ölçeği, kazanç, okuma gürültüsü gibi) programın ayar dosyasına aynen taşınmıştır. Bu aşamada genelde galaksi çalışmalarında kullanıldığı gibi açıklıkların Kron benzeri açıklıklar



**Şekil 3.9** `SExtractor` ile kullanılan Kron açıklıklarına (kesikli çizgiler) bir örnek.

olması tercih edilmiştir. Kron açıklıkları, galaksilerin yarı-büyük ve yarı-küçük eksenleri belirlendikten sonra bu uzunluklara ölçeklenen bir açıklık türüdür. Bu nedenle, galaksilerin toplam parlaklığının ölçülmesinde en uygun yaklaşımdır ve yaygın olarak kullanılır. **Şekil 3.9**'da bu çalışmada analiz edilen görüntülerden bir bölüm örnek olarak verilmektedir. Görüntüdeki kesikli çizgiler `SExtractor` tarafından belirlenmiş Kron açıklıklarını temsil etmektedir.

Program çalıştırıldıktan sonra simülasyon görüntülerinde yer alan cisimlerin görüntülerdeki konumları (x-y piksel koordinatları), parlaklık değerleri ve hataları, yarıçap, yarı-büyük ve yarı-küçük eksen uzunlukları, pozisyon açısı ve basıklık parametreleri elde edilmiştir.

`SExtractor` ile elde edilen parlaklıkların kullanılan filtrelerin standart sistemlerinde olabilmesi için kullanılacak sıfır nokta sabitleri (ing. zeropoint) `SkyMaker` programı tarafından ilgili filtreler için verilen sabit değerleri baz alınarak aşağıdaki gibi hesaplandı:

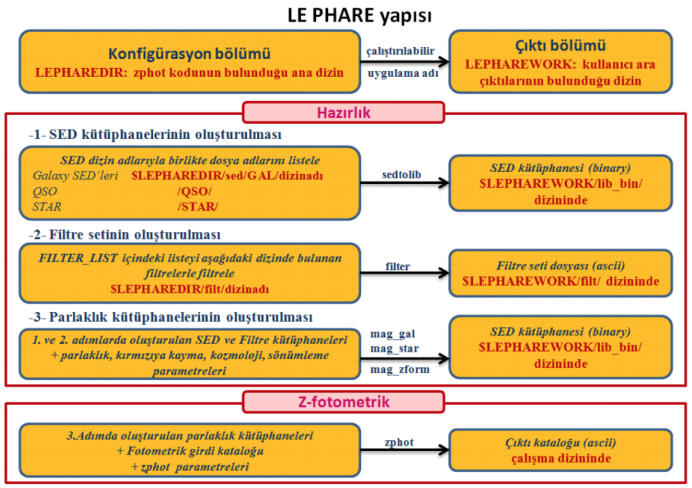
$$MAGZP_{SExtractor} = MAGZP_{filtre} + 2.5 \times log(EXPTIME) \tag{3.1}$$

burada EXPTIME saniye cinsinden görüntüler oluşturulurken kullanılan poz süresini belirtmektedir. `SkyMaker` tarafından filtreler için verilen sıfır nokta sabitleri, programın kütüphanesinde bulunan filtrelerin geçirgenlik eğrileri dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

## 3.6. GALAKSİLERİN FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMALARININ HESAPLANMASI

Fotometrik kırmızıya kayma günümüz galaksi-dışı astronomi çalışmalarında önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Galaksilerin fiziksel parametrelerinin belirlenebilmesi için kırmızıya kayma ile temsil edilebilen uzaklıkların bilinmesi gerekmektedir. Ancak alışılageldik yöntemlerle, tayfsal gözlemler yoluyla, kırmızıya kaymalarını belirlemek oldukça fazla teleskop zamanı gerektirmektedir. Galaksi parlaklıklarına ihtiyaç duyan fotometrik kırmızıya kayma yöntemi, galaksi renkleriyle kırmızıya kayma arasındaki ilişkinin anlaşılmasıyla ortaya çıkmıştır (Baum, 1957, 1962).

Sloan Digital Sky Survey (SDSS) ile birlikte yaygınlaşan çok bantlı görüntüleme projeleri sayesinde neredeyse tüm gökyüzü görüntülenmiştir. Her bir gökyüzü tarama projesi, kullanılan teleskoba ve detektörlere bağlı olarak farklı parlaklık limitlerine sahiptir. Bununla birlikte fotometrik kırmızıya kaymalar, günümüzde her türlü görüntüleme projesi veya gökyüzü taramasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Salvato *ve diğ.*, 2019). Vera Rubin Gözlemevinde 8.4 metrelik teleskopla yürütülecek LSST taraması $i \leq 25.3$'e kadar 4 milyar galaksi tespit edebilecektir. Tüm proje tamamlandığında, 20000 derecekarelik alanda $r \sim 27.5$'e ulaşılacak ve 10 milyar galaksinin *ugrizy* filtlerinde parlaklıkları ölçülmüş olacaktır (LSST Science Collaboration, Abell *ve diğ.ve diğ.*, 2009). Yakın gelecekte fırlatılması planlanan Çin Uzay Teleskobunun (Chinese Space Telescope: Xuntian) da milyarlarca galaksinin fotometrik kırmızıya kaymasını belirlemesi beklenmektedir (Han *ve diğ.*, 2023).




**Şekil 3.10** `LePhare` programının çalıştırılmasında izlenen ana adımlar (Sezen, 2008).

Fotometrik kırmızıya kaymalar Arnouts *ve diğ.* (1999) tarafından geliştirilen `LePhare`

programı kullanılarak hesaplanmıştır. LePhare temel olarak galaksilerin farklı dalgaboylarındaki akılarını, önceden hesaplanmış ve iyi bilinen galaksi SED'lerine dayanan model akılarla karşılaştırarak galaksinin kırmızıya kaymasını belirler. Bu belirlemede, kullanılan model galaksi tayfları önemli bir rol oynar. `LePhare` programı ölçülen galaksi akılarını model galaksi akılarıyla karşılaştırarak kırmızıya kaymaları belirlediğinden SED uyumlama tekniği kullanan bir programdır. **Şekil 3.10**'da programın çalıştırılmasında izlenen adımlar verilmektedir. Hildebrandt *ve diğ.* (2010) ve Dahlen *ve diğ.* (2013) hem gerçek verilerle hem de simüle edilmiş galaksilerle birçok fotometrik kırmızıya kayma programını test etmiş ve `LePhare`'ın en iyi performansa sahip araçlardan biri olduğunu söylemiştir.

Günümüzde makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak da kırmızıya kaymalar belirlenmektedir. Bu yaklaşımların bazıları klasik makine öğrenmesi tekniklerini kullanırken (Fotopoulou ve Paltani, 2018; Humphrey *ve diğ.*, 2023; Tanigawa *ve diğ.*, 2024), bazıları da galaksi görüntülerine dayanan derin öğrenme tekniklerini kullanır (Collister ve Lahav, 2004; Pasquet *ve diğ.*, 2019; Sadeh *ve diğ.*, 2016; Schuldt *ve diğ.*, 2021). Ancak yine de en yaygın uygulama SED uyumlama tekniğidir (Salvato *ve diğ.*, 2019). Makine öğrenmesi tekniklerinin uygulanabilmesi geniş bir öğrenme verisine ihtiyaç duyar. SDSS gökyüzü tarama projesi çok büyük miktarda veri sunarak hem galaksileri sınıflama çalışmalarını (Banerji *ve diğ.*, 2010; Barchi *ve diğ.*, 2019), hem de fotometrik kırmızıya kayma belirleme çalışmalarını hızlandırmıştır.

`LePhare`, fotometrik kırmızıya kayma hesaplamaları için geniş bir araç seti sunar. Kullanıcılar, kütüphane olarak eliptik, spiral ve düzensiz galaksilere ait şablonları seçebilir. Ayrıca, yıldız oluşum geçmişleri, metal bolluğu ve toz soğurması gibi parametreler üzerinde de hassasiyetle çalışılabilir. `LePhare`'ın temel çalışma prensibi, kırmızıya kayma boyunca kaydırılan spektrumlarla gözlemler arasında $\chi^2$ minimizasyonu yaparak en uygun modeli belirlemektir. Bu yazılım, kullanıcıların kendi spektrum kütüphanelerini yüklemelerine de olanak tanır ve büyük projeler için verimli bir şekilde optimize edilmiştir (Coupon *ve diğ.*, 2009; Cucciati *ve diğ.*, 2012; Ilbert *ve diğ.*, 2006, 2009).

Bu tez çalışmasında `LePhare` kullanılırken, model galaksi parlaklıkları, literatürde yaygın biçimde kullanılan ve yıldızların popülasyon sentezine dayanan Bruzual ve Charlot (2003) modeliyle üretilmiştir.

# 4. BULGULAR

## 4.1. ABELL 193 VE ABELL 2255 GALAKSİ KÜME ALANLARI

Bu bölümde RTT150-TFOSC ve DAG-DIRAC detektörleri için iki galaksi kümesinin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Seçilen kümeler daha önce Türkiye Ulusal Gözlemevleri RTT150 teleskobu ile Spektrum-Röntgen Gamma uydusu takip gözlemleri için tez danışmanının yürütücü olduğu bir hazırlık projesi kapsamında görüntülenmiştir.

Bu çalışmada bu iki kümenin hem TFOSC hem de DIRAC için simülasyonları üretilmiş, böylece optik ve yakın kırmızıöte bölgelerde görüntüler elde edilmiştir. Hali hazırda DAG teleskobu için planlanmış optik bir detektör olmadığından kısa vadede, DAG teleskobu çalışmaya başladıktan sonra, çok bantlı gözlemler için RTT150 ile sinerji yapılabileceği düşünülmüştür. Toplamda 8 bantta üretilen simülasyon görüntüleri Bölüm 3'te genel hatlarıyla tanıtılan `SExtractor` programıyla analiz edilmiş ve kümelerin gerçek parametreleriyle simülasyonlardan elde edilen parametreleri karşılaştırılmıştır.

Her iki küme için de simülasyonların olabildiğince gerçekçi olabilmesi için küme alanlarındaki galaksilere ait fotometrik ve yapısal parametreler SDSS DR18'den (Almeida *ve diğ.*, 2023; Blanton *ve diğ.*, 2017; York *ve diğ.*, 2000) ve 2MASS (Skrutskie *ve diğ.*, 2006) gökyüzü tarama projelerinden alınmıştır. Ayrıca her iki projede verilen fotometrik kırmızıya kaymalar da derlenerek galaksiler için `SkyMaker` programına girdi dosyaları oluşturulmuştur. SDSS veritabanı `SkyMaker` için gerekli olan yapısal parametreleri (yarıçap, b/a, B/T gibi) vermekte ancak 2MASS veritabanı bu parametreleri vermemektedir. Bu nedenle, galaksiler için J, H ve Ks parlaklıkları 2MASS All-Sky Data Release Extended Source Catalog (XSC)'dan alınmış ancak yapısal parametreleri için SDSS z-bandı kullanılmıştır. Galaksinin b/a oranı veya pozisyon açısı ($\theta$) gözlenen filtreye göre değişmeyeceği için, bunun makul bir yaklaşım olduğu değerlendirilmiştir.

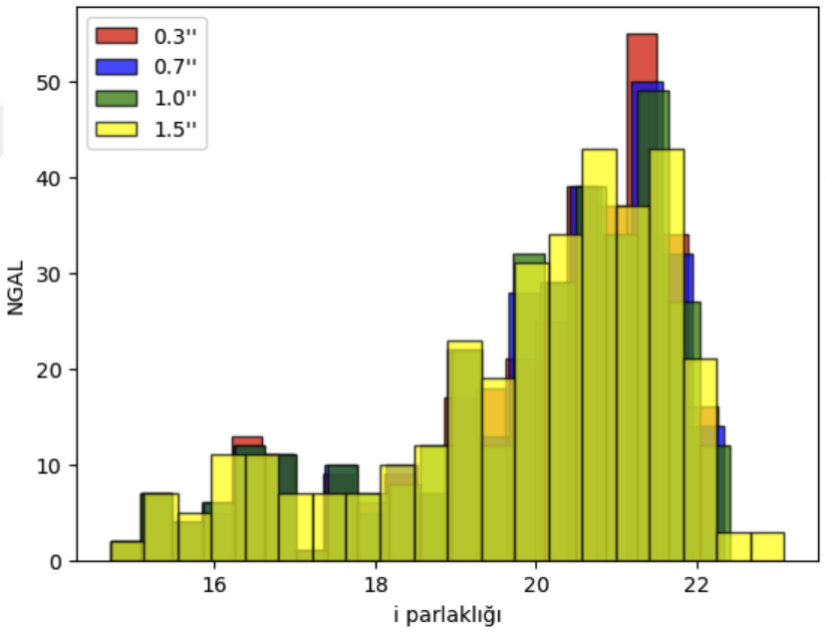
`SkyMaker` ile görüntüleri oluştururken, görüntülerin piksel ölçekleri TFOSC için 0.39"/piksel ve DIRAC için 0.033"/piksel (Yeşilyaprak ve Keskin, 2020) olarak kullanılmıştır. Görüntüler üretilirken yalnızca galaksiler dikkate alındı ve yıldızlar

simülasyonlara dahil edilmedi. Bu aşamada analizleri basit tutmak için bu tercih yapıldı ancak ileriki çalışmalarda gözlenecek alanlardaki yıldızların etkileri de dikkate alınacaktır.

Üretilen görüntüler sonrasında `SExtractor` ile analiz edilerek her iki küme alanındaki galaksiler için parlaklık ve hataları ile b/a değerleri elde edilmiştir.

Aşağıdaki bölümlerde `SExtractor` ile elde edilen bulgular Abell 193 ve Abell 2255 kümeleri için ayrı ayrı verilmektedir. Görüntülerin analizlerinden elde edilen parlaklıklar bu bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Her bir filtre için ayrı ayrı parlaklık dağılımları ve tablolar vermek çok karışıklık yaratacağından bu bölümde optik bölgeyi temsilen yalnızca i-bandı için grafikler verilmiştir. DAG teleskobunun önemi nedeniyle kırmızıöte bölgedeki J, H ve Ks bantlarının üçü için de sonuçlar ayrı ayrı sunulmuştur.

### 4.1.1. Abell 193 Kümesine Ait Sonuçlar

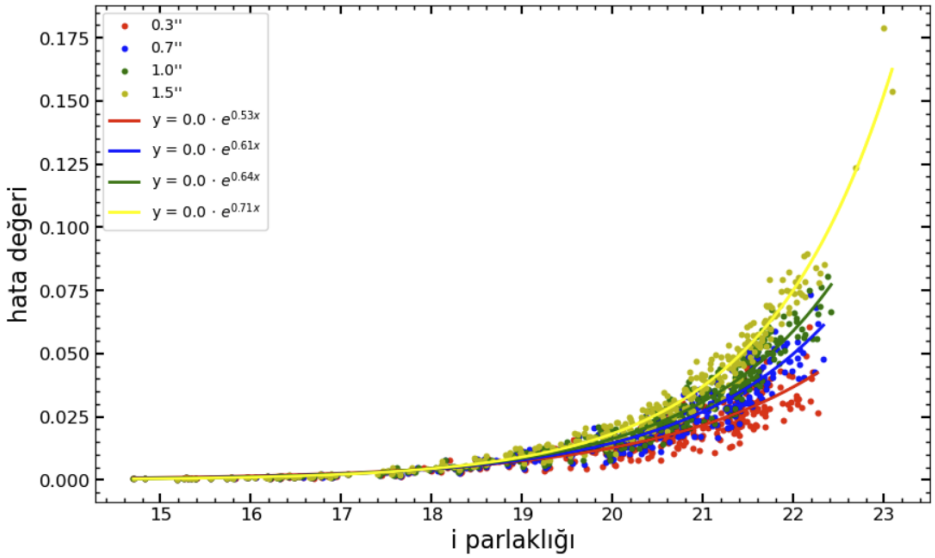



**Şekil 4.1** Abell 193 kümesine ait 350 galaksinin i-bandı parlaklık dağılımı. Grafikte tüm atmosferik görüş değerleri için histogramlar farklı renklerle gösterilmektedir.

**Şekil 4.1**'de farklı atmosferik görüş değerlerine ait görüntülerden elde edilen i-bandı parlaklık dağılımları verilmektedir. Atmosferik görüş değerinin i-bandı parlaklık dağılımlarında büyük bir etkisi tespit edilmemiştir.

Parlaklık ölçümleri ile ilgili en önemli parametre parlaklığın hatasıdır. Bu nedenle, **Şekil 4.2**'de parlaklık hataları üstel bir fonksiyonla temsil edilmiştir. Çeşitli parlaklıklara

karşılık gelen hata değerleri eğrilerden hesaplanmış ve **Tablo 4.1**'de verilmiştir.




**Şekil 4.2** Abell 193 kümesindeki galaksilerin i-bandı parlaklık hatalarının parlaklığın fonksiyonu olarak gösterimi. Farklı atmosferik görüş değerleri için noktalar ve eğriler farklı renklerle belirtilmiştir.

Benzer şekilde **Şekil 4.3**'te J, H ve Ks bantları için parlaklık dağılımları verilmektedir. Ancak kırmızıöte bölge için grafiklerde ve tablolarda sonuçlar hem AO sistemi etkin değilken hem de etkin durumdayken ayrı ayrı verilmektedir. **Şekil 4.3**'te soldaki histogramlar AO etkin değilken elde edilen dağılımları, sağdakiler ise AO etkin olduğunda elde edilen dağılımları göstermektedir. Her üç filtre için de dağılımlarda çok ciddi farklılıklar tespit edilmemiştir.

**Şekil 4.4**'te J, H ve Ks bantları için parlaklık hataları parlaklığın bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir. Her üç filtre için elde edilen grafiklerde parlaklık hataları **Şekil 4.2**'de olduğu gibi üstel bir fonksiyonla temsil edilmiştir. Ancak farklı olarak burada AO'lu ve AO'suz sonuçlar ayrı ayrı sunulmaktadır. Grafiklerden elde edilen sonuçlar **Tablo 4.2**, **Tablo 4.3** ve **Tablo 4.4**'te sırasıyla J, H ve Ks bantları için sunulmaktadır. Tablolarda parlaklık hataları farklı atmosferik görüş değerleri için, ayrıca AO sistemi etkin değilken ve etkin olduğu durumlar için ayrı ayrı verilmektedir.

**Şekil 4.5**'te Abell 193 kümesindeki galaksiler için simülasyonlardan elde edilen b/a oranı ile SDSS veritabanında verilen b/a değerleri karşılaştırılmaktadır. Grafiklerde simülasyon ve gözlem değerleri arasında doğrusal korelasyon elde edilmiş, ilgili bağıntılar grafiklerin iç kısımlarında verilmiştir. Elde edilen ilişkilere ait standart sapma değerleri de grafiklerde verilmiş ve $1\sigma$ genişliğindeki alan yeşile boyalı olarak belirtilmiştir.

| Parlaklık | Hata (0.3”) | Hata (0.7”) | Hata (1.0”) | Hata (1.5”) |
|---|---|---|---|---|
| 15.0 | 0.000901 | 0.000680 | 0.000648 | 0.000535 |
| 15.5 | 0.001175 | 0.000924 | 0.000895 | 0.000762 |
| 16.0 | 0.001532 | 0.001256 | 0.001235 | 0.001085 |
| 16.5 | 0.001996 | 0.001707 | 0.001705 | 0.001544 |
| 17.0 | 0.002602 | 0.002321 | 0.002354 | 0.002199 |
| 17.5 | 0.003392 | 0.003155 | 0.003249 | 0.003130 |
| 18.0 | 0.004422 | 0.004288 | 0.004485 | 0.004457 |
| 18.5 | 0.005763 | 0.005828 | 0.006190 | 0.006346 |
| 19.0 | 0.007513 | 0.007922 | 0.008544 | 0.009034 |
| 19.5 | 0.009792 | 0.010768 | 0.011794 | 0.012863 |
| 20.0 | 0.012764 | 0.014637 | 0.016280 | 0.018313 |
| 20.5 | 0.016638 | 0.019895 | 0.022472 | 0.026073 |
| 21.0 | 0.021687 | 0.027042 | 0.031018 | 0.037122 |
| 21.5 | 0.028269 | 0.036757 | 0.042815 | 0.052852 |
| 22.0 | 0.036848 | 0.049962 | 0.059099 | 0.075247 |
| 22.5 | 0.048031 | 0.067911 | 0.081577 | 0.107133 |

**Tablo 4.1** Abell 193 kümesindeki galaksiler için farklı atmosferik görüşteki i-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.2**’deki eğri denklemlerinden elde edilmiştir.

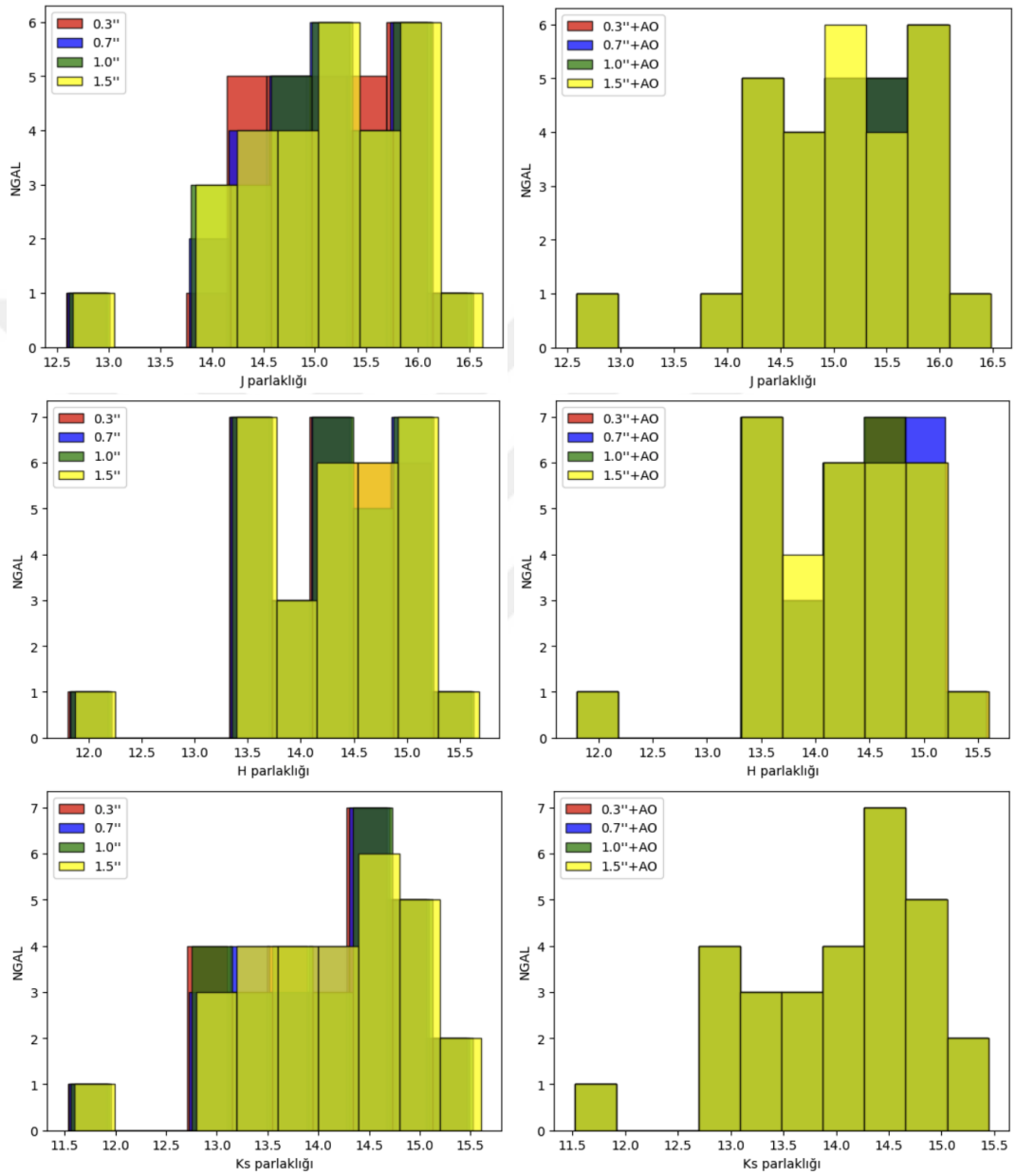
Burada J-bandı görüntülerinden elde edilen b/a değerleri örnek olarak sunulmaktadır. **Şekil 4.5**’te farklı atmosferik görüş değerleri için sonuçlar hem AO sistemi etkin değilken hem de AO sistemi etkin olduğundaki durum için verilmektedir. Tüm görüş değerleri için en iyi sonuçlar AO sistemi etkinken elde edilmiştir. 0.3" ve 0.7" gibi iyi atmosferik görüş değerlerinde AO sisteminin etkisi çok belirgin değildir ve gözlemler AO sistemi etkinmiş gibi sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, 1.0" ve 1.5" görüş değerleri için AO’nun katkısı oldukça belirgindir. Adaptif optiğin Abell 193 kümesindeki galaksilerin şekil ölçümlerindeki iyileştirme oranı 0.3", 0.7", 1.0" ve 1.5" görüş değerleri için sırasıyla %11, %32, %44 ve %53’tür.

| Parlaklık | Hata (0.3”) | Hata (0.7”) | Hata (1.0”) | Hata (1.5”) |
|---|---|---|---|---|
| AO Etkin Değil | | | | |
| 13.0 | 0.000059 | 0.000067 | 0.000074 | 0.000088 |
| 13.5 | 0.000089 | 0.000101 | 0.000111 | 0.000130 |
| 14.0 | 0.000136 | 0.000152 | 0.000166 | 0.000194 |
| 14.5 | 0.000208 | 0.000230 | 0.000250 | 0.000288 |
| 15.0 | 0.000317 | 0.000348 | 0.000376 | 0.000428 |
| 15.5 | 0.000483 | 0.000526 | 0.000566 | 0.000637 |
| 16.0 | 0.000737 | 0.000795 | 0.000850 | 0.000947 |
| 16.5 | 0.001124 | 0.001201 | 0.001279 | 0.001408 |
| AO Etkin | | | | |
| 13.0 | 0.000054 | 0.000054 | 0.000054 | 0.000055 |
| 13.5 | 0.000083 | 0.000083 | 0.000083 | 0.000084 |
| 14.0 | 0.000127 | 0.000127 | 0.000127 | 0.000129 |
| 14.5 | 0.000194 | 0.000195 | 0.000195 | 0.000198 |
| 15.0 | 0.000298 | 0.000299 | 0.000299 | 0.000303 |
| 15.5 | 0.000458 | 0.000459 | 0.000460 | 0.000464 |
| 16.0 | 0.000703 | 0.000704 | 0.000707 | 0.000710 |
| 16.5 | 0.001080 | 0.001081 | 0.001086 | 0.001087 |

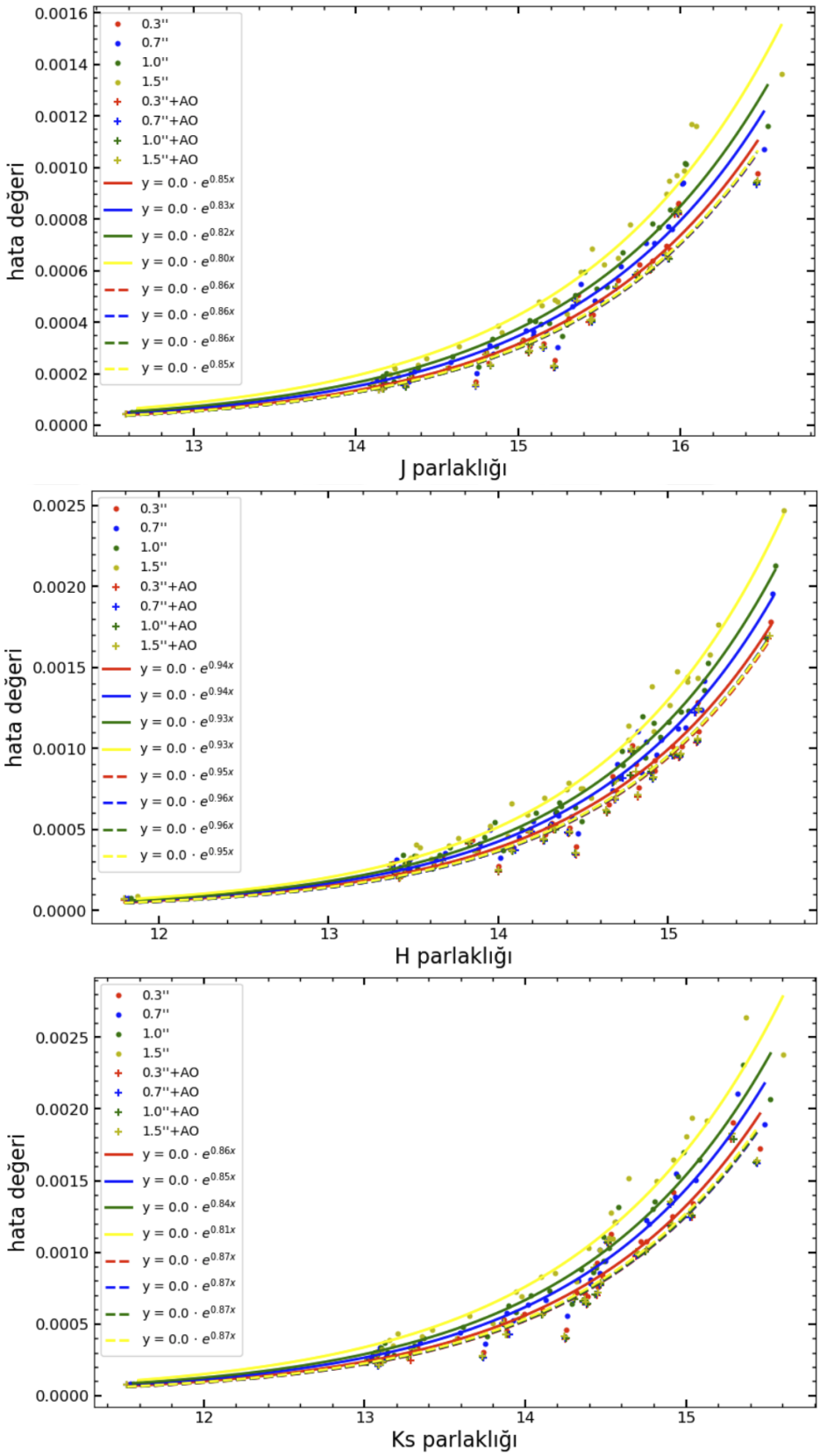
**Tablo 4.2** Abell 193 kümesindeki galaksilerin farklı atmosferik görüşteki ve AO etkin ve etkin değil durumlar için J-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.4**'teki eğri denklemlerinden elde edilmiştir.

| Parlaklık | Hata (0.3”) | Hata (0.7”) | Hata (1.0”) | Hata (1.5”) |
|---|---|---|---|---|
| AO Etkin Değil | | | | |
| 12.0 | 0.000059 | 0.000065 | 0.000071 | 0.000080 |
| 12.5 | 0.000094 | 0.000104 | 0.000113 | 0.000128 |
| 13.0 | 0.000151 | 0.000167 | 0.000180 | 0.000203 |
| 13.5 | 0.000242 | 0.000266 | 0.000287 | 0.000323 |
| 14.0 | 0.000387 | 0.000425 | 0.000458 | 0.000514 |
| 14.5 | 0.000621 | 0.000679 | 0.000730 | 0.000818 |
| 15.0 | 0.000994 | 0.001085 | 0.001165 | 0.001301 |
| 15.5 | 0.001593 | 0.001733 | 0.001859 | 0.002069 |
| AO Etkin | | | | |
| 12.0 | 0.000054 | 0.000053 | 0.000054 | 0.000056 |
| 12.5 | 0.000087 | 0.000086 | 0.000087 | 0.000089 |
| 13.0 | 0.000140 | 0.000139 | 0.000141 | 0.000144 |
| 13.5 | 0.000226 | 0.000225 | 0.000227 | 0.000231 |
| 14.0 | 0.000363 | 0.000364 | 0.000366 | 0.000370 |
| 14.5 | 0.000585 | 0.000588 | 0.000590 | 0.000594 |
| 15.0 | 0.000943 | 0.000951 | 0.000952 | 0.000954 |
| 15.5 | 0.001519 | 0.001537 | 0.001535 | 0.001531 |

**Tablo 4.3** Abell 193 kümesindeki galaksilerin farklı atmosferik görüşteki ve AO etkin ve etkin değil durumlar için H-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.4**'teki eğri denklemlerinden elde edilmiştir.



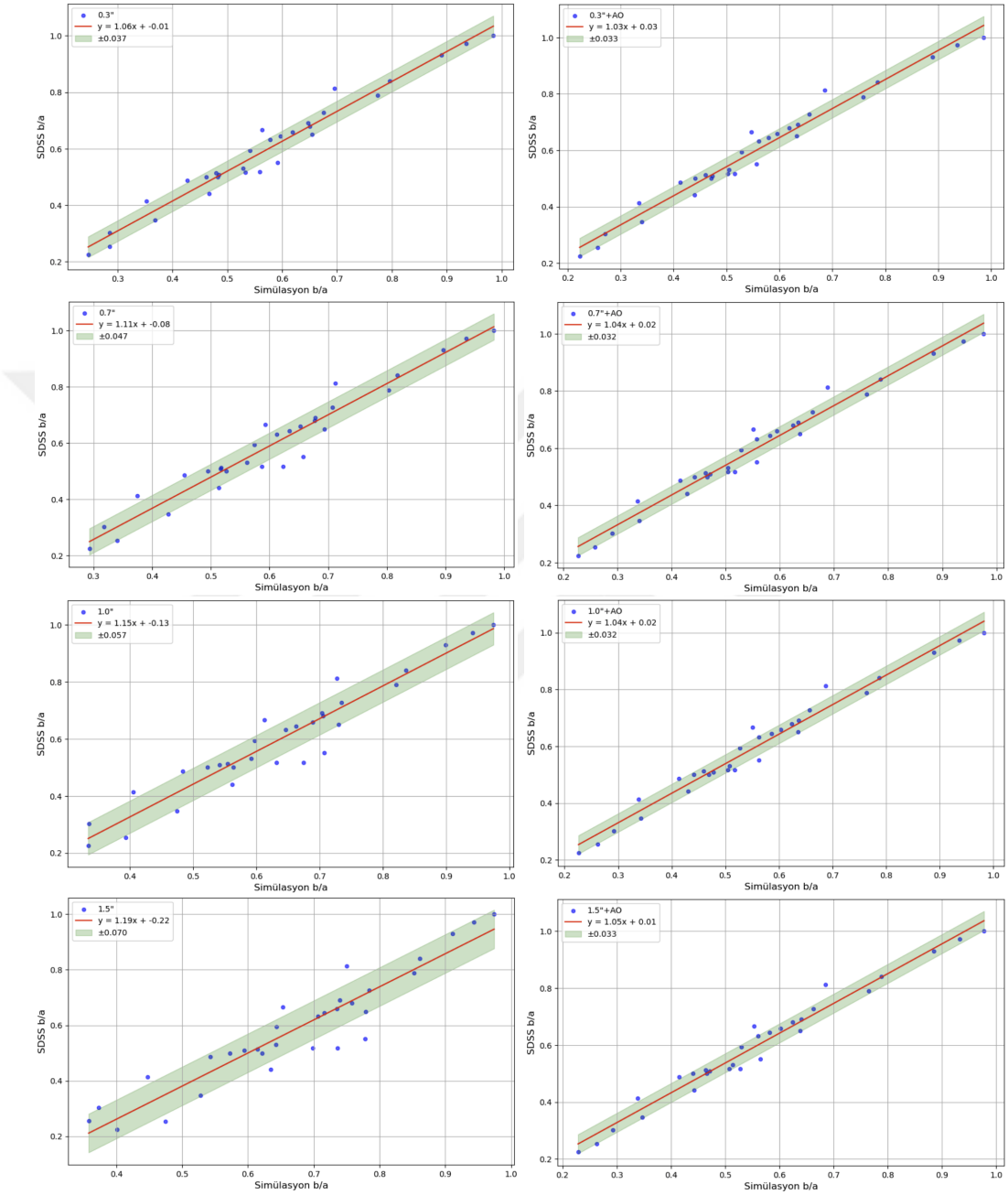

**Şekil 4.3** Abell 193 kümesindeki galaksilerin J, H ve Ks bantları için parlaklık dağılımları. Histogramlar AO devre-dışı (sol) ve devredeyken (sağ) elde edilmiştir.




**Şekil 4.4** Abell 193 kümesindeki galaksilerin J, H ve Ks bantlarındaki parlaklık hatalarının parlaklığın fonksiyonu olarak gösterimi. Farklı atmosferik görüş değerleri için noktalar ve eğriler farklı renklerle belirtilmiştir. AO sistemi aktif değilken ve devredeyken elde edilen noktalar ve eğriler farklı semboller ve renklerle belirtilmiştir.

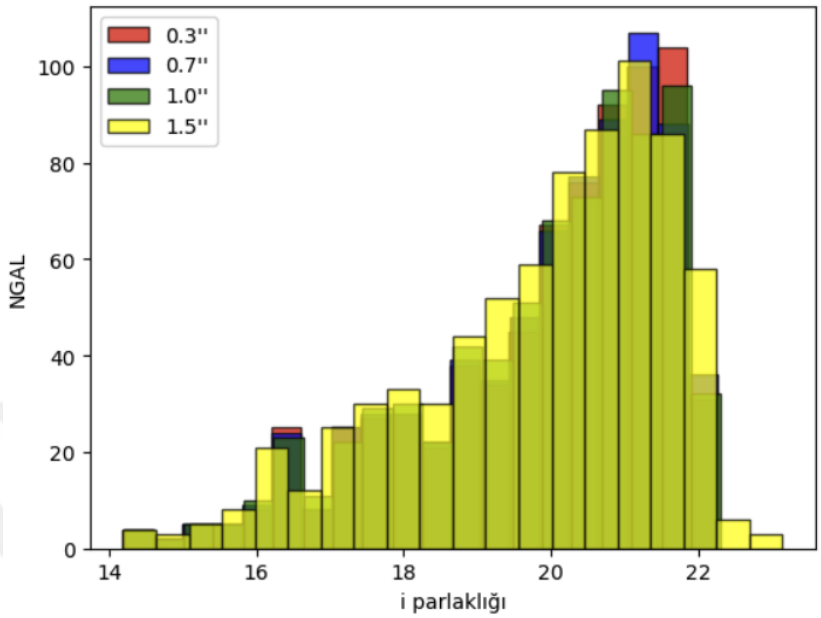
| Parlaklık | Hata (0.3”) | Hata (0.7”) | Hata (1.0”) | Hata (1.5”) |
|---|---|---|---|---|
| AO Etkin Değil | | | | |
| 12.0 | 0.000100 | 0.000114 | 0.000125 | 0.000150 |
| 12.5 | 0.000154 | 0.000174 | 0.000190 | 0.000225 |
| 13.0 | 0.000237 | 0.000265 | 0.000289 | 0.000337 |
| 13.5 | 0.000364 | 0.000405 | 0.000439 | 0.000506 |
| 14.0 | 0.000560 | 0.000618 | 0.000667 | 0.000759 |
| 14.5 | 0.000861 | 0.000943 | 0.001012 | 0.001139 |
| 15.0 | 0.001323 | 0.001439 | 0.001537 | 0.001708 |
| 15.5 | 0.002034 | 0.002197 | 0.002334 | 0.002561 |
| AO Etkin | | | | |
| 12.0 | 0.000091 | 0.000093 | 0.000093 | 0.000095 |
| 12.5 | 0.000141 | 0.000143 | 0.000143 | 0.000146 |
| 13.0 | 0.000218 | 0.000221 | 0.000221 | 0.000225 |
| 13.5 | 0.000337 | 0.000341 | 0.000341 | 0.000347 |
| 14.0 | 0.000522 | 0.000526 | 0.000527 | 0.000535 |
| 14.5 | 0.000808 | 0.000811 | 0.000813 | 0.000825 |
| 15.0 | 0.001250 | 0.001251 | 0.001255 | 0.001271 |
| 15.5 | 0.001933 | 0.001930 | 0.001938 | 0.001959 |

**Tablo 4.4** Abell 193 kümesindeki galaksilerin farklı atmosferik görüşteki ve AO etkin ve etkin değil durumlar için Ks-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.4**'teki eğri denklemlerinden elde edilmiştir.




**Şekil 4.5** Abell 193 kümesi için simüle edilmiş görüntülerden elde edilen b/a oranları ile SDSS veritabanından alınan b/a değerlerinin karşılaştırılması. Grafikler yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla 0.3", 0.7", 1.0" ve 1.5" atmosferik görüş değerleri için AO sistemi etkin değilken (sol) ve etkin durumdayken (sağ) elde edilen sonuçları göstermektedir.

### 4.1.2. Abell 2255 Kümesine Ait Sonuçlar



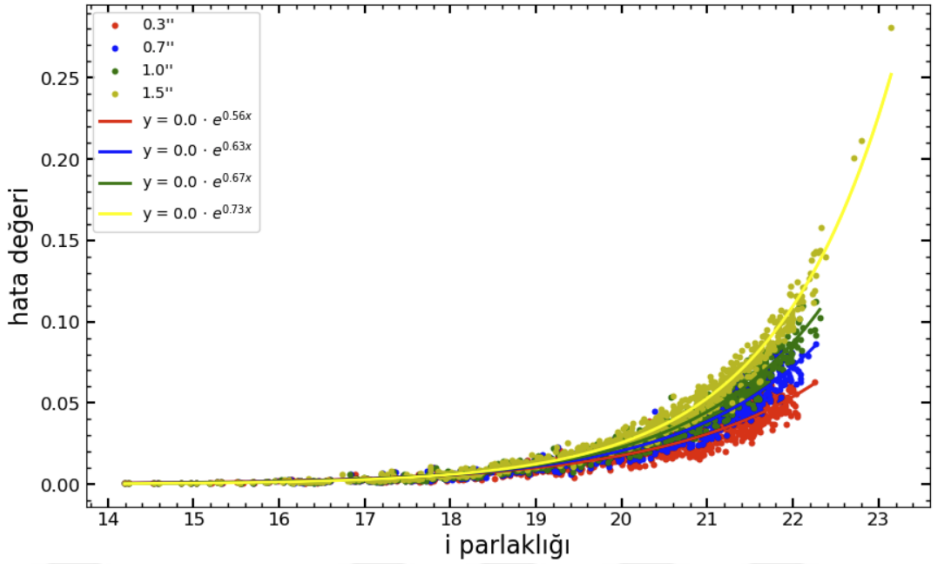

**Şekil 4.6** Abell 2255 kümesine ait 745 galaksinin i-bandı parlaklık dağılımı. Grafikte tüm atmosferik görüş değerleri için histogramlar farklı renklerle gösterilmektedir.

**Şekil 4.6**'da farklı atmosferik görüş değerlerine ait görüntülerden elde edilen i-bandı parlaklık dağılımları verilmektedir. Abell 193'te olduğu gibi atmosferik görüş değerinin i-bandı parlaklık dağılımlarında büyük bir etkisi tespit edilmemiştir.

**Şekil 4.2**'de parlaklık hataları parlaklığın bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Noktalar üstel bir fonksiyonla temsil edilmiş ve çeşitli parlaklıklara karşılık gelen hata değerleri eğrilerden hesaplanmış ve **Tablo 4.5**'te verilmiştir.

**Şekil 4.8**'de J, H ve Ks bantları için parlaklık dağılımları verilmektedir. Dağılımlar hem AO sistemi etkin değilken hem de etkin durumdayken ayrı ayrı verilmektedir. **Şekil 4.8**'de soldaki histogramlar AO etkin değilken elde edilen dağılımları, sağdakiler ise AO etkin olduğunda elde edilen dağılımları göstermektedir. Her üç filtre için de dağılımlarda çok ciddi farklılıklar tespit edilmemiştir.

**Şekil 4.9**'da J, H ve Ks bantları için parlaklık hataları parlaklığın bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir. Her üç filtre için elde edilen grafiklerde parlaklık hataları **Şekil 4.7**'de olduğu gibi üstel bir fonksiyonla temsil edilmiştir. Ancak farklı olarak burada AO'lu ve AO'suz sonuçlar ayrı ayrı sunulmaktadır. Grafiklerden elde edilen sonuçlar **Tablo 4.6**,




**Şekil 4.7** Abell 2255 kümesindeki galaksilerin i-bandı parlaklık hatalarının parlaklığın fonksiyonu olarak gösterimi. Farklı atmosferik görüş değerleri için noktalar ve eğriler farklı renklerle belirtilmiştir.

**Tablo 4.7** ve **Tablo 4.8**'de sırasıyla J, H ve Ks bantları için sunulmaktadır. Tablolarda parlaklık hataları farklı atmosferik görüş değerleri için, ayrıca AO sistemi etkin değilken ve etkin olduğu durumlar için ayrı ayrı verilmektedir.

**Şekil 4.10**'da Abell 2255 kümesindeki galaksiler için simülasyonlardan elde edilen b/a oranı ile SDSS veritabanında verilen b/a değerleri karşılaştırılmaktadır. Grafiklerde simülasyon ve gözlem değerleri arasında doğrusal korelasyon elde edilmiş, ilgili bağıntılar grafiklerin iç kısımlarında verilmiştir. Elde edilen ilişkilere ait standart sapma değerleri de grafiklerde verilmiş ve $1\sigma$ genişliğindeki alan yeşile boyalı olarak belirtilmiştir.

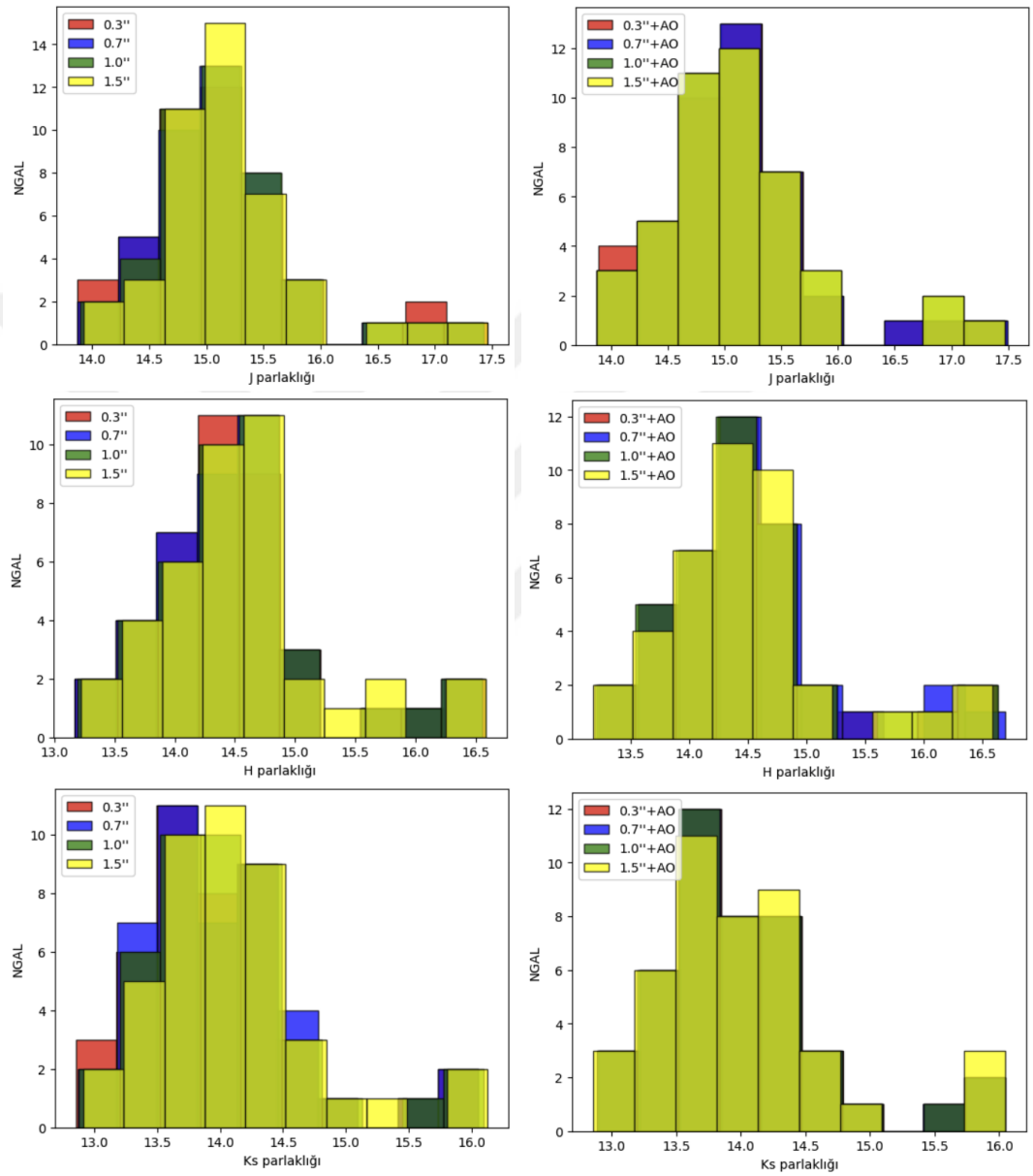
Burada J-bandı görüntülerinden elde edilen b/a değerleri örnek olarak sunulmaktadır. **Şekil 4.10**'da farklı atmosferik görüş değerleri için sonuçlar hem AO sistemi etkin değilken hem de AO sistemi etkin olduğundaki durum için verilmektedir. Tüm görüş değerleri için en iyi sonuçlar AO sistemi etkinken elde edilmiştir. 0.3" ve 0.7" gibi iyi atmosferik görüş değerlerinde AO sisteminin etkisi çok belirgin değildir ve gözlemler AO sistemi etkinmiş gibi sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, 1.0" ve 1.5" görüş değerleri için AO'nun katkısı oldukça belirgindir. Adaptif optiğin Abell 2255 kümesindeki galaksilerin şekil ölçümlerindeki iyileştirme oranı 0.7", 1.0" ve 1.5" görüş değerleri için sırasıyla %8, %20 ve %37'dir. 0.3" görüş değeri için AO'lu ve AO'suz saçılmalar aynı gelmiştir.

| Parlaklık | Hata (0.3”) | Hata (0.7”) | Hata (1.0”) | Hata (1.5”) |
|---|---|---|---|---|
| 15.0 | 0.001096 | 0.000894 | 0.000807 | 0.000675 |
| 15.5 | 0.001448 | 0.001224 | 0.001128 | 0.000971 |
| 16.0 | 0.001912 | 0.001675 | 0.001576 | 0.001397 |
| 16.5 | 0.002525 | 0.002292 | 0.002202 | 0.002009 |
| 17.0 | 0.003335 | 0.003138 | 0.003076 | 0.002890 |
| 17.5 | 0.004404 | 0.004294 | 0.004297 | 0.004156 |
| 18.0 | 0.005817 | 0.005877 | 0.006003 | 0.005978 |
| 18.5 | 0.007683 | 0.008044 | 0.008387 | 0.008599 |
| 19.0 | 0.010147 | 0.011010 | 0.011717 | 0.012368 |
| 19.5 | 0.013402 | 0.015069 | 0.016369 | 0.017789 |
| 20.0 | 0.017700 | 0.020624 | 0.022868 | 0.025586 |
| 20.5 | 0.023377 | 0.028227 | 0.031948 | 0.036802 |
| 21.0 | 0.030875 | 0.038633 | 0.044633 | 0.052933 |
| 21.5 | 0.040778 | 0.052876 | 0.062355 | 0.076134 |
| 22.0 | 0.053856 | 0.072369 | 0.087114 | 0.109506 |
| 22.5 | 0.071130 | 0.099049 | 0.121703 | 0.157505 |

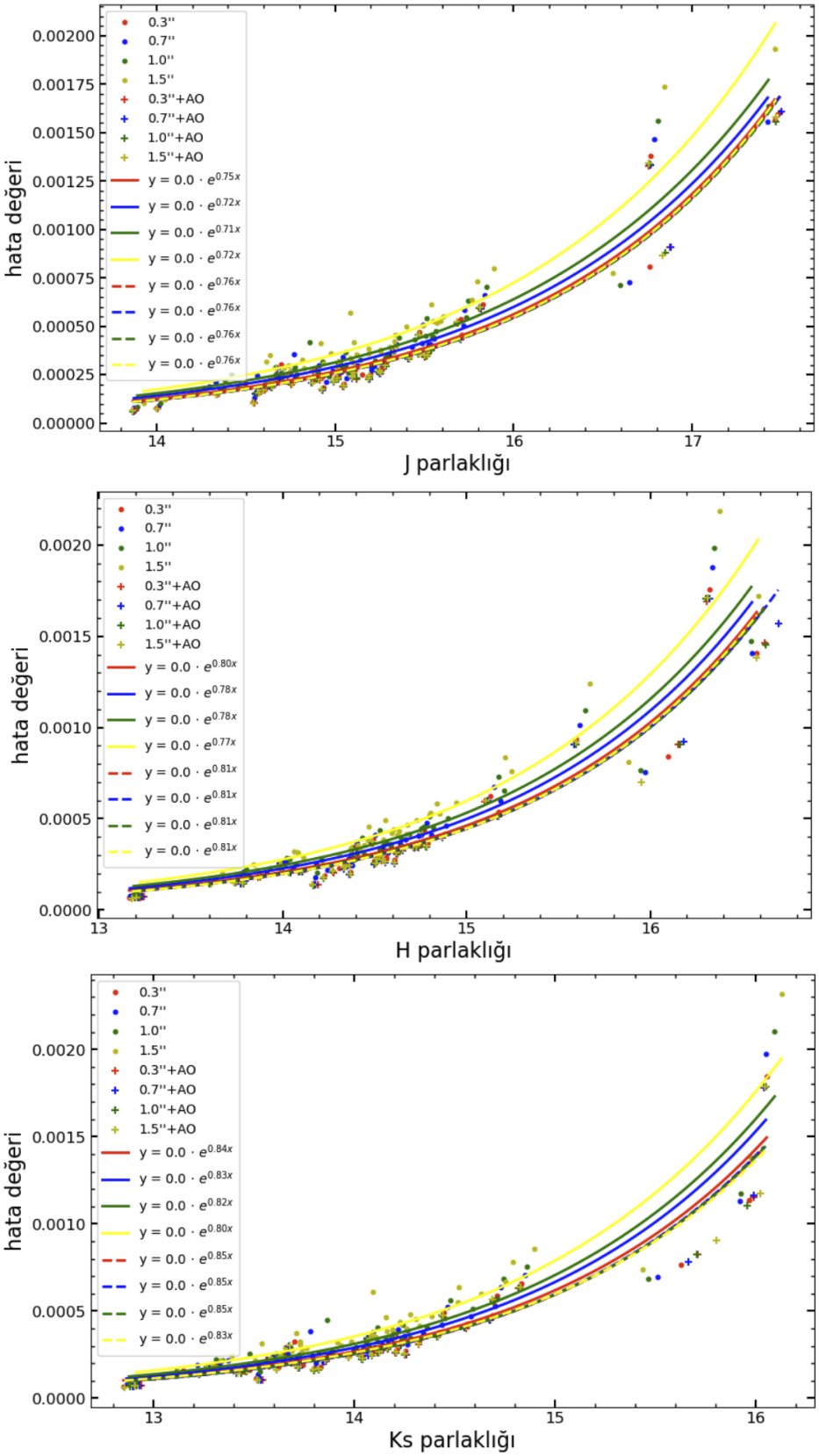
**Tablo 4.5** Abell 2255 kümesindeki galaksiler için farklı atmosferik görüşteki i-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.7**’deki eğri denklemlerinden elde edilmiştir.

| Parlaklık | Hata (0.3”) | Hata (0.7”) | Hata (1.0”) | Hata (1.5”) |
|---|---|---|---|---|
| AO Etkin Değil | | | | |
| 14.0 | 0.000126 | 0.000141 | 0.000153 | 0.000173 |
| 14.5 | 0.000183 | 0.000202 | 0.000219 | 0.000248 |
| 15.0 | 0.000266 | 0.000290 | 0.000313 | 0.000354 |
| 15.5 | 0.000387 | 0.000417 | 0.000447 | 0.000506 |
| 16.0 | 0.000561 | 0.000599 | 0.000639 | 0.000724 |
| 16.5 | 0.000815 | 0.000861 | 0.000914 | 0.001035 |
| 17.0 | 0.001183 | 0.001237 | 0.001306 | 0.001480 |
| AO Etkin | | | | |
| 14.0 | 0.000119 | 0.000120 | 0.000120 | 0.000121 |
| 14.5 | 0.000174 | 0.000175 | 0.000175 | 0.000176 |
| 15.0 | 0.000254 | 0.000255 | 0.000256 | 0.000257 |
| 15.5 | 0.000372 | 0.000373 | 0.000373 | 0.000376 |
| 16.0 | 0.000543 | 0.000544 | 0.000545 | 0.000549 |
| 16.5 | 0.000795 | 0.000795 | 0.000795 | 0.000801 |
| 17.0 | 0.001163 | 0.001161 | 0.001160 | 0.001169 |

**Tablo 4.6** Abell 2255 kümesindeki galaksilerin farklı atmosferik görüşteki ve AO etkin ve etkin değil durumlar için J-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.9**’daki eğri denklemlerinden elde edilmiştir.




**Şekil 4.8** Abell 2255 kümesindeki galaksilerin J, H ve Ks bantları için parlaklık dağılımları. Histogramlar AO devre-dışı (sol) ve devredeyken (sağ) elde edilmiştir.



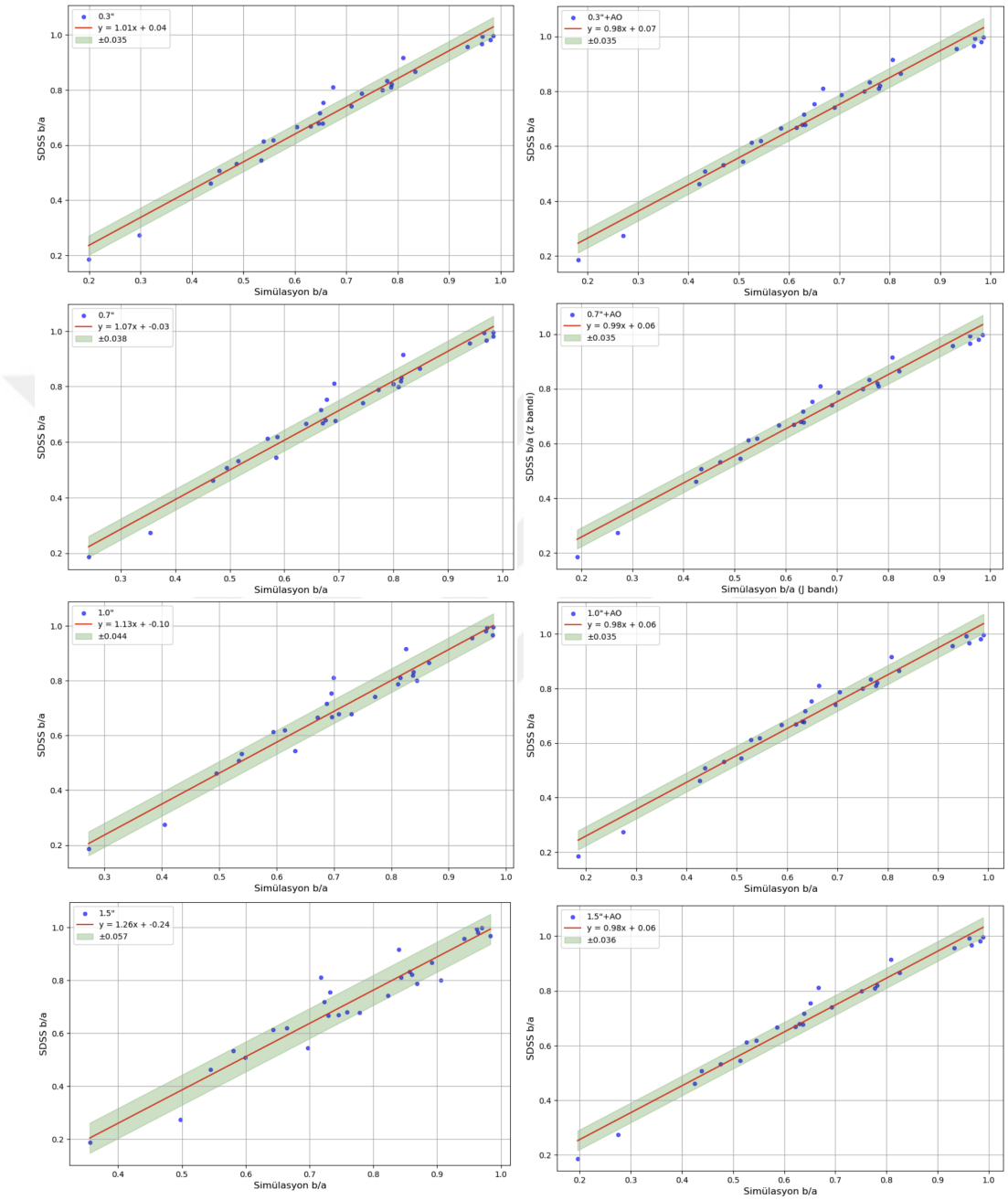

**Şekil 4.9** Abell 2255 kümesindeki galaksilerin J, H ve Ks bantlarındaki parlaklık hatalarının parlaklığın fonksiyonu olarak gösterimi. Farklı atmosferik görüş değerleri için noktalar ve eğriler farklı renklerle belirtilmiştir. AO sistemi aktif değilken ve devredeyken elde edilen noktalar ve eğriler farklı semboller ve renklerle belirtilmiştir.

| Parlaklık | Hata (0.3”) | Hata (0.7”) | Hata (1.0”) | Hata (1.5”) |
|---|---|---|---|---|
| AO Etkin Değil | | | | |
| 13.5 | 0.000139 | 0.000153 | 0.000166 | 0.000188 |
| 14.0 | 0.000208 | 0.000227 | 0.000245 | 0.000276 |
| 14.5 | 0.000310 | 0.000336 | 0.000361 | 0.000406 |
| 15.0 | 0.000462 | 0.000498 | 0.000532 | 0.000597 |
| 15.5 | 0.000689 | 0.000737 | 0.000784 | 0.000878 |
| 16.0 | 0.001027 | 0.001092 | 0.001155 | 0.001291 |
| 16.5 | 0.001532 | 0.001617 | 0.001703 | 0.001898 |
| AO Etkin | | | | |
| 13.5 | 0.000131 | 0.000133 | 0.000133 | 0.000132 |
| 14.0 | 0.000197 | 0.000199 | 0.000200 | 0.000198 |
| 14.5 | 0.000296 | 0.000298 | 0.000299 | 0.000297 |
| 15.0 | 0.000444 | 0.000446 | 0.000447 | 0.000447 |
| 15.5 | 0.000667 | 0.000668 | 0.000669 | 0.000671 |
| 16.0 | 0.001002 | 0.001000 | 0.001002 | 0.001009 |
| 16.5 | 0.001505 | 0.001497 | 0.001499 | 0.001515 |

**Tablo 4.7** Abell 2255 kümesindeki galaksilerin farklı atmosferik görüşteki ve AO etkin ve etkin değil durumlar için H-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.9**'daki eğri denklemlerinden elde edilmiştir.

| Parlaklık | Hata (0.3”) | Hata (0.7”) | Hata (1.0”) | Hata (1.5”) |
|---|---|---|---|---|
| AO Etkin Değil | | | | |
| 13.0 | 0.000116 | 0.000126 | 0.000137 | 0.000159 |
| 13.5 | 0.000176 | 0.000191 | 0.000206 | 0.000237 |
| 14.0 | 0.000268 | 0.000290 | 0.000311 | 0.000354 |
| 14.5 | 0.000407 | 0.000439 | 0.000468 | 0.000528 |
| 15.0 | 0.000618 | 0.000666 | 0.000706 | 0.000788 |
| 15.5 | 0.000940 | 0.001009 | 0.001063 | 0.001177 |
| 16.0 | 0.001428 | 0.001530 | 0.001601 | 0.001758 |
| AO Etkin | | | | |
| 13.0 | 0.000109 | 0.000109 | 0.000109 | 0.000114 |
| 13.5 | 0.000166 | 0.000166 | 0.000167 | 0.000172 |
| 14.0 | 0.000254 | 0.000255 | 0.000255 | 0.000261 |
| 14.5 | 0.000388 | 0.000389 | 0.000390 | 0.000394 |
| 15.0 | 0.000593 | 0.000595 | 0.000595 | 0.000596 |
| 15.5 | 0.000907 | 0.000910 | 0.000908 | 0.000902 |
| 16.0 | 0.001386 | 0.001392 | 0.001386 | 0.001365 |

**Tablo 4.8** Abell 2255 kümesindeki galaksilerin farklı atmosferik görüşteki ve AO etkin ve etkin değil durumlar için Ks-bandı parlaklıkları ve hataları. Değerler **Şekil 4.9**'daki eğri denklemlerinden elde edilmiştir.




**Şekil 4.10** Abell 2255 kümesi için simüle edilmiş görüntülerden elde edilen b/a oranları ile SDSS veritabanından alınan b/a değerlerinin karşılaştırılması. Grafikler yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla 0.3", 0.7", 1.0" ve 1.5" atmosferik görüş değerleri için AO sistemi etkin değilken (sol) ve etkin durumdayken (sağ) elde edilen sonuçları göstermektedir.

## 4.2. SİMÜLE GALAKSİLER İLE DAG TELESKOBU İÇİN FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMA DOĞRULUKLARININ BELİRLENMESİ

Bu kısımda[6] , Türkiye'nin en büyük teleskobu olacak olan DAG Teleskobu ile elde edilebilecek görüntüler ve bu görüntülerden tespit edilebilecek galaksilerin fotometrik kırmızıya kaymalarının olası doğruluk düzeyleri araştırılmıştır. Bu amaçla Doğu Anadolu Gözlemevi Teleskobu için galaksi simülasyonları gerçekleştirilmiş ve bu simüle edilen galaksiler DAG teleskobuna ait optik özellikler ve adaptif optik sistemine ait parametreler kullanılarak görüntülere dönüştürülmüştür. Bu görüntüler kullanılarak galaksilerin parlaklıkları ve sonrasında fotometrik kırmızıya kaymaları (zphot) hesaplanmıştır.

Hali hazırda atmosferik görüş sınırlı odak için bir detektör belirlenmemiş olsa da, bu çalışma için DAG DIRAC kamerasının özelliklerine benzer bir kamera varsayılmış ve astronomi dünyasında sık kullanılan "ugriz" filtreleri için optik görüntüler üretilmiştir. DAG teleskobu ile yakın-kırmızıöte bölgede de görüntü alınabilecek olması nedeniyle, özellikle DIRAC detektörü ve TROIA adaptif optik sistemi göz önüne alınarak J, H ve Ks bantlarında kırmızıöte görüntüler de simüle edilmiştir.

Beş ayrı simülasyonda, sekiz bant ve dört görüş değeri için toplam 160 simüle görüntü oluşturulmuştur. Görüntülerden cisimlerin belirlenmesi ve parlaklıklarının ölçülmesi için `SExtractor` programı kullanılmış ve sonrasında elde edilen parlaklıklar ile literatürde sıklıkla kullanılan ve performansı kabul görmüş `LePhare` programı kullanılarak fotometrik kırmızıya kaymalar belirlenmiştir.

Tez kapsamında görüntüleri üretilen galaksiler `Stuff`[7] programı kullanılarak simüle edilmiştir (Bertin, 2010, 2009). `Stuff` programıyla bilimsel amaçlara veya araştırılmak istenen galaksi özelliklerine göre farklı galaksi popülasyonları üretmek mümkündür. Görüntüleri üretmek için kullanılan `SkyMaker` programının (Bertin, 2009) galaksilerde spiral kol, çubuk yapı gibi ayrıntıları henüz modelleyememesi ve daha çok galaksi kümelerine yönelik ilgi nedeniyle tezde erken-tür galaksilerin hakim olduğu bir popülasyon üretilmiştir. Simülasyon galaksilerinin sayı ve kırmızıya kayma aralıkları **Tablo 4.9**'da, parlaklık ve kırmızıya kayma dağılımları ise **Şekil 4.11**'de verilmektedir.

[6] Bu bölümde verilen sonuçları içeren bir makale Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics dergisinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

[7] https://www.astromatic.net/software/stuff/

| Simülasyon | Galaksi Sayısı | $z_{min}$ | $z_{max}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 121 | 0.042 | 1.679 |
| 2 | 144 | 0.038 | 1.940 |
| 3 | 153 | 0.042 | 1.620 |
| 4 | 117 | 0.047 | 2.493 |
| 5 | 153 | 0.040 | 1.396 |

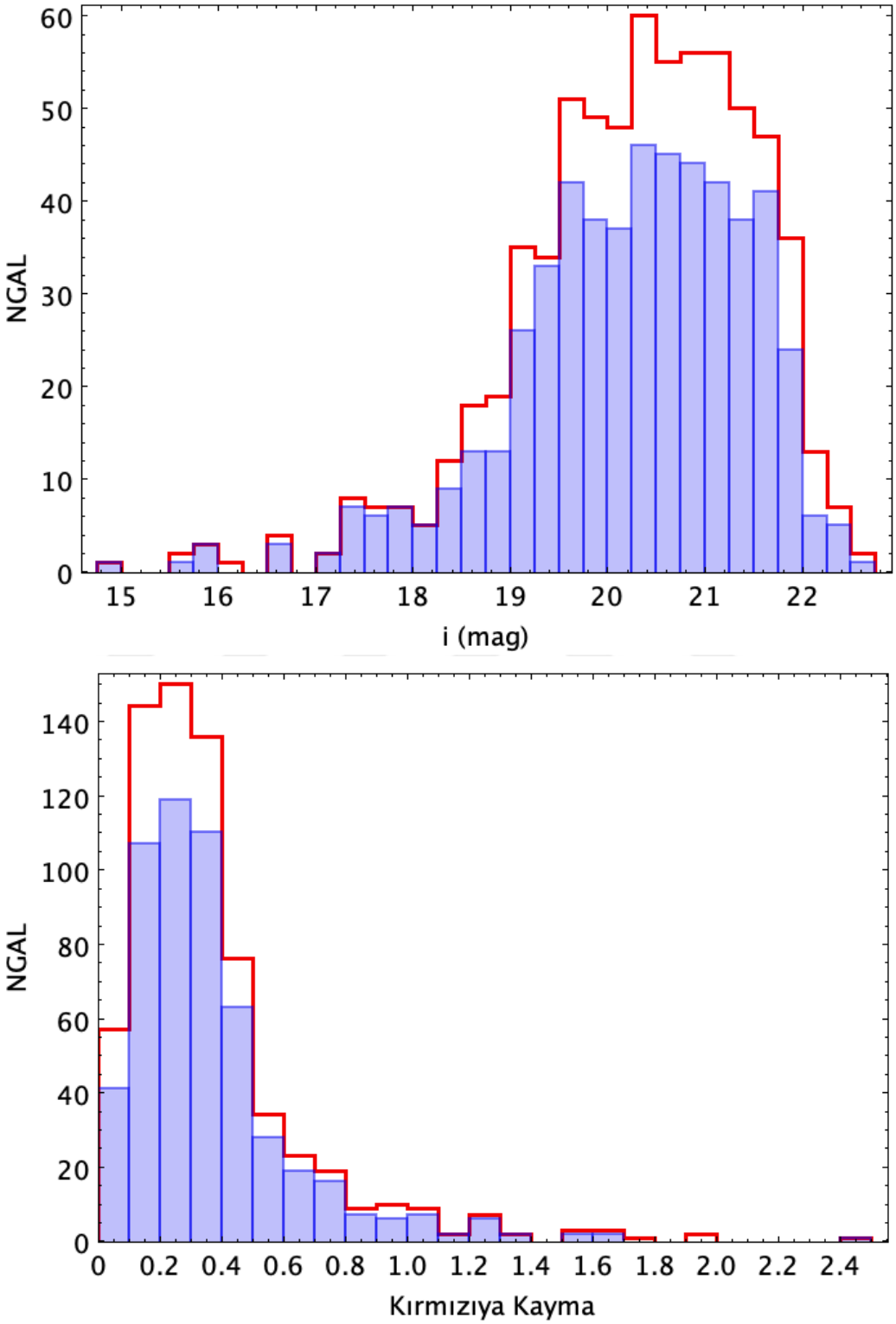
**Tablo 4.9** Bu çalışmada üretilen galaksi simülasyonları. Çizelgede simülasyon numarası, galaksi sayısı, minimum ve maksimum kırmızıya kayma değerleri verilmektedir.

| Galaksi Türü | Hubble T Sınıfı | Sayım |
|---|---|---|
| E | -6.0 | 41 |
| S0 | -2.0 | 45 |
| Sa | +2.0 | 143 |
| Sb | +4.0 | 85 |
| Sc | +6.0 | 48 |
| Irr | +10.0 | 176 |

**Tablo 4.10** Beş farklı simülasyonda üretilen 688 galaksiden parlaklık ölçümü yapılabilen ve kırmızıya kaymaları ölçülen 538 galaksinin morfolojik türü, Hubble T sınıfı ve sayıları.

Bu çerçevede, spektrel tipleri E (eliptik), Sbc (spiral), Scd (spiral) ve Im (düzensiz) olan dört farklı galaksi spektrel enerji dağılımı (SED) kullanılmıştır. Kullandığımız SED modelleri daha önce `LePhare` programı kullanılarak fotometrik kırmızıya kaymaların belirlendiği CFHTLS (Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey) projesi için optimize edilmiş modellerdir (Coupon *ve diğ.*, 2009; Ilbert *ve diğ.*, 2006). Bu dört galaksi modeline dayanan ve Hubble tipleri sırasıyla -6.0, -2.0, 2.0, 4.0, 6.0 ve 10.0 olan altı farklı galaksi türü için simülasyon üretilmiştir (De Vaucouleurs, 1977). Üretilen galaksilerin türlerine göre sayıları **Tablo 4.10**'da verilmektedir. Galaksiler üretilirken i-bandı görünen parlaklıklarının 11 ile 23 kadir arasında olması sağlanmıştır. Her bir simülasyon Megacam (*u*, g, r, i, z*) (Boulade *ve diğ.*, 2003) ve 2MASS (*J, H, Ks*) (Skrutskie *ve diğ.*, 2006) filtreleri için toplam sekiz bantta galaksi parlaklıklarını içermektedir.

Toplam galaksi sayısını artırmak ve bu yolla elde edilecek istatistiki anlamı güçlendirmek için beş farklı simülasyon üretilmiştir. **Tablo 4.9**'da sunulduğu gibi beş farklı simülasyonda toplam 688 sentetik galaksi oluşturulmuştur.




**Şekil 4.11** **Tablo 4.9**'da verilen beş farklı simülasyonda üretilen toplam (kırmızı) 688 ve tespit edilen (mavi) 538 galaksinin i-bandı parlaklık (üstte) ile kırmızıya kayma (altta) dağılımları.

| Simülasyon | Üretilen Galaksi Sayısı | Tespit Edilen Galaksi Sayısı | Tamlık (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 121 | 103 | 85 |
| 2 | 144 | 116 | 81 |
| 3 | 153 | 126 | 82 |
| 4 | 117 | 90 | 77 |
| 5 | 153 | 121 | 79 |

**Tablo 4.11** Beş farklı simülasyonda üretilen galaksilerin `SExtractor` ile tespit edilme sayıları ve buna bağlı tamlık oranları.

### 4.2.1. Parlaklıkların ve Kırmızıya Kaymaların Belirlenmesi

Simüle edilen görüntülerden galaksilerin parlaklık ve parlaklık hatalarını elde etmek için Bertin ve Arnouts (1996)'un `SExtractor` programı kullanılmıştır. `SExtractor` çalıştırılırken her bir filtrenin sıfır-nokta sabitleri de dikkate alınmış ve böylece parlaklıklar ilgili fotometrik sistemde elde edilmiştir. **Tablo 4.11**'de `SExtractor` ile görüntülerden belirlenebilen ve parlaklıkları ölçülebilen galaksilerin sayıları ve her bir simülasyon için ulaştığımız tamlık değerleri verilmektedir.

Fotometrik kırmızıya kaymalar Arnouts *ve diğ.* (1999) tarafından geliştirilen `LePhare` programı kullanılarak hesaplanmıştır. Kırmızıya kaymalar belirlenirken, üretilen simülasyon galaksilerinin kırmızıya kayma dağılımı sınır değerler olarak programa verilmiştir. Dolayısıyla LePhare programı, 0.04 - 2.5 kırmızıya kayma aralığında 0.1 adım değerleriyle çalıştırılmıştır.

Galaksiler simüle edilirken kızarma etkileri parlaklıklara yansıtılmamıştır, bunun sonucunda da `LePhare` programında kızarma olmadan sentetik parlaklıklar üretilmiştir.

### 4.2.2. Fotometrik Kırmızıya Kaymaların Doğrulukları

Fotometrik kırmızıya kaymaların (zphot) performansı veya başka bir deyişle doğrulukları, gözlemsel çalışmalarda spektroskopik kırmızıya kaymalarla; simülasyon çalışmalarında ise simülasyonda üretilen galaksilerin gerçek kırmızıya kaymalarıyla karşılaştırılarak yapılmaktadır (Coupon *ve diğ.*, 2009; Greisel *ve diğ.*, 2013; Tanaka *ve diğ.*, 2018). **Şekil 4.13**'te bu çalışmada elde edilen fotometrik kırmızıya kaymaların galaksilerin

| Galaksi Türü | NGAL | 0.3" | 0.7" | 1.0" | 1.5" |
|---|---|---|---|---|---|
| Tümü | 538 | 0.0713 | 0.0682 | 0.0706 | 0.0830 |
| Ell | 41 | 0.0177 | 0.0216 | 0.0244 | 0.0358 |
| SO | 45 | 0.0320 | 0.0340 | 0.0321 | 0.0465 |
| Sab | 143 | 0.0833 | 0.0806 | 0.0873 | 0.0966 |
| Sbc | 85 | 0.0868 | 0.0878 | 0.0842 | 0.0794 |
| Scd | 48 | 0.0404 | 0.0453 | 0.0559 | 0.0672 |
| Irr | 176 | 0.0872 | 0.0812 | 0.0899 | 0.0948 |

**Tablo 4.12** LePhare ile belirlenen fotometrik kırmızıya kaymalarının saçılmaları ($\sigma_{NMAD}$). Çizelgenun en üst satırında bütün galaksiler dikkate alındığında hesaplanan saçılma değeri, diğer satırlarında ise galaksi türüne bağlı olarak hesaplanan saçılmalar verilmektedir. İkinci kolonda (NGAL) her bir örneklemdeki galaksi sayısı belirtilmiştir.

simülasyon değerleriyle karşılaştırması dört farklı atmosferik görüş değeri için verilmektedir. **Şekil 4.13**'te mavi kesikli çizgiler dışarlayan veriler için sınırları belirtmektedir.

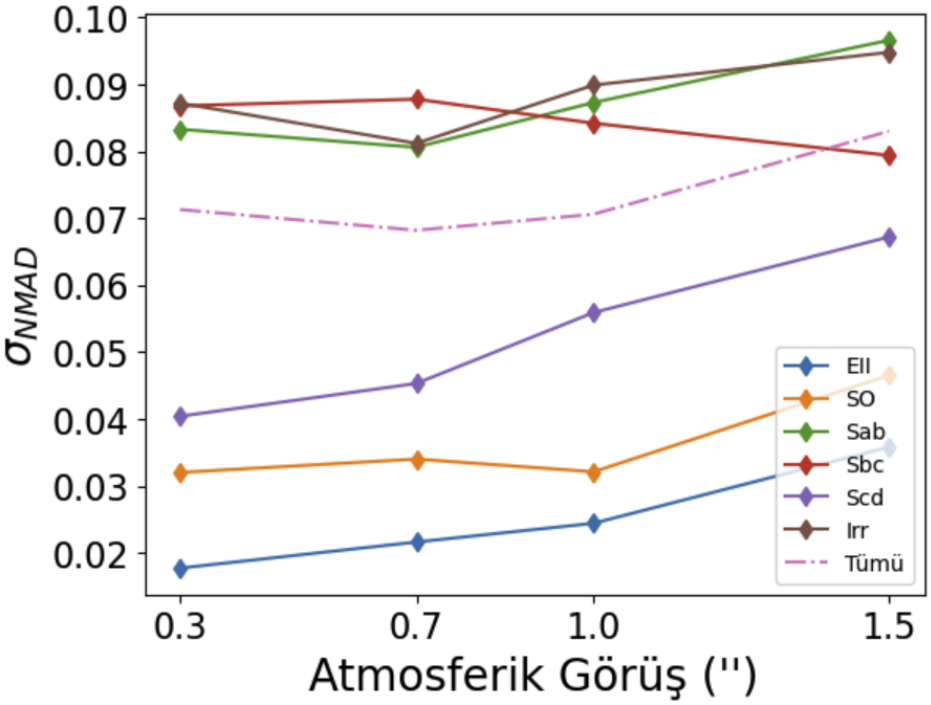
Fotometrik kırmızıya kayma değerlerinin doğruluğu literatürde normalleştirilmiş medyan mutlak sapma (NMAD) değeri ile verilmektedir. Buna göre zphot ile zsim değerleri arasındaki farkın saçılması aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır (Ilbert *ve diğ.*, 2006):

$$\sigma_{NMAD} = 1.48 \times median(|zspec - zphot|/(1+zspec)) \tag{4.1}$$

Burada spektroskopik kırmızıya kayma (zspec) değerleri yerine simülasyon kırmızıya kaymaları (zsim) kullanılmıştır.

**Tablo 4.12**'de 0.3", 0.7", 1.0" ve 1.5" görüş değerleri için elde edilen sonuçlar, hem tüm galaksiler için hem de galaksi türlerine göre ayrı ayrı verilmektedir. **Şekil 4.12**'de atmosferik görüşe göre fotometrik kırmızıya kayma saçılmaları gösterilmektedir. Sbc galaksileri dışında tüm galaksi türleri için artan görüş değeriyle saçılmada artış görülmektedir. Aliş (2024)'te gösterildiği gibi saçılma değeri eliptik galaksiler için en düşüktür.

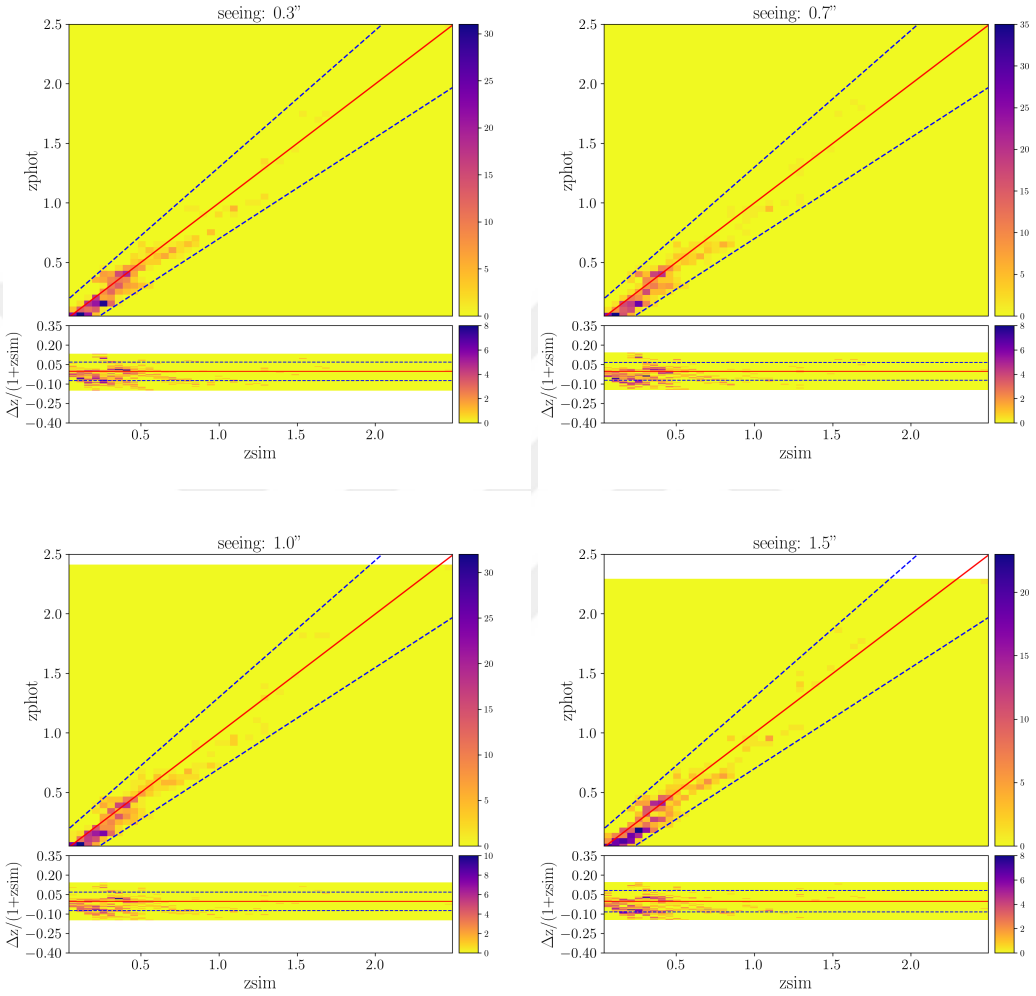
$\Delta z = (zsim - zphot)$ olmak üzere, $\Delta z/(1+zsim) > 0.15$ koşulunu sağlayan galaksiler fotometrik kırmızıya kayma değerlendirmelerinde dışarlayan veri olarak kabul edilir. Bu nedenle **Tablo 4.12**'te verilen değerler, dışarlayan veriler elendikten sonra elde edilen




**Şekil 4.12** $\sigma_{NMAD}$ değerlerinin atmosferik görüşe göre değişimi. Değerler tüm galaksiler için ve galaksi türüne göre ayrı ayrı verilmektedir.

sonuçları içermektedir. Dışarlayan verilerin oranı ($\eta$) fotometrik kırmızıya kaymaların gerçek değerlere yakınlığının bir başka göstergesi olarak verilir. Özellikle fotometrik kırmızıya kayma hesaplayan programların performansı veya kullanılan veri setinin kalitesi $\eta$ ile değerlendirilir.

Bu çalışmada fotometrik kırmızıya kaymasını hesaplayabildiğimiz 538 galaksiden dışarlayan galaksilerin oranı 0.3", 0.7", 1.0" ve 1.5" atmosferik görüş değerleri için sırasıyla %0.38, %0.56, %1.32 ve %3.56 olarak belirlenmiştir. En iyi görüş değerinden en kötü görüş değerine doğru $\eta$ değerlerinde bir artış görülmekle birlikte, en kötü görüş değeri için bile elde edilen dışarlayan galaksi oranı birçok çalışmada verilen değerle karşılaştırılabilir seviyelerdedir (Aliş, 2024).



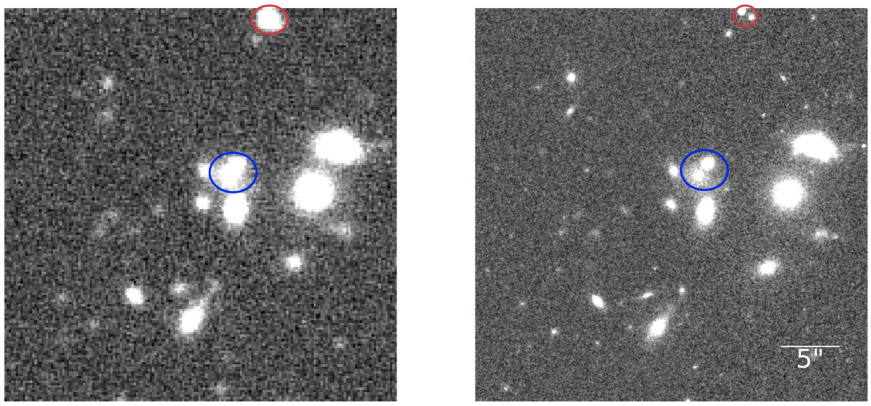

**Şekil 4.13** Bu çalışmada simülasyon görüntülerinden elde edilen fotometrik kırmızıya kaymaların (zphot), simüle edilmiş galaksilerin kırmızıya kaymaları (zsim) ile karşılaştırılması. Grafikler dört farklı görüş değeri için verilmektedir. Alt panellerde $\Delta z/(1+zsim)$'nin zsim'e göre değişimi gösterilmektedir. Grafiklerdeki kırmızı çizgi zphot=zsim çizgisini, mavi çizgiler ise dışarlayan galaksiler için sınırları belirtmektedir. Grafiklerde sağda verilen renk çubuğu galaksi sayı yoğunluğunu belirtmektedir.

# 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında biri gerçek verilere dayanan biri sentetik verilere dayanan iki farklı simülasyon yoluyla DAG teleskobu ile elde edilebilecek görüntülere dair analizler yapılmıştır.

Bunlardan ilki Abell 193 ve Abell 2255 galaksi küme alanlarına ait simülasyonlardır. Bu simülasyonlar SDSS ve 2MASS tarama projelerinden alınan gerçek veriler kullanılarak, DAG teleskobunun optik parametreleri ve adaptif optik sisteminin özellikleri dikkate alınarak simüle edilmiştir. Simülasyon görüntülerinin analizinde hem AO sistemi etkin değilken hem de etkin olduğu durumlar için sonuçlar irdelenmiştir.

Küme alanlarındaki galaksilerin parlaklıklarının belirlenmesinde AO sisteminin önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmemiştir. Bununla birlikte, galaksi parlaklıklarının hatalarında AO sisteminin katkısı çok belirgindir.




**Şekil 5.1** Rubin Gözlemevi (sol) ve Roman Teleskobu (sağ) simülasyonlarının karşılaştırılması (Troxel *ve diğ.*, 2023). Daire içine alınmış cisimler Rubin Gözlemevi tarafından çözümlenemeyen cisimlerdir.

Adaptif optiğin katkısı genel olarak PSF'in iyileştirilmesinde önemlidir. Bu durum atmosferik görüşün iyileşmesi olarak da yorumlanabilir. Çalışmada dört farklı atmosferik görüş değeri için simülasyonlar üretildi ve bu sonuçlar incelendiğinde 0.3" ve 0.7" görüş değerleri için AO'nun katkısının görece az veya hiç olmadığı ancak 1.0" ve 1.5" görüş değerlerinde ciddi bir iyileştirme sağladığı görülmektedir. Benzer bir karşılaştırma kısa bir süre sonra çalışmaya başlayacak Rubin Gözlemevinin 8.4m'lik teleskobuyla, 2030'larda

fırlatılacak 2.4m'lik Roman Uzay Teleskobu için yapılmıştır. **Şekil 5.1**'de Roman'ın uzaydan sahip olacağı ayırma gücü açıkça görülmektedir (Troxel *ve diğ.*, 2023). DAG teleskobunun AO sistemi benzer şekilde ayırma gücü arttıracak ve kalabalık, yoğun alanlarda birbirine çok yakın cisimlerin çözümlenebilmesine olanak tanıyacaktır. Galaksi kümelerinin merkezi gibi yoğun bölgelerde yapılacak galaksi birleşme çalışmalarında önemli kolaylık sağlayacaktır.

Bu bağlamda Bölüm 4.1'teki simülasyonlarda galaksilerin şekillerinin belirlenmesinde kullanılan b/a oranı kırmızıöte bölgede J filtresinde ölçülmüştür. SDSS'ten alınan gözlemsel verilerle yapılan karşılaştırmalarda galaksilerin şekillerinin belirlenmesinde AO'nun %60'a varan oranlarda iyileştirme sağlayabileceği anlaşılmıştır. Özellikle 1.0" atmosferik görüş ve üzerinde bu katkı en fazla olmuştur. Bu AO sisteminden beklenen bir performans olmakla birlikte, farklı senaryolar altında daha ayrıntılı incelemeler faydalı olacaktır.

Bölüm 4.2'de beş farklı simülasyonda 688 galaksi simüle edilmiş ve bunlardan 538'ine ait parlaklıklar ve fotometrik kırmızıya kaymalar ölçülebilmiştir. Galaksiler optik ve kırmızıöte toplam 8 filtre için simüle edilmiş ve bu filtreler için parlaklıklar elde edilmiştir. Simüle edilen galaksilerin parlaklıkları $15 < i < 23$ kadir aralığında ve kırmızıya kaymaları $0.04 < z < 2.5$ aralığında dağılmaktadır.

Bölüm 4.2.2'de fotometrik kırmızıya kaymaların doğruluğu için kullanılan saçılma ($\sigma_{NMAD}$) ve dışarlayan galaksi oranı ($\eta$) değerleri verilmiştir. Tüm galaksiler dikkate alındığında $\sigma_{NMAD}$ 0.068 ile 0.083 arasında değiştiği görülmüştür. Bu değer, literatürde derin görüntüleme içeren gökyüzü tarama projeleri (Coupon *ve diğ.*, 2009; Greisel *ve diğ.*, 2013; Tanaka *ve diğ.*, 2018) veya çok bantta gerçekleştirilen projelerden (Ilbert *ve diğ.*, 2009) biraz daha fazladır. Ancak, tarama amaçlı geliştirilmemiş bir teleskop için iyi bir öngörü olduğu söylenebilir. Bunun yanında, $\eta$'nın en iyi görüşten en kötü görüşe doğru dikkate değer biçimde arttığı saptanmıştır. En kötü görüş değeri olan 1.5" için elde edilen $\eta = \%3.56$ değeri, 3.6m'lik CFHT teleskobuyla yürütülen CFHTLS-Deep taramasında elde edilen %3.80 değerinden daha iyidir. CFHTLS-Deep taramasında i-bandındaki medyan görüş değeri $\sim 0.6$ yaysaniyesidir (Hudelot *ve diğ.*, 2012). Bu çalışmada sekiz bant parlaklıkların kullanılmış olması, kötü görüş değerinde bile daha iyi sonuçlar alınabileceğini göstermiştir.

Tüm galaksiler dikkate alındığında $\sigma_{NMAD}$ değerlerinin görüşe çok bağlı olmadığı, ancak galaksi türlerine ayrı ayrı bakıldığında erken tür galaksiler (Ell, SO) için dikkate değer bir değişim olduğu görülmüştür. Literatürde farklı çalışmalarda gösterildiği gibi parlak

eliptik galaksiler için fotometrik kırmızıya kayma saçılmaları diğer galaksilere göre en düşüktür (Aliş, 2024; Greisel *ve diğ.*, 2013). Bu durum eliptik galaksilerin spektrel enerji dağılımlarının daha iyi temsil edilebilmesinin bir sonucudur ve temel olarak bu tür galaksilerin benzer renklerde olmalarının bir etkisidir.

Simülasyon görüntülerini üretmek için bu çalışmada kullanılan `SkyMaker` programı galaksilere ait spiral kol, çubuk yapı benzeri ayrıntıları üretememektedir. Bununla birlikte, fotometrik kırmızıya kaymaların belirlenmesinde galaksilerin toplam parlaklıkları önemli olduğundan bu tür morfolojik ayrıntılar bir sınırlama getirmemiştir.

Türkiye'de ilk defa kırmızıöte gözlemlerin yapılacağı düşünüldüğünde optik ve kırmızıöte eş zamanlı veya asenkron gözlemlerin farklı bilimsel konularda farklı katkılarının olacağı görülebilir. Örneğin fotometrik kırmızıya kaymaların belirlenmesinde kırmızıöte akılar ile daha büyük kırmızıya kaymalardaki galaksiler bulunabilir, fotometrik kırmızıya kaymalar daha yüksek doğruluklarla belirlenebilir. Birinci nesil odak düzlemi aygıtlarında atmosferik görüş sınırlı odak için bir aygıt öngörülmemiş olmakla birlikte, başlangıçta RTT150+DAG sinerjisi kullanılabilir. İlerleyen zamanlarda DAG'ın optik tasarımındaki özelliklerden güç alan, optik bölgeye duyarlı bir detektör çok istenen bir donanım olacaktır.

DIRAC ve TROIA sistemlerinin çalışmaya başlaması ve gerçek performanslarının görülmesinden sonra, farklı araştırma soruları için benzer simülasyonların yapılması öngörülmektedir. Bu kapsamda, bir simülasyon veriyolu geliştirmeyi ve bunu DAG teleskobu kullanıcılarının hizmetine sunmayı planlamaktayız.

Bu tez çalışmasındaki simülasyonlar kurgulanırken karşılaşılan en büyük güçlük DIRAC'ın görüş alanı olmuştur. Birinci nesil aygıtlar için bu görmezden gelinebilir, ancak galaksi kümesi gibi geniş veya yaygın kaynaklar için daha büyük yongalı bir kırmızıöte detektöre ihtiyaç olacağı açıktır. Böyle bir detektör muhtemelen mozaik yapıda olmak zorunda olacaktır. DAG teleskobu bir tarama teleskobu olarak tasarlanmamış olsa da, Dünyadaki benzerleri ile kıyaslandığında odak düzleminde $14'$ ile oldukça geniş bir fiziksel görüş alanına sahiptir. Bu alanın tamamının değerlendirilebilmesi için planlama yapmak bir gereklilik olarak görülmektedir.

Bu çalışmada yapılan simülasyonlarda DAG teknik belgelerine ve yayınlanan çalışmalarda verilen spesifikasyonlara bağlı kalınmıştır. DIRAC'ın henüz çalışmaya başlamamış

olması ve gerçek performasının tam bilinmiyor olması bazı basitleştirmelere gidilmesini gerekli kılmıştır. Kısa bir süre içinde DIRAC ve TROIA'nın birlikte çalışmaya başlaması beklenmektedir. Bu gerçekleştikten sonra, dizgeye ait güncellenen parametrelerle simülasyonların tekrarlanması veya daha özel durumlar için üretilmesi yerinde olacaktır.

Benzer şekilde yerleşkenin kırmızıöte gökyüzü parlaklığının belirlenmesi, yön ve zaman bağlılığının ortaya konması da çok elzem görünmektedir. Kırmızıöte gözlemlerin planlanmasında ve doğal olarak gözlem projelerinin başarıya ulaşmasında önceden yapılması gereken planlamalar optik bölge gözlemlere göre çok daha fazla ve belirleyicidir. Tez kapsamında başlanan gökyüzü parlaklığı ölçme girişimlerinin, geliştirilerek çalışır bir sisteme dönüştürülmesi için çalışmalar yapılacaktır.

DAG teleskobu ile yapılacak gözlemlerin başarıya ulaşabilmesinde, Dünyadaki benzerlerinde olduğu gibi gözlem simülatörlerinin (ing. exposure time calculator) katkısı olacaktır. Yukarıda belirtilen konuların çözümlenmesiyle birlikte teleskoptan beklenecek performans gözlem zamanı başvurusu yapacak araştırmacılara yol gösterici olacaktır. Lopez-Lopez *ve diğ.* (2024) Euclid Uzay Teleskobu için `MAMBO` adında bir simülasyon platformu geliştirmişlerdir. Benzer şekilde Open Universe konsorsiyumu Vera Rubin Gözlemevi ve Roman Uzay Teleskobu için bir veriyolu geliştirmişler ve şimdiden araştırmacılara 10 TB büyüklüğünde simülasyon görüntüleri sunmuşlardır (OpenUniverse, 2025). DAG teleskobu için benzer bir çalışmanın yapılması beklenmelidir. Böyle bir simülasyon veriyolu yeterince hızlı çalışabildiğinde anlık olarak gözlemler gerçekleştirilirken de faydalı olabilir ancak gözlem öncesi hazırlıklar için kesin bir gerekliliktir.

# KAYNAKLAR


Abell G. O., Corwin H. G., Olowin R. P., 1989, A Catalog of Rich Clusters of Galaxies, ApJS, 70, 1

Aliş, S., 2024, Accuracy of the Photometric Redshifts of Brightest Cluster Galaxies Identified in the CFHTLS-W1. *Journal Of Advanced Research In Natural And Applied Sciences*, **10**, pp. 954-967

Almeida A. *ve diğ.*, 2023, The Eighteenth Data Release of the Sloan Digital Sky Surveys: Targeting and First Spectra from SDSS-V, *ApJS*, 267, 44. doi:10.3847/1538-4365/acda98

Angulo R. E. *ve diğ.*, 2012, Scaling relations for galaxy clusters in the Millennium-XXL simulation, MNRAS, 426, 2046

Arnouts, S. *ve diğ.*, 1999, Measuring and modelling the redshift evolution of clustering: the Hubble Deep Field North, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **310**, 540-556

Athanassoula, E., 2005, On the nature of bulges in general and of box/peanut bulges in particular: Input from N-body simulations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **358**, 1477-1488

Babcock, H. W., 1953, The Possibility of Compensating Astronomical Seeing, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific,*, **65**, pp. 229

Bahcall, N. A., 1999, Large Scale Structure and the Mass Density of the Universe, *Proceedings of the Second International Workshop*, 3-5 Eylül 1998, Portekiz

Balbay, R. *ve diğ.*, 2023, Eastern Anatolia Observatory (DAG) – Turkish State Meteorological Service (TSMS) Automated Weather Observing Systems, 10th International Symposium on Atmospheric Sciences e-proceedings , 591-595

Banerji, M. *ve diğ.*, 2010, Galaxy Zoo: reproducing galaxy morphologies via machine learning, *Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society*, **406**, 342-353

Barchi, P. *ve diğ.*, 2019, Machine and Deep Learning Applied to Galaxy Morphology - A Comparative Study, *ArXiv E-prints*, pp. earXiv:1901.07047

Baum, W., 1957, Photoelectric determinations of redshifts beyond 0.2c, *Astronomical Journal*, **62**, pp. 6-7

Baum, W., 1962, Photoelectric Magnitudes and Red-Shifts, *Problems Of Extra-Galactic Research*, **15**, 390

Beckers, J., 1993, Adaptive Optics for Astronomy: Principles, Performance, and Applications, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, **31**, pp. 13-62

Bertin, E., 2010, Stuff: Simulating "Perfect" Astronomical Catalogues. (Astrophysics Source Code Library, ascl:1010.067)

Bertin, E., 2009, SkyMaker: astronomical image simulations made easy, *Memorie della Società Astronomica Italiana*, **80**, pp. 422

Bertin, E. ve Arnouts, S., 1996, SExtractor: Software for source extraction, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, **117**, pp. 393-404

Binney, J. & Merrifield, M., 1998, Galactic Astronomy, Princeton, NJ: Princeton University Press (Princeton series in astrophysics).

Binney, J. & Tremaine, S., 2008, Galactic Dynamics (2nd ed.), Princeton, NJ: Princeton University Press (Princeton series in astrophysics).

Biviano A. *ve diğ.*, 1995, On the galaxy luminosity function in the central regions of the Coma cluster, A&A, 297, 610

Bland-Hawthorn, J. & Gerhard, O., 2016, The Galaxy in Context: Structural, Kinematic, and Integrated Properties, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, **54**, p.529-596

Blanton M. R. *ve diğ.*, 2017, Sloan Digital Sky Survey IV: Mapping the Milky Way, Nearby Galaxies, and the Distant Universe, *The Astronomical Journal*, **154**, 28

Boulade, O. *ve diğ.*, 2003, MegaCam: the new Canada-France-Hawaii Telescope wide-field imaging camera, *Instrument Design And Performance For Optical/Infrared Ground-based Telescopes*, **4841**, pp. 72-81

Bruzual, G. ve Charlot, 2003, S. Stellar population synthesis at the resolution of 2003, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **344**, 1000-1028

Buta, R. J., 2013, Galaxy Morphology, *Planets, Stars and Stellar Systems*, **6**, pp 1-89, ISBN: 978-94-007-5608-3

Clowe D. *ve diğ.*, 2006, A Direct Empirical Proof of the Existence of Dark Matter, ApJL, 648, L109

Collister, A. ve Lahav, O., 2004, ANNz: Estimating Photometric Redshifts Using Artificial Neural Networks, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **116**, 345-351

Connolly, A. *ve diğ.*, 2014, An end-to-end simulation framework for the Large Synoptic Survey Telescope, *Modeling, Systems Engineering, And Project Management For Astronomy VI*, **9150**, pp. e915014

Conselice C. J., 2014, ARA&A, The Evolution of Galaxy Structure Over Cosmic Time, 52, 291

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

Cucciati O. *ve diğ.*, 2012, The star formation rate density and dust attenuation evolution over 12 Gyr with the VVDS surveys, A&A, 539, A31

De Lucia G., Blaizot J., 2007, The hierarchical formation of the brightest cluster galaxies, MNRAS, 375, 2

De Vaucouleurs, G., 1959, Classification and Morphology of External Galaxies, *Handbuch der Physik*, **53** pp. 275

De Vaucouleurs, G., 1977, Qualitative and Quantitative Classifications of Galaxies, *Evolution Of Galaxies And Stellar Populations*, pp. 43

Dahlen, T. *ve diğ.*, 2013, A Critical Assessment of Photometric Redshift Methods: A CANDELS Investigation, *The Astrophysical Journal*, **775**, e93

Davies, R. & Kasper, M., 2012, Adaptive Optics for Astronomy, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, **50**, pp. 305-351.

Dressler, A., 1980, Galaxy morphology in rich clusters: implications for the formation and evolution of galaxies, *Astrophysical Journal*, **236**, pp. 351-365.

Eriksen, M. *ve diğ.*, 2019, The PAU Survey: early demonstration of photometric redshift performance in the COSMOS field, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **484**, pp. 4200-4215

Euclid Collaboration, Adam, R. *ve diğ.*, 2019, Euclid preparation. III. Galaxy cluster detection in the wide photometric survey, performance and algorithm selection, *Astronomy and Astrophysics*, **627**, pp. eA23

Euclid Collaboration, Castander, F. *ve diğ.*, 2024, Euclid. V. The Flagship galaxy mock catalogue: a comprehensive simulation for the Euclid mission, *ArXiv E-prints*, earXiv:2405.13495

Fotopoulou, S. ve Paltani, S., 2018, CPz: Classification-aided photometric-redshift estimation, *Astronomy and Astrophysics*, **619**, pp. eA14

Gardner J. P. *ve diğ.*, 2006, The James Webb Space Telescope, SSRv, 123, 485

Graham M. L., *ve diğ.*, 2018, Photometric Redshifts with the LSST: Evaluating Survey Observing Strategies, *AJ*, **155**, 1

Graham A. W. & Guzman, R., 2003, HST Photometry of Dwarf Elliptical Galaxies in Coma, and an Explanation for the Alleged Structural Dichotomy between Dwarf and Bright Elliptical Galaxies, *The Astronomical Journal*, **125**, pp. 2936-2950

Grazian, A. *ve diğ.*, 2004, The Large Binocular Camera Image Simulator, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **116**, pp. 750-761

Greisel, N. *ve diğ.*, 2013, Photometric Redshifts and Systematic Variations in the Spectral Energy Distributions of Luminous Red Galaxies from SDSS DR7, *The Astrophysical Journal*, **768**, e117

Gschwend, J. *ve diğ.*, 2018, DES science portal: Computing photometric redshifts, *Astronomy and Computing*, **25**, pp. 58-80

Gu, Y. *ve diğ.*, 2024, CSST large-scale structure analysis pipeline: I. Constructing reference mock galaxy redshift surveys, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **529**, pp. 4015-4027

Han, Y. *ve diğ.*, 2023, BayeSED-GALAXIES. I. Performance Test for Simultaneous Photometric Redshift and Stellar Population Parameter Estimation of Galaxies in the CSST Wide-field Multiband Imaging Survey, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, **269**, e39

Hildebrandt, H. *ve diğ.*, 2010, PHAT: PHoto-z Accuracy Testing, *Astronomy and Astrophysics*, **523**, pp. eA31

Hubble, E. P., 1936, Realm of the Nebulae, *Yale University Press*, ISBN: 9780300025002

Hudelot, P. *ve diğ.*, 2012, VizieR Online Data Catalog: The CFHTLS Survey (T0007 release) (Hudelot+ 2012), (VizieR On-line Data Catalog: II/317. Originally published in: SPIE Conf. 2012)

Humphrey, A. *ve diğ.*, 2023, Improving machine learning-derived photometric redshifts and physical property estimates using unlabelled observations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **520**, pp. 305-313

Hunter, D. A., 1997, Star Formation in Irregular Galaxies: A Review of Several Key Questions, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **109**, pp. 937-950

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

Ilbert, O. *ve diğ.*, 2009, Cosmos Photometric Redshifts with 30-Bands for 2-deg², *The Astrophysical Journal*, **690**, pp. 1236-1249

Ivezić Ž. *ve diğ.*, 2019, LSST: From Science Drivers to Reference Design and Anticipated Data Products, ApJ, 873, 111

Kauffmann, O. *ve diğ.*, 2020, Simulating JWST deep extragalactic imaging surveys and physical parameter recovery, *Astronomy and Astrophysics*, **640**, eA67

Keskin, O., Jolissaint, L., Bouxin, A. & Yesilyaprak, C., 2020, TROIA adaptive optics system for DAG telescope, Proceedings of SPIE, Vol. 11448, 114481P-1.

Keskin, O., Jolissaint, L., Bouxin, A. & Yesilyaprak, C., 2022, TROIA adaptive optics system for DAG telescope: assembly and laboratory performance prior to on-sky assessment, *Adaptive Optics Systems VIII*, **12185**, pp. e121851W

Kitching T. D. *ve diğ.*, 2012, Image analysis for cosmology: results from the GREAT10 Galaxy Challenge, MNRAS, 423, 3163

Kitching T. D. *ve diğ.*, 2014, 3D cosmic shear: cosmology from CFHTLenS, MNRAS, 442, 1326

Klein, C. *ve diğ.*, 2024, Size-mass relations for simulated low-mass galaxies: mock imaging versus intrinsic properties, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **532**, 538-548

Kormendy J. *ve diğ.*, 2009, Structure and Formation of Elliptical and Spheroidal Galaxies, ApJS, 182, 216

Kormendy J. & Ho, L. C., 2009, Structure and Formation of Elliptical and Spheroidal Galaxies, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, **51**, pp 511-653.

Laureijs R. *ve diğ.*, 2011, Euclid Definition Study Report, arXiv:1110.3193. doi:10.48550/arXiv.1110.3193

Lee, A. *ve diğ.*, 2024, Optical galaxy cluster mock catalogs with realistic projection effects: validations with the SDSS redMaPPer clusters, *ArXiv E-prints*, pp. earXiv:2410.02497

Lin, H. *ve diğ.*, 2004, Dark Energy Survey Collaboration Photometric Redshift Simulations for the Dark Energy Survey, *American Astronomical Society Meeting Abstracts*, **205**, pp. e69.18

López-López, X. *ve diğ.*, 2024, MAMBO: An empirical galaxy and AGN mock catalogue for the exploitation of future surveys, *Astronomy and Astrophysics*, **691**, pp. eA136

LSST Science Collaboration, Abell, P. *ve diğ.*, 2009, LSST Science Book, Version 2.0. *ArXiv E-prints*, earXiv:0912.0201

MacCrann, N. *ve diğ.*, 2022, DES Collaboration Dark Energy Survey Y3 results: blending shear and redshift biases in image simulations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **509**, pp. 3371-3394

Marshall, M. *ve diğ.*, 2024, FORECASTOR – II. Simulating Galaxy Surveys with the Cosmological Advanced Survey Telescope for Optical and UV Research, *ArXiv E-prints*, pp. earXiv:2402.17163

Mobasher B. *ve diğ.*, 2007, Photometric Redshifts of Galaxies in COSMOS, ApJS, 172, 117

Naab T., Ostriker J. P., 2017, Theoretical Challenges in Galaxy Formation, ARA&A, 55, 59

Navarro J. F., Frenk C. S., White S. D. M., 1997, A Universal Density Profile from Hierarchical Clustering, ApJ, 490, 493

Nelson D. *ve diğ.*, 2019, The IllustrisTNG simulations: public data release, ComAC, 6, 2

OpenUniverse, The LSST Dark Energy Science Collaboration, The Roman HLIS Project Infrastructure Team, The Roman RAPID Project Infrastructure Team, The Roman Supernova Cosmology Project Infrastructure Team, Alarcon A., Aldoroty L., et al., 2025, OpenUniverse2024: A shared, simulated view of the sky for the next generation of cosmological surveys, arXiv:2501.05632

Pasquet, J., Bertin, E., Treyer, M., Arnouts, S. ve Fouchez, D., 2019, Photometric redshifts from SDSS images using a convolutional neural network, *Astronomy and Astrophysics*, **621**, pp. eA26

Peebles, P. J. E., 1993, A semiempirical picture for galaxy formation, *First Light in the Universe. Stars or QSO's? Proceedings of the 8th IAP Astrophysics Meeting.*

*Reeves, A., 2016, Soapy: an adaptive optics simulation written purely in Python for rapid concept development,* Adaptive Optics Systems V, ***9909**, pp. e99097F*

*Rigaut, F. ve Neichel, B., 2020, Multiconjugate Adaptive Optics for Astronomy,* arXiv:2003.03.097

*Rousset, G., Fontanella, J. C., ve diğ., 1990, First Diffraction-Limited Astronomical Image with Adaptive Optics, Astronomy and Astrophysics, **230**, L29-L32*

*Sadeh, I., Abdalla, F. ve Lahav, O., 2016, ANNz2: Photometric Redshift and Probability Distribution Function Estimation using Machine Learning, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, **128**, pp. 104502*

*Salvato, M., Ilbert, O. ve Hoyle, B., 2019, The many flavours of photometric redshifts, Nature Astronomy, **3**, pp. 212-222*

*Sanchez S. F. ve diğ., 2008, The Night Sky at the Calar Alto Observatory II: The Sky at the Near-infrared, PASP, 120, 1244*

*Sandage, A., 1961, NASA/IPAC Extragalactic Database (NED): The Hubble Atlas of Galaxies, (Washington: Carnegie Institution)*

*Sarazin, C. L., 1988, X-ray emission from clusters of galaxies, Cambridge Astrophysics Series, Cambridge: Cambridge University.*

*Schaye J. ve diğ., 2015, The EAGLE project: simulating the evolution and assembly of galaxies and their environments, MNRAS, 446, 521*

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

*Schuldt, S. ve diğ., 2021, Photometric redshift estimation with a convolutional neural network: NetZ, Astronomy and Astrophysics, **651**, pp. eA55*

*Scoville N. ve diğ., 2007, The Cosmic Evolution Survey (COSMOS): Overview, ApJS, 172, 1*

*Skrutskie, M. ve diğ., 2006, The Two Micron All Sky Survey (2MASS), The Astronomical Journal, **131**, pp. 1163-1183*

*Smith, A. ve diğ., 2024, Generating mock galaxy catalogues for flux-limited samples like the DESI Bright Galaxy Survey, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, **532**, pp. 903-919*

*Smith M. J. ve diğ., 2022, Realistic galaxy image simulation via score-based generative models, MNRAS, **511**, 1808*

*Sofue, Y. & Rubin, V., 2001, Rotation Curves of Spiral Galaxies, Annual Review of Astronomy and Astrophysics, **39**, p. 137-174*

*Sparke, L. S., & Gallagher, J. S., 2000, Galaxies in the universe: an introduction, Cambridge University Press, Cambridge UK, ISBN: 0521592410*

*Spergel D. ve diğ., 2015, Wide-Field InfrarRed Survey Telescope-Astrophysics Focused Telescope Assets WFIRST-AFTA 2015 Report, arXiv:1503.03757. doi:10.48550/arXiv.1503.03757*

*Tanaka, M. ve diğ., 2018, Photometric redshifts for Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program Data Release 1, Publications of the Astronomical Society of Japan.* ***70****, pp. eS9*

*Tanigawa, S. ve diğ., 2024, HAYATE: photometric redshift estimation by hybridizing machine learning with template fitting, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* ***530****, pp. 2012-2038*

*Tezcan, C.T., 2024, Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Yerleşkesinin Atmosferik Türbülans ve Görüş Gözlemleri ile Atmosferik Profilinin Elde Edilmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

*Troxel M. A. ve diğ., 2023, A joint Roman Space Telescope and Rubin Observatory synthetic wide-field imaging survey, MNRAS, 522, 2801*

*Van Rossum, G. ve Drake, F., 2009, Python 3 Reference Manual. (CreateSpace,2009)*

*Voit, G. M., 2005, Tracing cosmic evolution with clusters of galaxies, Reviews of Modern Physics,* ***77****, pp. 207-258*

*Wadadekar Y., 2012, Morphology of galaxies, arXiv:1201.2252*

*Yesilyaprak, C., Yerli, S. K. ve Keskin, O., 2016, Eastern Anatolia Observatory (DAG): Recent developments and a prospective observing site for robotic telescopes,* Revista Mexicana De Astronomia Y Astrofisica Conference Series*.* ***48****, pp. 120-122*

*Yeşilyaprak, C. ve Keskin, O., 2020, Eastern Anatolia Observatory (DAG): the status in 2020.* Ground-based And Airborne Telescopes VIII, Proc. of SPIE*.* ***11445****, pp. e1144515*

*Yesilyaprak, C., Keskin, O. & Jolissaint, L., 2022, Eastern Anatolia Observatory (DAG): The Status in 2022 – Towards the First Light,* Ground-based and Airborne Telescopes IX, Proc. of SPIE*.* ***12182****, doi: 10.1117/12.2630889*

*Yesilyaprak, C., Keskin, O., Gucsav, B., Cetni, D. O., Kurucolak, M., 2024, DAG Telescope First Light Commissioning Status,* Ground-based and Airborne Telescopes X, Proc. of SPIE*.* ***13094****, doi: 10.1117/12.3030690*

*York D. G. ve diğ., 2000, The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary, The Astronomical Journal, 120, 1579. doi:10.1086/301513*

*Yüzlükoğlu, F., 2017, Erzurum ve Çevresinin Astronomi Gözlemleri Açısından Atmosferik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

# EKLER

## EK 1. Tezden Üretilmiş Yayının Kapak Sayfası

TJAA Vol. 6, *Issue* 1, *p.*1–9 (2025). DOI: 10.55064/tjaa.1613991 *Research Article*

### DAG Teleskobu için Üretilen Simülasyon Görüntüleriyle Fotometrik Kırmızıya Kaymaların Belirlenmesi

Süleyman Fişek[1,2]★, Sinan Aliş[1]
[1] *İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34116 İstanbul, Türkiye*
[2] *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı, İstanbul, Türkiye*

Accepted: January 23, 2025. Revised: January 23, 2025. Received: January 5, 2025.

**Özet**
Bu çalışmada Doğu Anadolu Gözlemevi teleskobu için beş farklı galaksi gözlemi simülasyonu üretilmiştir. Teleskobun optik özellikleri, DIRAC detektörü ve TROIA adaptif optik sistemi parametreleri dikkate alınarak galaksi görüntüleri simüle edilmiştir. Beş farklı simülasyon için, optik ve yakın-kırmızıöte bölgede sekiz bantta ve dört farklı astronomik görüş değeri için toplam 160 görüntü üretilmiştir. Beş simülasyonda $15<i<23$ kadir parlaklık ve $0.04<z<2.5$ kırmızıya kayma aralığında üretilen 688 galaksiden 538'ine ait parlaklık ve fotometrik kırmızıya kayma değerleri belirlenmiştir. Tüm galaksiler dikkate alındığında fotometrik kırmızıya kaymaların saçılma değerinde görüşe bağlı bir değişim görülmemekle birlikte, erken tür galaksilerde görülen saçılmanın atmosferik görüş değerinin kötüleşmesiyle arttığı belirlenmiştir. Saçılmadan ayrı olarak, dışarlayan galaksi oranının en iyi görüşten en kötü görüşe %0.38'ten %3.56'ya arttığı saptanmıştır. Hem en iyi hem de en kötü görüş koşullarında, en düşük fotometrik kırmızıya kayma saçılması eliptik galaksilerde görülmüştür.

**Abstract**
In this study, five different galaxy observations were simulated for the Eastern Anatolian Observatory telescope. Images that contain the simulated galaxies were produced by considering the optical properties of the telescope, the parameters of the DIRAC detector and the parameters of the TROIA adaptive optics system. A total of 160 images were produced for five different simulations, for eight bands including optical and near-infrared wavelengths and for four different astronomical seeing values. In these simulations, we obtain galaxies between $15<i<23$ magnitude and $0.04<z<2.5$ redshift range. We could measure magnitudes and photometric redshifts of 538 out of 688 simulated galaxies. When all galaxies were considered, no significant variation is seen in the scatter of the photometric redshifts. However, for early-type galaxies redshift scatter increases towards worse seeing conditions. Additionally, outlier galaxy fraction increases from 0.38% for the best seeing to 3.56% for the worst seeing. In the best and the worst seeing conditions, elliptical galaxies have the least photometric redshift scatter among all other galaxy types.

**Anahtar Kelimeler:** galaxies: distances and redshifts – atmospheric effects – instrumentation: adaptive optics – methods: statistical

#### 1 Giriş

Fotometrik kırmızıya kayma günümüz galaksi-dışı astronomi çalışmalarında önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Galaksilerin fiziksel parametrelerinin belirlenebilmesi için kırmızıya kayma ile temsil edilebilen uzaklıkların bilinmesi gerekmektedir. Ancak alışılageldik yöntemlerle, tayfsal gözlemler yoluyla, kırmızıya kaymalarını belirlemek oldukça fazla teleskop zamanı gerektirmektedir. Galaksi parlaklıklarına ihtiyaç duyan fotometrik kırmızıya kayma yöntemi, galaksi renkleriyle kırmızıya kayma arasındaki ilişkinin anlaşılmasıyla ortaya çıkmıştır (Baum 1957, 1962).

Sloan Digital Sky Survey (SDSS) ile birlikte yaygınlaşan çok bantlı görüntüleme projeleri sayesinde neredeyse tüm gökyüzü görüntülenmiştir. Her bir gökyüzü tarama projesi, kullanılan teleskoba ve detektörlere bağlı olarak farklı parlaklık limitlerine sahiptir. Bununla birlikte fotometrik kırmızıya kaymalar, günümüzde her türlü görüntüleme projesi veya gökyüzü taramasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Salvato ve diğ. 2019). Vera Rubin Gözlemevinde 8.4 metrelik teleskopla yürütülecek LSST taraması $i \leq 5\overset{m}{.}3$'e kadar 4 milyar galaksi tespit edebilecektir. Tüm proje tamamlandığında, 20000 derecekarelik alanda $r \sim 27\overset{m}{.}5$'e ulaşılacak ve 10 milyar galaksinin $ugrizy$ filtlerinde parlaklıkları ölçülmüş olacaktır (LSST Science Collaboration ve diğ. 2009). Yakın gelecekte fırlatılması planlanan Çin Uzay Teleskobunun da milyarlarca galaksinin fotometrik kırmızıya kaymasını belirlemesi beklenmektedir (Han ve diğ. 2023).

Gözlemsel çalışmalardaki sistematik hataları veya yanlılıkları araştırmak, büyük projelerdeki yazılımları veya veriyollarını test etmek için sıklıkla simülasyonlardan yararlanılır. Bu simülasyonlar, belirli bir cisim popülasyonu için (örneğin eliptik galaksiler, galaksi kümeleri) üretilebileceği gibi (Euclid Collaboration ve diğ. 2019; Kauffmann ve diğ. 2020; Euclid Collaboration ve diğ. 2024), belirli bir teleskop ve detektör için de üretilebilir (Grazian ve diğ. 2004; Connolly ve diğ. 2014; Gschwend ve diğ. 2018; MacCrann ve diğ. 2022). Özellikle gerçek gözlemler başlamadan veya bir uzay teleskobu durumunda, teleskop uzaya gönderilmeden önce, elde edilecek sonuçlar ve performans metrikleri için simülasyonlar bir gereklilik olmaktadır (Lin ve diğ. 2004; Marshall ve diğ. 2024).

★ sfisek@istanbul.edu.tr

© 2025 Turkish Astronomical Society (TAD)

# ÖZGEÇMİŞ

| Kişisel Bilgiler | |
|---|---|
| Adı Soyadı | Süleyman FİŞEK |
| Doğum Yeri | |
| Doğum Tarihi | |
| Uyruğu | [X] T.C. [ ] Diğer: |
| Telefon | |
| E-Posta Adresi | |
| Web Adresi | |

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

| Yüksek Lisans | |
|---|---|
| Üniversite | İstanbul Üniversitesi |
| Enstitü Adı | Fen Bilimleri |
| Anabilim Dalı | Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı |
| Programı | Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı |
| Mezuniyet Tarihi | 2018 |

| Önlisans | |
|---|---|
| Üniversite | Atatürk Üniversitesi |
| Fakülte | Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi |
| Bölümü | Bilgisayar Programcılığı |
| Mezuniyet Yılı | 2024 |

| Doktora | |
|---|---|
| Üniversite | İstanbul Üniversitesi |
| Enstitü Adı | Fen Bilimleri |
| Anabilim Dalı | Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı |
| Programı | Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı |
| Mezuniyet Tarihi | 2025 |

**Makale ve Bildiriler**

***Makaleler***

Fişek, S. & Aliş, S., 2025, DAG Teleskobu için Üretilen Simülasyon Görüntüleriyle Fotometrik Kırmızıya Kaymaların Belirlenmesi, *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 6, 1.

Kretlow, M., Ortiz, J. L., Desmars, J., ..., Fişek, S., *ve diğ.*, 2024, Physical properties of trans- Neptunian object (143707) 2003 UY117 derived from stellar occultation and photometric ob- servations, *Astronomy & Astrophysics*, 691, 8.

Balbay, R., Kaba, K., Fişek, S., Yeşilyaprak, C., 2024, Evaluation of PWV products derived from satellite-based and radiosonde retrievals for the eastern anatolia observatory (DAG), *Experimental Astronomy*, 58, 2.

Yalçınkaya, S., Esmer, E.M., Baştürk, Ö, ..., Fişek, S., *ve diğ.*, 2024, Looking for timing variations in the transits of 16 exoplanets, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 530, 3.

Balman, Ş., Khamitov, I., Kolbin, A., ..., Fişek, S., 2024, Optical identification and follow-up observations of SRGA J213151.5+491400. A new magnetic cataclysmic variable discovered with the SRG observatory, *Astronomy & Astrophysics*, 684, 16.

Rommel, F. L., Braga-Ribas, F., Ortiz, J. L., ..., Fişek, S., *ve diğ.*, 2023, A large topographic feature on the surface of the trans-Neptunian object (307261) 2002 MS4 measured from stellar occultations, *Astronomy & Astrophysics*, 678, 25.

Shaaban, E., Alis, S., Bektasoglu, M., Yelkenci, F. K., Ulgen, E. K., Cakir, O., Fişek, S., 2022, Structural analysis of brightest cluster galaxies in poor and rich clusters, *New Astronomy*, 100.

Ulgen, E. K., Alis, S., Benoist, C., Yelkenci, F. K., Cakir, O., Fişek, S., Karatas, Y., 2022, Identification and properties of isolated field elliptical galaxies from CFHTLS-W1, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 39, e031.

Sağlam, M. T., Çördük, M., Aliş, S. ..., Fişek, S., *ve diğ.*, 2022, Discovery of a Short Period Pul- sator from Istanbul University Observatory, *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 3, 1.

Baştürk, Ö., Esmer, E. M., Yalçınkaya, S., ..., Fişek, S., *ve diğ.*, 2022, Homogeneous transit timing analyses of 10 exoplanet systems, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 512, 2.

Khamitov, I. M., Özışık, T., Aliş, S., Bikmaev, I. F., Burenin R. A., Dindar, M., Dindar, S., Ertan, N., Fişek, S., *ve diğ.*, 2022, Multi-object spectroscopy in the observational complex of the RTT150, *Astronomy at the Epoch of Multimessenger*

*Studies, Proceedings of the VAK-2021 conference*.

Alis, S., Saygac, A.T., Fisek, S., Esenoglu, H.H., 2017, Discovery of a New Delta Scuti Variable in the Field of RW UMi, *Information Bulletin on Variables Stars (IBVS)*, Number 6214.

Yesilyaprak, C., Yerli, S. K., Aksaker, N., Yildiran, Y., Güney, Y., Güçsav, B. B., Özeren, F. F., Kiliç, Y., Shameoni, M. N., Fişek, S., Kilicerkan, G., Nasiroglu, I., Özbaldan, E. E., Yaşar, E., 2014, ATA50 Telescope: Hardware, *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica*, 45.

Atali, H.B., Alis, S., Yelkenci, K., Saygac, A.T., Aksoyu Nuranoglu, Y., Fisek, S., Ulgen, E.K., 2014, Times of Minima of Eclipsing Cataclysmic Variables, *Information Bulletin on Variables Stars (IBVS)*, Number 6102.

***Bildiriler***

Fişek, S. *ve diğ.*, 2024, Istanbul University Observatory, The 15th Gaia Science Alerts workshop and the ORP Time-Domain meeting, Girit-Yunanistan, Ekim 2024.

Fişek, S. *ve diğ.*, 2024, TUG-TFOSC ve DAG-DIRAC Detektörleri için Galaksi Simülasyonları, 23. Ulusal Astronomi Kongresi - UAK, İstanbul, Eylül 2024.

Fişek, S. & Aliş, S., 2023, Investigation the Effects of the DAG Adaptive Optics System on Galaxy Studies, III. Uluslararası Uzay Ekonomisi, Uzay Hukuku ve Uzay Bilimleri Sempozyum, İstanbul, Mayıs 2023.

Fişek, S. & Aliş, S., 2019, National Sky Fest in Turkey, Regional Astronomical Workshop, Ermenistan, Eylül 2019.

Fişek, S. *ve diğ.*, 2019, AGN Activity in Brightest Cluster Galaxies, International Conference “Active Galaxies and Quasars”, Ermenistan, Eylül 2019.

Fişek, S. *ve diğ.*, 2018, Galaksi Kümelerindeki Merkezi Parlak Galaksilerin Etkinlik Türüne Göre Sınıflandırılası, 21. Ulusal Astronomi Kongresi - UAK, Kayseri, Eylül 2018.

Fişek, S. *ve diğ.*, 2017, Star Formation in Central Galaxies of Clusters at $0.1 \leq z \leq 1$, Early Stages of Galaxy Cluster Formation (Workshop), ESO-Münih, Almanya 2017.

Fişek, S. *ve diğ.*, 2016, Galaksi Kümelerindeki Merkezi Parlak Galaksilerde (BCGs) Yıldız Oluşum Aktivitesi, 20. Ulusal Astronomi Kongresi - UAK, Erzurum, Eylül 2016.