




DAG Teleskobu için Üretilen Simülasyon Görüntüleriyle Fotometrik Kırmızıya Kaymaların Belirlenmesi

Süleyman Fişek^{1,2}  , Sinan Aliş¹ 

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, dışarılayan 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 alışlagelik 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).

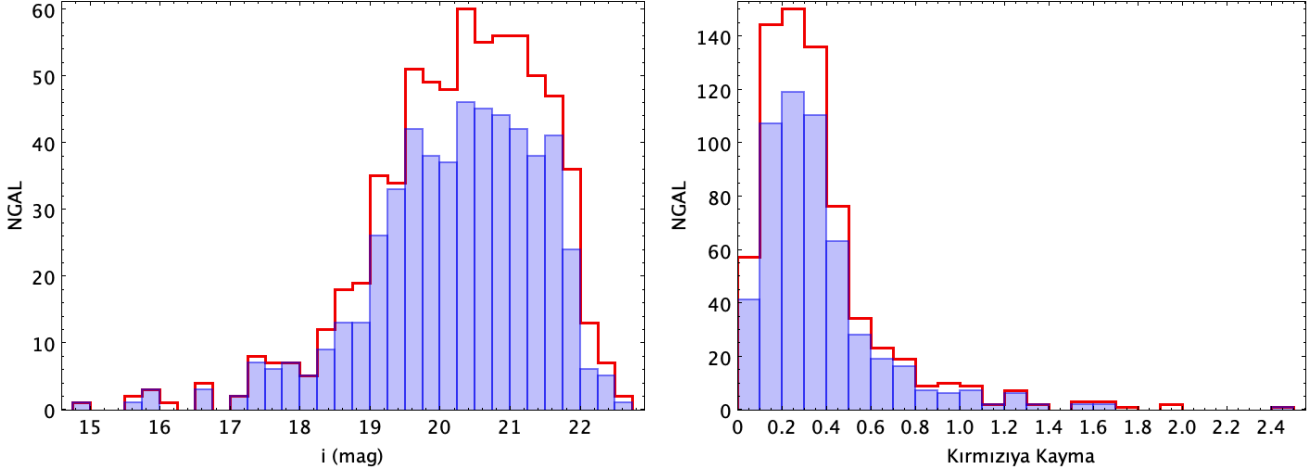
Sloan Digital Sky Survey (SDSS) ile birlikte yaygınlaşan çok bantlı görüntüleme projeleri sayesinde neredeyse tüm gökyüzü görüntülenmiştir. Her bir gökyüzü tarama projesi, kullanılan teleskoba ve detektörlere bağlı olarak farklı parlaklık limitlerine sahiptir. Bununla birlikte fotometrik kırmızıya kaymalar, günümüzde her türlü görüntüleme projesi veya gökyüzü taramasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Salvato ve diğ. 2019). Vera Rubin Gözlemevinde 8.4 metrelik

teleskolla yürütülecek LSST taraması $i \leq 5^m.3'$ e kadar 4 milyar galaksi tespit edebilecektir. Tüm proje tamamlandığında, 20000 derecekarelik alanda $r \sim 27^m.5'$ e ulaşılacak ve 10 milyar galaksinin *ugrizy* filterlerinde 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 yanlışlıkları araştırmak, büyük projelerdeki yazılımları veya veriyollarını test etmek için sıklıkla simülasyonlardan yararlanır. 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

2 Fişek, S. ve diğ.



Şekil 1. Çizelge 1’de verilen beş farklı simülasyonda üretilen toplam (kırmızı) 688 ve tespit edilen (mavi) 538 galaksinin i-bandı parlaklık (solda) ile kırmızıya kayma (sağda) dağılımları.

Çizelge 1. Bu çalışmada için üretilen galaksi simülasyonları. Çizelgede simülasyon numarası, galaksi sayısı, minimum ve maksimum kırmızıya kayma değerleri verilmektedir.

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

Bu çalışmada, 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 (z_{phot}) hesaplanmıştır. Elde edilen fotometrik kırmızıya kaymaların doğruluklarının istatistik açıdan karşılaştırması da sunulmaktadır. Özellikle, optik bölgedeki beş bant parlaklık (u , g , r , i , z) ile yakın-kırmızıöte bölgedeki üç bant parlaklığın (J , H , K) birlikte kullanılması ile edilen sonuçlar sunulmaktadır.

Galaksi ve görüntü simülasyonlarının ayrıntıları §2’de, parlaklıklar ve kırmızıya kaymalar §3’te, fotometrik kırmızıya kaymaların doğrulukları §4’te ve tartışma ve sonuçlar §5’te verilmektedir. Çalışma boyunca Λ CDM kozmolojisi çerçevesinde $H_0=70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, $\Omega_m=0.3$ ve $\Omega_\Lambda=0.7$ alınmıştır.

2 Veriler ve Yöntem

2.1 Galaksi Simülasyonları

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 (Smith ve diğ. 2024; Klein ve diğ. 2024). López-López 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 (Lee ve diğ. 2024; Gu ve diğ. 2024).

Bu çalışmada görüntüleri üretilecek galaksiler, **Stuff** programı kullanılarak simüle edilmiştir (Bertin 2009, 2010). 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 bu çalışmada erken-tür galaksilerin hakim olduğu bir popülasyon üretilmiştir. Simülasyon galaksilerinin sayı ve kırmızıya kayma aralıkları Çizelge 1’de, parlaklık ve kırmızıya kayma dağılımları ise Şekil 1’de verilmektedir.

Bununla birlikte, daha çok galaksi kümelerinde görülen türden galaksiler üretilmiş olsa da, Lee ve diğ. (2024)’de olduğu gibi küme ortamı simüle edilmeye çalışılmamıştır. Bir sonraki çalışmada, evrendeki galaksi yoğunluğunun en fazla olduğu, galaksi kümelerinin merkezi bölgelerinin çalışılmasında adaptif optiğin etkilerinin araştırılması hedeflerimiz arasındadır.

Bu çerçevede, spektral tipleri E (eliptik), Sbc (spiral), Scd (spiral) ve Im (düzensiz) olan dört farklı galaksi spektral 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 (Ilbert ve diğ. 2006; Coupon ve diğ. 2009). 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 Çizelge 2’de 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 , K_s) (Skrutskie ve diğ. 2006) filtreleri için toplam sekiz bantta galaksi parlaklıklarını içermektedir.

Toplam galaksi sayısını artırmak ve bu yolla elde edilecek istatistikî anlamı güçlendirmek için beş farklı simülasyon üretilmiştir. Her bir simülasyon DAG teleskobu birinci nesil odak düzlemi aleti olan DIRAC’ın (DAG Infrared Camera) piksel ölçüğü dikkate alınarak $16k \times 16k$ piksel boyutlarında

Çizelge 2. Beş farklı simülasyonda üretilen toplam 688 galaksinin morfolojik türü, Hubble T sınıfı ve sayıları.

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

Çizelge 3. DAG teleskobu ve detektörlerine ait temel parametreler.

Parametre	Değer
M1 ayna çapı	3942 mm
M2 ayna çapı	975 mm
Teleskop odak uzunluğu	56000 mm
DIRAC dizge boyutu	1016×1016 px
DIRAC piksel boyutları	33×33 μm
DIRAC dalgaboyu aralığı	1650 – 2200 nm
DIRAC okuma gürültüsü	18 e^-
Filtreler	J - H - Ks
EMCCD dizge boyutu	128×128 px
DM aktüatör sayısı	468

üretilmiştir. DIRAC'ın $0.033''$ piksel⁻¹ değerindeki piksel ölçeği ile her bir simülasyonun görüş alanı (FoV) $9' \times 9'$ bir alana karşılık gelmektedir. DIRAC'ın efektif görüş alanı $33'' \times 33'' \times 1$ 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.

2.2 DAG Teleskobu Adaptif Optik Sistemi

Türkiye'nin ilk kırmızıöte teleskobu olmasının yanı sıra, DAG'ın dikkat çeken bir diğer önemli özelliği ise adaptif optik (AO) sistemine sahip olacak olmasıdır (Yesilyaprak ve diğ. 2016; Yeşilyaprak & Keskin 2020). Günümüzde, atmosferin gözlemler üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ve büyük ölçüde gidermek için modern teleskoaplarda adaptif optik sistemleri kullanılmaktadır. Adaptif optik sistemleri, yer tabanlı teleskoplar ile yapılan gözlemlerde gerçek zamanlı (real-time) çalışarak, atmosferden kaynaklanan olumsuz etkileri düzeltebilmektedirler (Beckers 1993).

DAG teleskobunun adaptif optik sistemi olan TROIA (Turkish adaptive Optics for Infrared Astronomy), farklı bilimsel çalışmalarda etkin bir şekilde kullanılabilmesi için çok yönlü olarak tasarlanmıştır. Sistemi oluşturan piramit dalga cephesi alıcısı (P-WFS: Pyramid Wavefront Sensor), gürültüsüz kamera (EMCCD) ve 468 aktüatörlü DM (deforme olabilen ayna) AO sistemin çok yönlü olarak çalışmasına imkan verecek en önemli bileşenlerdir (Keskin ve diğ. 2022). Teleskobun ve önemli bileşenlerinin temel parametreleri Çizelge 3'te verilmektedir.

Bu çalışmada Keskin ve diğ. (2022) tarafından ayrıntıları verilen TROIA sistemine ait parametreler dikkate alınmış ve görüntüler üretilirken yakın-kırmızıöte bölge görüntüleri için (J, H, Ks bantları) bu etkiler dahil edilmiştir. Adaptif

Çizelge 4. DAG adaptif optik sisteminin etkileri dikkate alınırken farklı atmosferik görüş değerleri için kullanılan değerler.

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

optiğin görüntülere etkileri PSF (point-spread function) yoluyla olmaktadır. Verilen atmosferik görüş değerlerine karşılık adaptif optiğin düzeltilmesi sonucunda elde edilen PSF'ler Şekil 2'de 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 $V=8^m$ alınmıştır. Görüş değerine bağlı olarak değişen değerler Çizelge 4'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* (bkz. *soapy@github*) (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 & Drake 2009) dilinde yazılmış bir adaptif optik simülasyonudur.

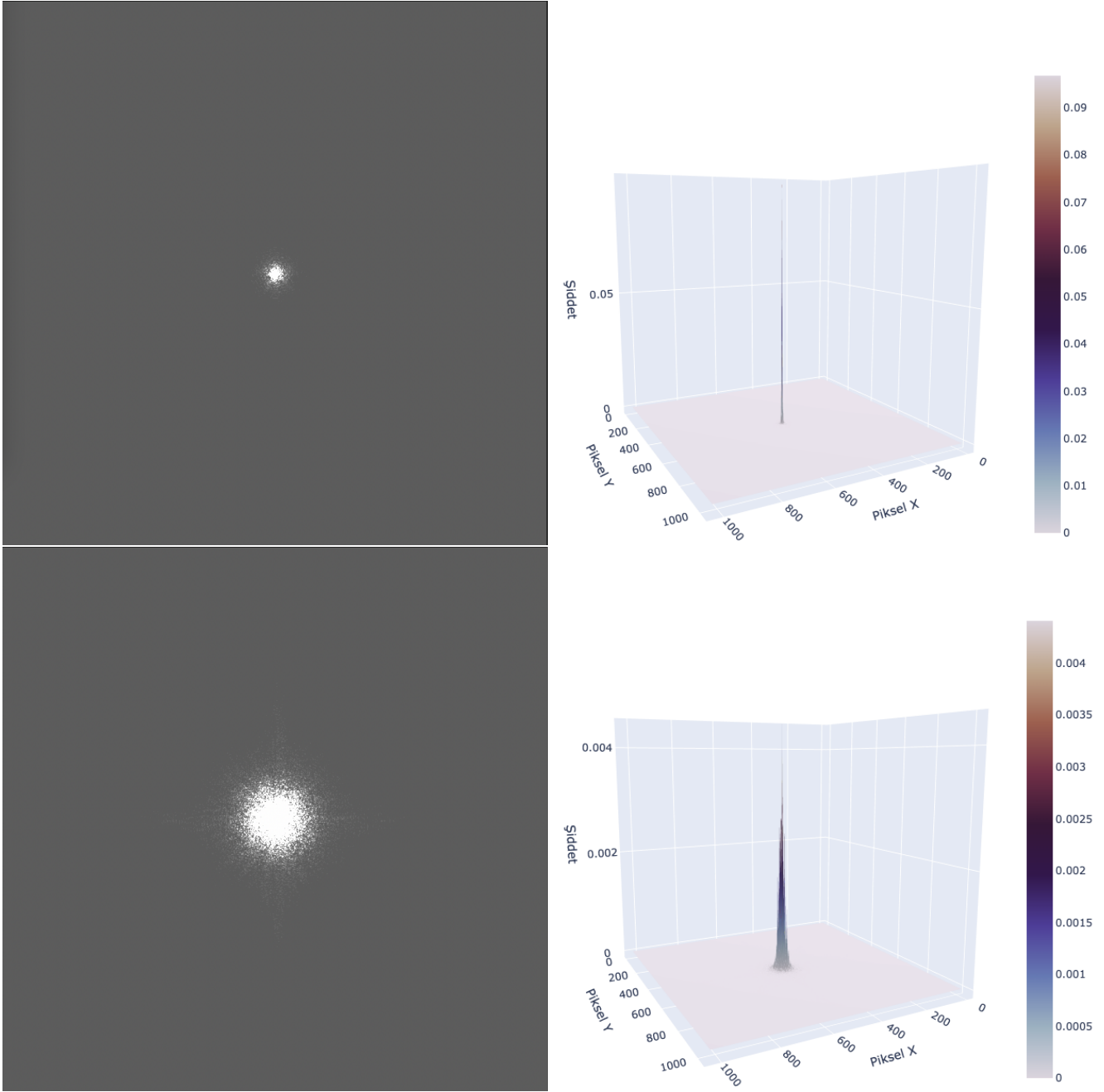
2.3 Görüntülerin Üretilmesi

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 (bkz. §2.1) 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 yaysaniyesi 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'te beş simülasyona ait i-bandi görüntüleri $0.3''$ görüş değeri için örnek olarak verilmektedir.



Şekil 2. 0.3'' ve 1.5'' atmosferik görüş değerleri için J-bandı PSF görüntüleri (sol) ve şiddet grafikleri (sağ).

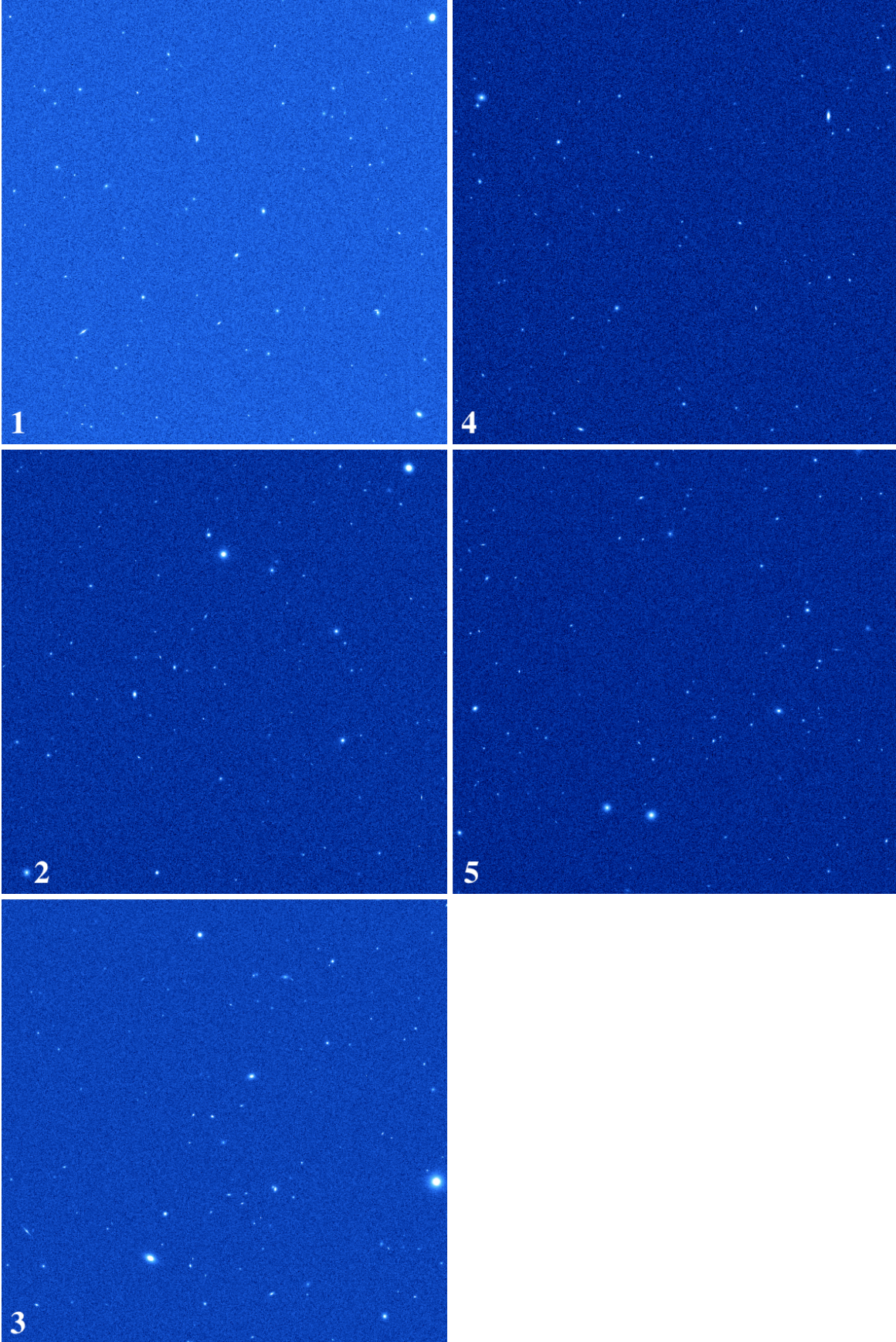
3 Parlaklıkların ve Kırmızıya Kaymaların Belirlenmesi

Simüle edilen görüntülerden galaksilerin parlaklık ve parlaklık hatalarını elde etmek için Bertin & 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. Çizelge 5'te 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. LePhare temel olarak galaksilerin farklı dalgaboylarındaki akılarını, önceden hesaplanmış ve iyi bilinen

Çizelge 5. Beş farklı simülasyonda üretilen galaksilerin SExtractor ile tespit edilme sayıları ve buna bağlı tamlık oranları.

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



Şekil 3. Üretilen 5 simülasyonun 0.3'' atmosferik görüş değerindeki i-bandı görüntüleri.

6 Fişek, S. ve diğ.

galaksi SED'lerine dayanan model akıllarla karşılaştırarak galaksinin kırmızıya kaymasını belirler. Bu belirlemede, kullanılan model galaksi tayfları önemli bir rol oynar. LePhare programı ölçülen galaksi akıllarını model galaksi akıllarıyla karşılaştırarak kırmızıya kaymaları belirlediğinden SED uyumlama tekniği kullanan bir programdır. [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'in 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 & Paltani 2018](#); [Humphrey ve diğ. 2023](#); [Tanigawa ve diğ. 2024](#)), bazıları da galaksi görüntülerine dayanan derin öğrenme tekniklerini kullanır ([Collister & Lahav 2004](#); [Sadeh ve diğ. 2016](#); [Pasquet ve diğ. 2019](#); [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.

Bu çalışmada LePhare kullanılırken, model galaksi parlaklıkları, literatürde yaygın biçimde kullanılan ve yıldızların popülasyon sentezine dayanan [Bruzual & Charlot \(2003\)](#) modeliyle üretilmiştir. 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 Fotometrik Kırmızıya Kaymaların Doğrulukları

Fotometrik kırmızıya kaymaların (z_{phot}) 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'te bu çalışmada elde edilen fotometrik kırmızıya kaymaların galaksilerin simülasyon değerleriyle karşılaştırması dört farklı atmosferik görüş değeri için verilmektedir. Şekil 4'te mavi kesikli çizgiler dışarılayan veriler için sınırları belirtmektedir.

Fotometrik kırmızıya kayma değerlerinin doğruluğu literatürde normalleştirilmiş medyan mutlak sapma (NMAD) değeri ile verilmektedir. Buna göre z_{phot} ile z_{sim} değerleri arasındaki farkın saçılması aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır ([Ilbert ve diğ. 2006](#)):

$$\sigma_{NMAD} = 1.48 \times \text{med} \left(\frac{|z_{spec} - z_{phot}|}{1 + z_{spec}} \right) \quad (1)$$

Burada spektroskopik kırmızıya kayma (z_{spec}) değerleri yerine simülasyon kırmızıya kaymaları (z_{sim}) kullanılmıştır.

Çizelge 6'da 0.3, 0.7, 1.0 ve 1.5 yaysaniyesindeki görüş değerleri için elde edilen sonuçlar, hem tüm galaksiler için hem de galaksi türlerine göre ayrı ayrı verilmektedir. Şekil 5'te atmosferik görüşe göre fotometrik kırmızıya kayma saçılmaları

Çizelge 6. LePhare ile belirlenen fotometrik kırmızıya kaymalarının saçılmaları (σ_{NMAD}). Çizelgenin 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 örnekteki galaksi sayısı belirtilmiştir.

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

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.

$\Delta z = (z_{sim} - z_{phot})$ olmak üzere, $\Delta z / (1 + z_{sim}) > 0.15$ koşulunu sağlayan galaksiler fotometrik kırmızıya kayma değerlendirmelerinde dışarılayan veri olarak kabul edilir. Bu nedenle Çizelge 6'da verilen değerler, dışarılayan veriler elendikten sonra elde edilen sonuçları içermektedir. Dışarılayan verilerin oranı (η) fotometrik kırmızıya kaymaların gerçek değerlere yakınlığının bir başka göstergesi olarak verilir. Özellikle fotometrik kırmızıya kayma hesaplayan programların performansı veya kullanılan veri setinin kalitesi η ile değerlendirilir.

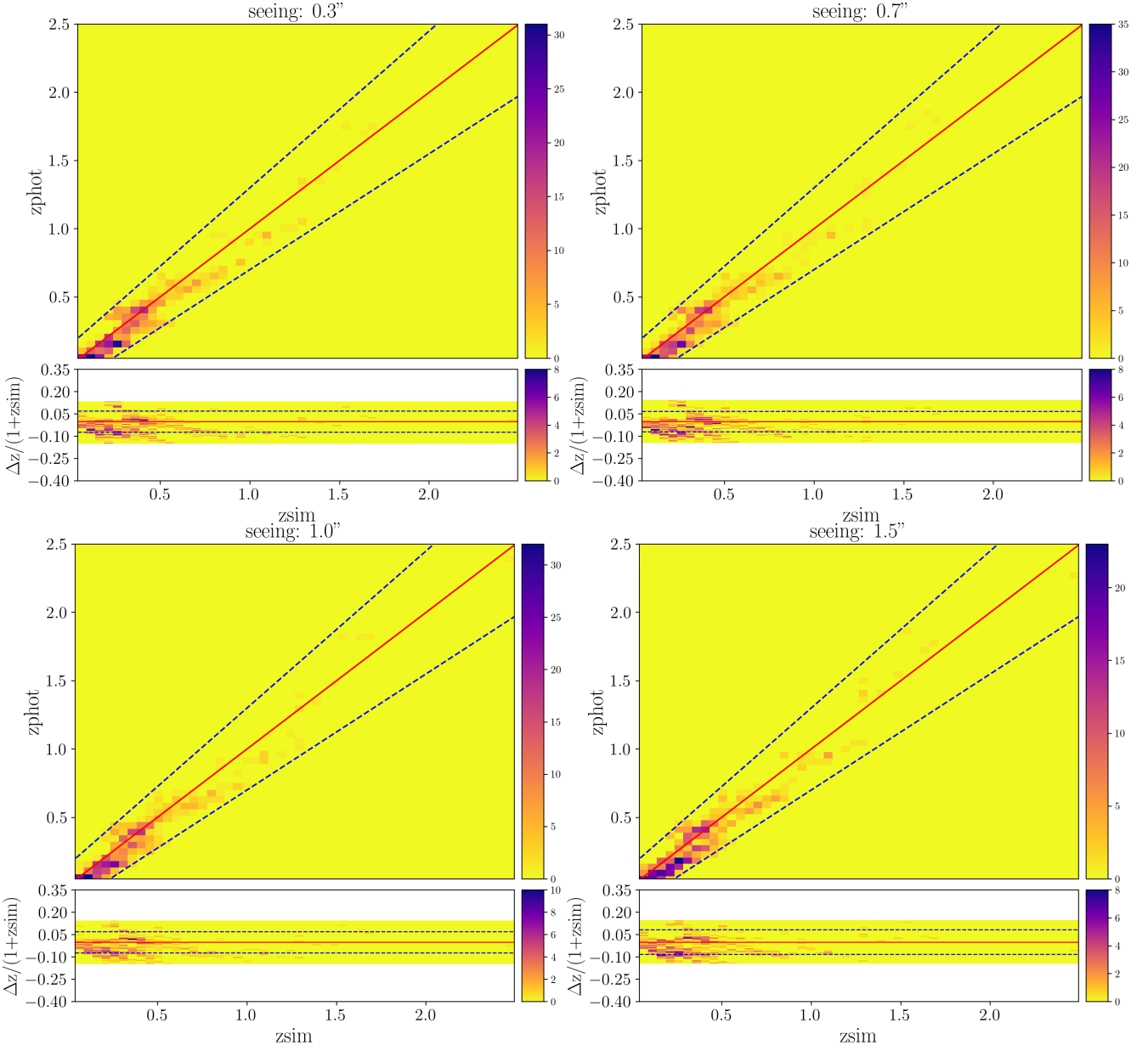
Bu çalışmada fotometrik kırmızıya kaymasını hesaplayabildiğimiz 538 galaksiden dışarılayan galaksilerin oranı 0.3'', 0.7'', 1.0'' ve 1.5'' atmosferik görüş değerleri için sırasıyla %0.38, %0.56, %1.32 ve %3.56 olarak belirlenmiştir. En iyi görüş değerinden en kötü görüş değerine doğru η değerlerinde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

5 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, 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.

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 Le Phare programı kullanılarak fotometrik kırmızıya kaymalar belirlenmiştir.

Beş farklı simülasyonda 688 galaksi simüle edilmiş ve bunlardan 538'ine ait parlaklıklar ve fotometrik kırmızıya



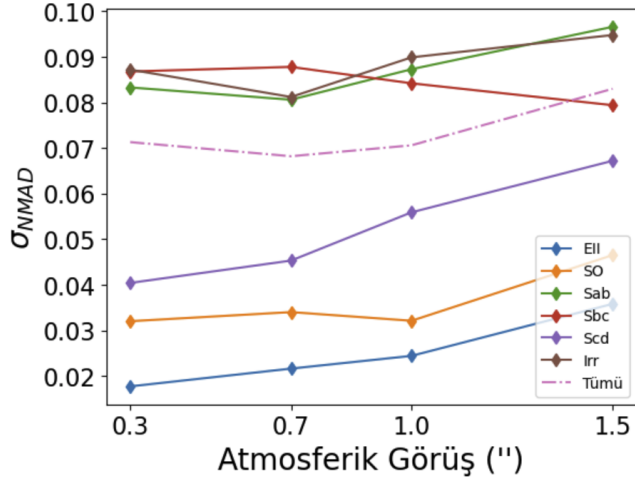
Şekil 4. Bu çalışmada simülasyon görüntülerinden elde edilen fotometrik kırmızıya kaymaların (z_{phot}), simüle edilmiş galaksilerin kırmızıya kaymaları (z_{sim}) ile karşılaştırılması. Grafikler dört farklı görüş değeri için verilmektedir. Alt panellerde $\Delta z/(1+z_{sim})$ 'nin z_{sim} 'e göre değişimi gösterilmektedir. Grafiklerdeki kırmızı çizgi $z_{phot} = z_{sim}$ çizgisini, mavi çizgiler ise dışarılayan galaksiler için sınırları belirtmektedir. Grafiklerde sağda verilen renk çubuğu galaksi sayı yoğunluğunu belirtmektedir.

kaymalar ölçülebilmıştır. Simüle edilen galaksilerin parlaklıkları $15 < i < 23$ kadir aralığında ve kırmızıya kaymaları $0.04 < z < 2.5$ aralığında dağılmaktadır.

Ş4'te fotometrik kırmızıya kaymaların doğruluğu için kullanılan saçılma (σ_{NMAD}) ve dışarılayan galaksi oranı (η) değerleri verilmiştir. Tüm galaksiler dikkate alındığında σ_{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, η 'nin en iyi görüşten en kötü görüşe doğru dikkate değer biçimde arttığı saptanmıştır. En kötü görüş değeri olan

1.5 yaysaniyesinde 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 ~ 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 σ_{NMAD} değerlerinin görüşe çok bağlı olmadığı, ancak galaksi türlerine ayrı ayrı bakıldığında erken tür galaksiler (EII, 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 (Greisel ve diğ. 2013; Aliş 2024). Bu durum eliptik galaksilerin



Şekil 5. σ_{NMAD} değerlerinin atmosferik görüşe göre değişimi. Değerler tüm galaksiler için ve galaksi türüne göre ayrı ayrı verilmektedir.

spektral 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 ayrıntılara bir sınırlama getirmemiştir.

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.

Acknowledgment

Yazarlar İstanbul Üniversitesi Galaksi-dışı Astronomi ve Kozmoloji çalışma grubu üyelerine destekleri ve katkıları için teşekkür eder. Simülasyon görüntülerinin üretiminde 2016K121370 nolu T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı projesiyle İstanbul Üniversitesine kurulmuş olan Veri Arşiv ve Analiz Laboratuvarı imkanları kullanılmıştır.

Kaynaklar

- Aliş S., 2024, *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 10, 954–967
- Arnouts S., Cristiani S., Moscardini L., Matarrese S., Lucchin F., Fontana A., Giallongo E., 1999, *MNRAS*, 310, 540
- Balbay R., Şatır O., Yeşilyaprak C., Dokuyucu A. I., Mamur A., Arabacı H., Temir I., 2023, in Kahya C., Öztopal A., eds, 10th International Symposium on Atmospheric Sciences e-proceedings. Istanbul Technical University Press, pp 591–595
- Banerji M., ve diğ., 2010, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 406, 342
- Barchi P. H., ve diğ., 2019, preprint, ([arXiv:1901.07047](https://arxiv.org/abs/1901.07047)), *ADS*
- Baum W. A., 1957, *AJ*, 62, 6
- Baum W. A., 1962, in McVittie G. C., ed., IAU Symposium Vol. 15, Problems of Extra-Galactic Research. p. 390
- Beckers J. M., 1993, *ARA&A*, 31, 13
- Bertin E., 2009, Mem. Soc. Astron. Italiana, 80, 422, *ADS*
- Bertin E., 2010, Stuff: Simulating “Perfect” Astronomical Catalogues, Astrophysics Source Code Library, record

- ascl:1010.067, <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010ascl.soft10067B>
- Bertin E., Arnouts S., 1996, *A&AS*, 117, 393
- Boulade O., ve diğ., 2003, in Iye M., Moorwood A. F. M., eds, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series Vol. 4841, Instrument Design and Performance for Optical/Infrared Ground-based Telescopes. pp 72–81, [doi:10.1117/12.459890](https://doi.org/10.1117/12.459890)
- Bruzual G., Charlot S., 2003, *MNRAS*, 344, 1000
- Collister A. A., Lahav O., 2004, *PASP*, 116, 345
- Connolly A. J., ve diğ., 2014, in Angeli G. Z., Dierickx P., eds, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series Vol. 9150, Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy VI. p. 915014, [doi:10.1117/12.2054953](https://doi.org/10.1117/12.2054953)
- Coupon J., ve diğ., 2009, *A&A*, 500, 981
- Dahlen T., ve diğ., 2013, *ApJ*, 775, 93
- Euclid Collaboration ve diğ., 2019, *A&A*, 627, A23
- Euclid Collaboration ve diğ., 2024, preprint, ([arXiv:2405.13495](https://arxiv.org/abs/2405.13495))
- Fotopoulou S., Paltani S., 2018, *A&A*, 619, A14
- Grazian A., Fontana A., De Santis C., Gallozzi S., Giallongo E., Di Pangrazio F., 2004, *PASP*, 116, 750
- Greisel N., Seitz S., Drory N., Bender R., Saglia R. P., Snigula J., 2013, *ApJ*, 768, 117
- Gschwend J., ve diğ., 2018, *Astronomy and Computing*, 25, 58
- Gu Y., ve diğ., 2024, *MNRAS*, 529, 4015
- Han Y., Fan L., Zheng X. Z., Bai J.-M., Han Z., 2023, *ApJS*, 269, 39
- Hildebrandt H., ve diğ., 2010, *A&A*, 523, A31
- 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, <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2012yCat.2317...0H>
- Humphrey A., Cunha P. A. C., Paulino-Afonso A., Amarantidis S., Carvajal R., Gomes J. M., Matute I., Papaderos P., 2023, *MNRAS*, 520, 305
- Ilbert O., ve diğ., 2006, *A&A*, 457, 841
- Ilbert O., ve diğ., 2009, *ApJ*, 690, 1236
- Kauffmann O. B., ve diğ., 2020, *A&A*, 640, A67
- Keskin O., Jolissaint L., Bouxin A., Yesilyaprak C., 2022, in Schreiber L., Schmidt D., Vernet E., eds, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series Vol. 12185, Adaptive Optics Systems VIII. p. 121851W, [doi:10.1117/12.2630893](https://doi.org/10.1117/12.2630893)
- Klein C., Bullock J. S., Moreno J., Mercado F. J., Hopkins P. F., Cochrane R. K., Benavides J. A., 2024, *MNRAS*, 532, 538
- LSST Science Collaboration ve diğ., 2009, preprint, ([arXiv:0912.0201](https://arxiv.org/abs/0912.0201))
- Lee A., ve diğ., 2024, preprint, ([arXiv:2410.02497](https://arxiv.org/abs/2410.02497))
- Lin H., Cunha C., Lima M., Oyaizu H., Frieman J., Collister A., Lahav O., Dark Energy Survey Collaboration 2004, in American Astronomical Society Meeting Abstracts. p. 69.18
- López-López X., ve diğ., 2024, *A&A*, 691, A136
- MacCrann N., ve diğ., 2022, *MNRAS*, 509, 3371
- Marshall M. A., ve diğ., 2024, preprint, ([arXiv:2402.17163](https://arxiv.org/abs/2402.17163))
- Pasquet J., Bertin E., Treyer M., Arnouts S., Fouchez D., 2019, *A&A*, 621, A26
- Reeves A., 2016, in Marchetti E., Close L. M., Véran J.-P., eds, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series Vol. 9909, Adaptive Optics Systems V. p. 99097F, [doi:10.1117/12.2232438](https://doi.org/10.1117/12.2232438)
- Sadeh I., Abdalla F. B., Lahav O., 2016, *PASP*, 128, 104502
- Salvato M., Ilbert O., Hoyle B., 2019, *Nature Astronomy*, 3, 212
- Schuldt S., Suyu S. H., Cañameras R., Taubenberger S., Meinhardt T., Leal-Taixé L., Hsieh B. C., 2021, *A&A*, 651, A55
- Skrutskie M. F., ve diğ., 2006, *AJ*, 131, 1163
- Smith A., ve diğ., 2024, *MNRAS*, 532, 903
- Tanaka M., ve diğ., 2018, *PASJ*, 70, S9

- Tanigawa S., Glazebrook K., Jacobs C., Labbe I., Qin A. K., 2024, [MNRAS](#), 530, 2012
- Van Rossum G., Drake F. L., 2009, Python 3 Reference Manual. CreateSpace, Scotts Valley, CA
- Yeşilyaprak C., Keskin O., 2020, in Marshall H. K., Spyromilio J., Usuda T., eds, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series Vol. 11445, Ground-based and Airborne Telescopes VIII. p. 1144515, [doi:10.1117/12.2560942](#)
- Yesilyaprak C., Yerli S. K., Keskin O., 2016, in Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series. pp 120–122
- de Vaucouleurs G., 1977, in Tinsley B. M., Larson D. Campbell R. B. G., eds, Evolution of Galaxies and Stellar Populations. p. 43

Access:

M25-0101: [Turkish J.A&A](#) — Vol.6, Issue 1.