

GALAKSİLERİN MORFOLOJİK SINIFLANDIRILMASI ve GALAKSİ EVRİMİ

**Korhan YELKENCİ¹, Christophe BENOIST², Sinan ALİŞ¹, Gökmen TEKTUNALI¹,
Füsün LİMBOZ¹**

¹ *İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119, Beyazıt, İstanbul*
eposta: yelkenci@istanbul.edu.tr, salis@istanbul.edu.tr, tektunal@istanbul.edu.tr, limboz@istanbul.edu.tr

² *Laboratoire Lagrange, Observatoire de la Côte d'Azur, CEDEX 4, 06304, Nice, France*
eposta: benoist@oca.eu

Özet: Galaksilerin morfolojik olarak sınıflandırılması, galaksi morfolojisi-yoğunluk ilişkisinin geniş ölçeklerde çalışılabilmesi bakımından önemlidir. Günümüzde gökyüzü tarama projeleri ile çok sayıda galaksi kümesi tespit edilebilmektedir. Galaksi kümelerindeki galaksilerin oluşum ve evrimlerini anlamada morfoloji-yoğunluk ilişkisi temel bir öneme sahiptir. Bu ilişkinin geniş bir kırmızıya kayma aralığında incelenmesi; galaksilerin yapısını etkileyen faktörleri, çevresel etkileri ve galaksi kümelerindeki etkileşimleri anlamının etkin bir yoludur.

Bu çalışmada, yüzbinlerce galaksinin otomatik olarak ve parametrik yaklaşımla sınıflandırılması için literatürde bulunan programlar kullanılarak, paralel hesaplama yapabilen bir algoritma geliştirilmiştir. Burada CFHTLS (Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey) projesi çerçevesinde tespit edilmiş küme galaksilerine uygulanan bu yöntemin ilk sonuçları sunulmakta ve yöntem tartışılmaktadır.

(Bu çalışma boyunca, standart Λ CDM kozmolojisi çerçevesinde $\Omega_m = 0.3$, $\Omega_\Lambda = 0.7$ ve $H_0 = 75$ km sn⁻¹ Mpc⁻¹ olarak alınmıştır.)

1. Giriş

Galaksilerdeki yıldız oluşumları; galaksilerdeki şekil bozuklukları; galaksiler arası etkileşimler, çarpışmalar, birleşmeler araştırılmaya devam eden güncel konulardır. Özellikle galaksiler yoğun bölgelere girdiklerinde yıldız oluşumlarının neden durduğu hala tam olarak açıklanamamıştır. Galaksi morfoloji-yoğunluk ilişkisi, galaksilerin morfolojik tipleri(Hubble tipleri) ile galaksilerin buldukları çevreler arasındaki gözlemsel olarak hesaplanmış bir ilişkidir. Morfoloji-yoğunluk ilişkisinin evrimsel açıdan farklı kırmızıya kayma(z) değerleri için nasıl değiştiğinin araştırılması, galaksilerin oluşum ve evrimlerinin ve galaksilerin buldukları çevre ile olan etkileşimlerinin anlaşılmasında, galaksilerde yıldız oluşumu ve sonlanması mekanizmalarının açıklanmasında önemli bir yol göstericidir.

Yeni tarama projeleri, çok sayıda galaksiyi farklı uzaysal çözünürlükte ve farklı dalga boylarında çalışmamıza imkan sağlamaktadır. Bu sayede galaksileri evrimsel olarak inceleyebilmektedir.

Bu çalışmada, yakın zamanda tamamlan CFHTLS projesi tarafından elde edilen ve kırmızıya kayması $0.2 < z < \sim 1.3$ kadar olan galaksiler kullanıldı. Otomatik olarak morfolojik sınıflandırma yapılabilmesi için literatürde sıklıkla kullanılan GALFIT programı seçildi. Programın model yaklaşımındaki analitik özellikleri, veriler ve yöntemler kısmında açıklanmıştır. Çok sayıda galaksinin hızlı bir şekilde morfolojik özelliklerini belirlenmesi için paralel hesaplama yapabilen ve küme bilgisayarlar

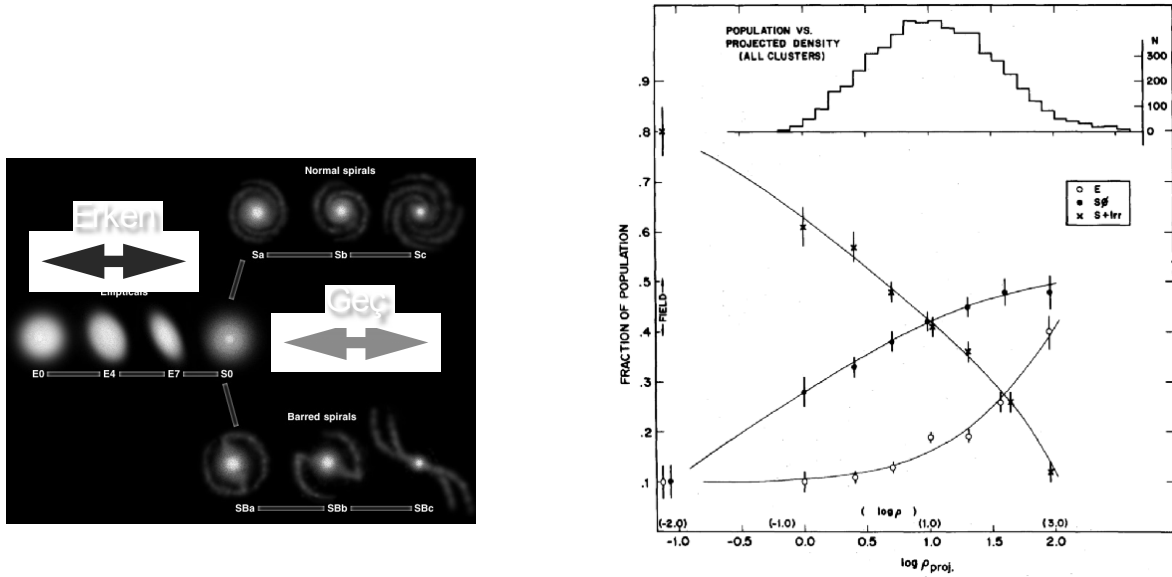
çalışan paralel algoritmalar geliştirildi. Geliştirilen algoritmalar, açık kaynak kodlu paralel hesaplama yönetim sistemi olan “OAR mimarisi” üzerinde denendi.

Morfolojik tanımlanması yapılacak ~1 milyon CFHTLS galaksisi için ilk testler, CFHTLS tarama projesinin W1 alanından seçilmiş 25 adet galaksi üzerinde, farklı analitik fonksiyonlar kullanılarak gerçekleştirildi. Seçilen galaksilerin görüntülerinde bulunan ve galaksinin görüntüsüne etki edebilecek cisimler geliştirilen maskeleyme yöntemi ile profil modelleme aşamasında çıkarıldı. Sonuçlar GALFIT programının modelin duyarlılığına dair verdiği χ^2 sonuçları olarak verilmiştir.

2. Galaksi Morfoloji-Yoğunluk İlişkisi

Dressler (1980) tarafından ortaya konulan galaksi morfolojisi-yoğunluk ilişkisi, galaksilerin morfolojik tipleri(Hubble tipleri) ile galaksilerin buldukları çevreler arasındaki gözlemsel olarak hesaplanmış bir ilişkidir.

Geç tip galaksiler, kümelerde ya da yoğun bölgelerde bulunmazken alan galaksisi olarak bulunurlar; erken tipler ise kümelerde daha sıklıkla bulunurken alanda seyrek olarak bulunurlar.



Resim – 1: Soldaki panel Hubble sınıflaması. Sağdaki panel galaksi morfolojisi- yoğunluk ilişkisi(Dressler 1980A), spiral elliptik ve S0 galaksileri için gösterilmektedir.

Galaksi morfoloji-yoğunluk ilişkisinin farklı kırmızı kayma değerlerine bağlı olarak evrimsel incelenmesi, galaksilerin oluşum ve evrimleri açısından oldukça önemli ipuçları sağlamaktadır. Özellikle alanda ve kümelerde bulunan galaksilerin yapısal özellikleri, çevresel etkilerden nasıl etkilendiği, galaksilerin içindeki yıldız oluşum mekanizmalarının doğasının anlaşılmasına yarar sağlayabilmektedir.

3. Veriler ve Yöntem

Bu çalışmada 3.6m’lik CFHT (Canada-France-Hawaii Telescope)’de gerçekleştirilmiş olan CFHT-LS(Legacy Survey) taraması verileri kullanılmıştır.

CFHT-LS taraması için 1° derece karelik görüş alanına sahip 36 adet 2048x4617 piksel CCD'den oluşmuş, 340 megapikselliik “MegaCam” mozaik kamerası kullanılmıştır. u,g,r,i,y,z bantları ile yapılan CFHTLS, toplamda 170X170 derecekarelik geniş(wide) ve derin(deep) alanlara sahip bir tarama projesidir. CFHTLS ile kırmızıya kayma $0.1 < z < \sim 1.3$ değerleri aralığına ulaşılmıştır.

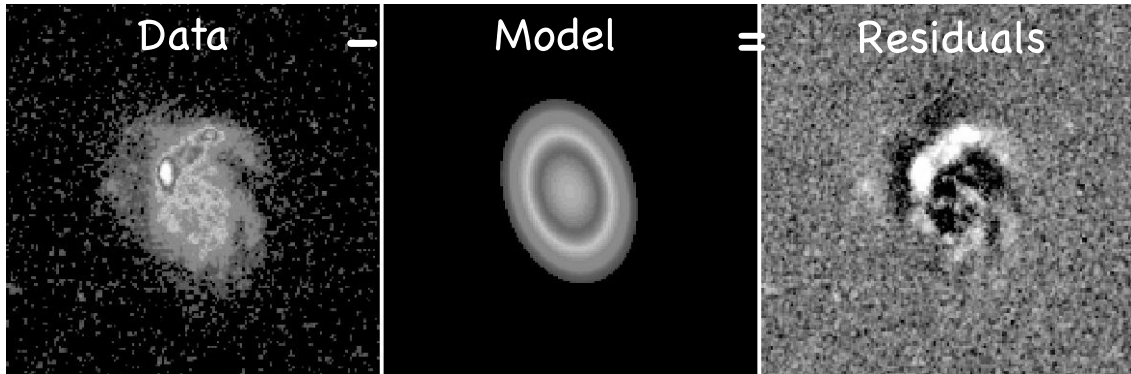
CFHT-LS galaksileri incelenbilmesi için çok sayıda parametreyi içerisine alan bir protokol izlenmiştir. CFHT-LS galaksi katalog bilgilerinin elde edilmesi, görüntü birleştirilmesi, her bir galaksi için küçük görüntülerin(cut-out) oluşturulması, PSF'lerin oluşturulması, görüntüler üzerindeki çevresel etkiler için maskeleye yapılması, yüzey parlaklık profillerinin elde edilmesi, vb., işleri paralel hesaplama ile otomatik olarak yapan ve OAR mimarisi üzerinde çalışan bir algoritma geliştirilmiştir.

3.1 GALFIT Programı

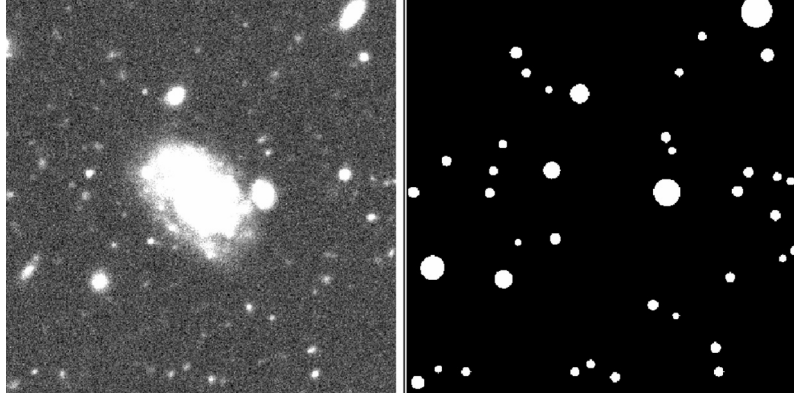
GALFIT, galaksilerin yüzey parlaklık dağılımını analitik fonksiyonlar (Sersic fonksiyonu, exponansiyel disk, gaussian vb.) ile modelleyen bir programdır.

$$\chi^2_\nu = \frac{1}{N_{DOF}} \sum_{x=1}^{n_x} \sum_{y=1}^{n_y} \frac{(f_{data}(x,y) - f_{model}(x,y))^2}{\sigma(x,y)^2}, \quad \Sigma(r) = \Sigma_e \exp \left[-\kappa \left(\left(\frac{r}{r_e} \right)^{1/n} - 1 \right) \right]$$

Figür -1 : GALFIT modelin doğruluğu ve duyarlılığı için χ^2 minimizasyonu kullanılmaktadır (Denklem 1 – sol panel). Sersic fonksiyonu, literatürde bilinen ve eliptik galaksilerin yüzey modellenmesinde kullanılan bir analitik fonksiyondur (Denklem 2 – sağ panel).

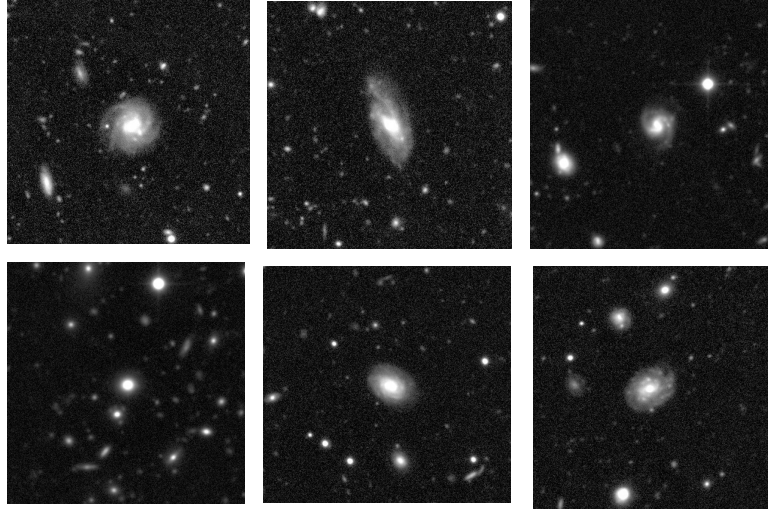


Resim – 2: GALFIT model çözümü. 1. Panel’de örnek bir galaksi görülmektedir. 2. Panelde bu galaksi için programın vermiş olduğu model gösterilmektedir. 3. Panelde ise model ile gözlem arasındaki fark verilmiştir.



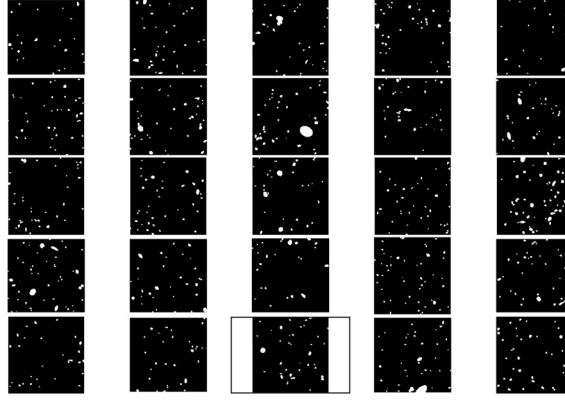
Resim 3: Maskleme. GALFIT için geliştirilen ve modelleneyecek galaksinin(sol panel) çevresel etkilerden arındırılması için oluşturulan maske(sağ panel).

Geliştirilen paralel algoritmalar, 48 çekirdekli bir küme bilgisayar kullanılarak açık kaynak kodlu OAR mimarisinde test edilmiştir. Bu test için 25 adet CFHTLS galaksisi tüm yüzeyi bakış doğrultusunda olacak şekilde seçilmiştir. Resim – 4 ‘de görüldüğü gibi her bir galaksi için küçük görüntüler oluşturulmuştur. Her bir galaksi görüntüsü için ilgili maskeleri oluşturulmuştur (Resim – 5). Geliştirilen algoritmaya bağlı olarak GALFIT çözümleri elde edilmiştir (Resim – 6).

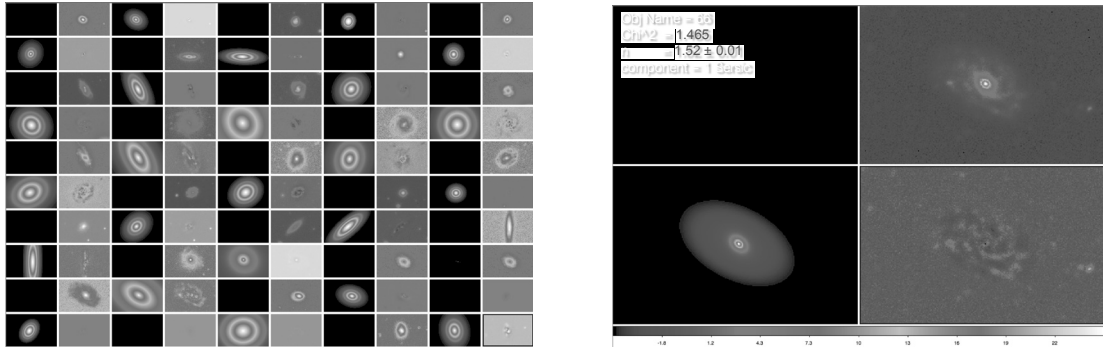


Resim – 4 : Test için seçilmiş 25 CFHT-LS galaksisinden bazıları görülmektedir.

Seçilmiş CFHT-LS galaksileri için maskleme ya da PSF kullanarak ve kullanmadan gerçekleştirilen testler Tablo – 1’de verilmektedir.



Resim – 5 : 25 test galaksisi için oluşturulan maskeler



Resim – 6 : 25 test galaksisinin GALFIT sonuçları. Sağ panel tüm GALFIT sonuçlarını göstermektedir. Sol panel sadece bir galaksi için GALFIT model sonucunu ve artıkları (residuals) göstermektedir.

No	Obj.	TC_masking	TC_w/o_masking	OC_masking	OC_w/o_masking
1	12	3.179	46.682	3.564	47.052
2	39	2.448	8.664	2.54	8.755
3	43	1.463	2.916	1.486	3.13
4	66	1.257	1.629	1.465	1.834
5	81	8.279	3.971	1.481	4.17
6	88	77.329	355.787	77.616	355.795
7	90	20.968	300.192	20.837	298.698
8	91	1.699	-	1.687	2.854
9	100	1.174	23.937	1.369	2.626
10	102	18.434	21.801	18.533	21.807
11	117	21.621	-	1.875	19.342
12	123	1.946	19.994	10.628	18.794
13	126	1.276	1.387	1.288	1.411
14	141	3.348	18.395	3.565	51.419
15	152	1.428	2.354	2.863	33.818
16	226	2.133	15.689	1.93	15.77
17	227	1.259	2.707	1.277	2.674
18	234	1.32	4.572	1.507	4.753
19	276	1.222	3.19	1.388	3.355
20	280	-	7.791	2.364	8.077
21	293	6.854	50.99	4.589	38.842
22	379	58.768	-	15.519	78.172
23	427	5.86	57.132	3.135	57.13
24	494	1.431	2.294	1.432	2.295
25	495	7.274	15.923	7.274	15.923

Tablo – 1: 25 CFHT-LS test galaksisi için GALFIT χ^2 sonuçları. “masking” ile başlayan kolonlar maskeleme ile, “w/o masking” kolonları ise maskeleme olmadan elde edilen test sonuçlarıdır.

4. Tartışma ve Sonuç

Seçilmiş 25 CFHT-LS test galaksisi için elde edilen sonuçlar, literatürdeki χ^2 sonuçları ile karşılaştırıldığında uygun oldukları gözlenmiştir. Özellikle galaksilerin morfolojilerini elde etmek için kullandığımız GALFIT programı için maskeleye uygulandığında χ^2 sonuçlarının iyileştiği görüldü.

Oluşturulan algoritmanın testleri ve geliştirilmesi devam etmektedir. Bu sayede çok sayıda galaksinin otomatik olarak çalışabilmesi sağlanacaktır. Varsayılan azami galaksi sayısı 1 milyon mertebesindedir.

Çok sayıda galaksinin otomatik olarak morfolojilerinin tanımlanması, morfoloji-yoğunluk ilişkisinin çalışılmasına imkan tanımaktadır. Aynı zamanda CFHT-LS gökyüzü taraması farklı kırmızıya kayma değerlerinde galaksileri de çalışmamıza imkan sağladığından, evrimsel açıdan CFHT-LS 'in sınırları çerçevesinde galaksilerin evrimsel süreçleri incelenmesi planlanmaktadır.

5. Kaynaklar

1. Dressler (1980)
2. STIFF (Bertin 2010)
3. SExtractor (Bertin 1996)
4. PSFex (Bertin 2011)
5. GALFIT (Peng 2002)
6. fitsio(<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/fitsio/>)
7. OAR(oar.imag.fr)

Bu doktora çalışması, 1059B141100066 kod numaralı TÜBİTAK - 2214 Yurtdışı Araştırma Bursu ile desteklenmiştir.