

Galaksi Kümelerindeki Merkezi Parlak Galaksilerin Etkinlik Türlerine Göre Sınıflandırılması

Süleyman Fişek^{1,2}★, Sinan Aliş^{1,2}, E. Kaan Ülgen¹, F. Korhan Yelkenci¹

¹İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul, Türkiye.

²İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul, Türkiye.

Özet

Çalışmamızın amacı, galaksi kümelerinin merkezinde yer alan ve evrendeki en parlak ve en büyük kütleli galaksiler olan merkezi parlak galaksilerin (Brightest Cluster Galaxy - BCG) etkinlik türlerine göre sınıflandırılmasıdır. Çalışma kapsamında, SDSS (Sloan Digital Sky Survey) gökyüzü tarama verileri kullanılarak Hao ve diğ. (2010) ve Wen ve diğ. (2009) tarafından sunulan BCG katalogları ile birlikte CFHTLS (Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Surve) Derin alanlarından belirlenen (Aliş 2009) BCG'ler birleştirilmiştir. Sonuçta elde ettiğimiz 42.490 galaksinin SDSS optik bölge tayf verileri kullanılarak BPT; WISE kırmızıöte fotometrik parlaklıkları kullanılarak iki renk diyagramları oluşturulmuş ve bu yolla galaksilerin etkinlik türleri belirlenmiştir. Ayrıca, tayf verisini elde edebildiğimiz 5569 merkezi parlak galaksinin $H\alpha$ emisyon çizgileri kullanılarak yıldız oluşum hızları (Star Formation Rate - SFR) hesaplanmış ve yıldız oluşum hızlarının kırmızıya kayma (z) ile değişimi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: galaxies: general, Samanyolu, Galaksiler, Kozmoloji

1 Giriş

Galaksi türleri içinde en parlak ve en büyük kütleyle sahip galaksiler olan BCG'ler, genellikle yoğun galaksi kümelerinin merkezinde veya küme merkezinin yakınında bulunurlar (Jones ve Forman 1984; Smith ve diğ. 2005). Merkezi parlak galaksilerin çoğu kırmızı eliptik galaksilerdir ve bu galaksilerde yıldız oluşum aktivitesi neredeyse durmuştur (Edwards ve diğ. 2007). BCG'lerin evrim süreçleri hala tam olarak anlaşılmamış olsa da; küme içi etkileşimlerin yoğun olduğu yerde bulunan bu galaksilerin oluşum sürecinde galaksi-galaksi etkileşimlerinin ve galaksi birleşmelerinin etkili olduğu düşünülmektedir (Edwards ve diğ. 2007).

Küme içerisinde gerçekleşen bu etkileşimler sonucunda BCG'lerin yıldız oluşum aktivitesi oranında, kümede bulunan diğer eliptik galaksilerden farklı olarak bir artış gözlenebilir (Pipino ve diğ. 2009; O'Dea ve diğ. 2008; Liu ve diğ. 2012). BCG'lerdeki yıldız oluşum aktivitesinin araştırılması bize kırmızıya kaymanın bir fonksiyonu olarak kümenin ve ortamın evrimini anlamamız konusunda yardımcı olabilir.

2 Veriler

Bu çalışma kapsamında incelenen BCG'ler iki farklı veri setinden derlenmiştir. Olsen ve diğ. (2007) tarafından CFHTLS-Derin gökyüzü tarama projesinden beş bant (u, g, r, i, z) görüntüleri kullanılarak belirlenen 159 galaksi kümesi için yapılan inceleme sonucunda Aliş ve ark. tarafından belirlenen 89 BCG (Aliş 2009; Aliş ve diğ. 2012) ilk veri setimizi oluşturmaktadır.

Çalışmamızda kullanılan ikinci veri setini ise SDSS gökyüzü taramasından galaksi kümelerini ve BCG'leri belirleyen Hao ve diğ. (2010) ve Wen ve diğ. (2009) çalışmaları oluşturmuştur. Wen ve diğ. (2009) tarafından verilen listede SDSS DR6 verileri kullanılarak $0,05 < z < 0,6$ aralığında 39.716 galaksi kümesi belirlenmiştir. Hao ve diğ. (2010) ise DR7 verilerini kullanarak $0,1 < z < 0,55$ aralığında 55.427 galaksi kümesi

listelenmiştir. Bu iki liste arasında ortak olan galaksi kümeleri dikkate alınarak listeler birleştirildiğinde toplam galaksi kümesi sayısı 82.164'tür. İki farklı veri setini birleştirdiğimizde ise çalışma kapsamında incelenen toplam BCG sayısı 82.253 olmaktadır.

Bu çalışmada incelenen galaksilerin etkinlik türlerinin belirlenebilmesi ve yıldız oluşum hızlarının (SFR) hesaplanabilmesi için gerekli tayfsal veriler ($H\alpha$ [6562], $H\beta$ [4861], OIII[5006], OI[6300], NII[6583], SII[6716] emisyon çizgi akıları ve tayfsal kırmızıya kayma) SDSS DR12¹ veri sürümünde bulunan *emissionLinesPort* tablosundan alınmıştır.

Hao ve diğ. (2010) ve Wen ve diğ. (2009) tarafından verilen listelerden derlenen 82.164 galaksilik girdi kataloğumuz, veritabanında tayf gözlemi olan 42.265 galaksi ile eşleşmiştir. CFHTLS-Derin verilerinden belirlenen ve 89 BCG'den oluşan listemizdeki galaksilerin 25'ine ait tayfsal veriler elde edilebilmiştir. Sonuç olarak toplamda 42.490 BCG'nin tayfsal verilerine ulaşılabilmektedir.

SDSS veri tabanından elde edilebildiğimiz tayflarının kalitesini anlayabilmek için, tayfın genelinden hesaplanan sinyal/gürültü oranı (S/N) ile akı hataları incelenmiştir. Bu kapsamda ilk olarak akı değerlerinin sıfırdan büyük olması şartı uygulanmıştır. Ayrıca $H\alpha$ başta olmak üzere geriye kalan tayflara ait çizgi akılarını incelediğimizde, ilgilendiğimiz çizgilerin akı ve akı hatası değerlerinde veriyolu (İng. pipeline) kaynaklı birçok yanlış belirlenimin olduğu farkedilmiştir. Bu durumun sonucu olarak analizlerde kullanılacak tayflar için bazı filtreleme işlemleri uygulanmıştır.

Bu çalışmadaki örnekleme, daha yüksek tayf kalitesi ile çalışmak için akı hata değerinin akı değerine oranı %50'den daha küçük ve $S/N > 15$ olan galaksiler olarak belirledik. Bu filtreleme işlemi sonucunda örnekleminizde BPT diyagramı için uygun 143 ve SFR değeri hesaplayabileceğimiz ($F(H\alpha) > 0$ olan) 1137 galaksi bulunmaktadır.

Literatürdeki benzer çalışmalarda SDSS tayflarının $S/N >$

★ sfisek@istanbul.edu.tr

¹ <http://www.sdss.org/dr12/>

3 olanları tercih edilmektedir. Bu S/N değeri, çoğu galaksi dışı astronomi çalışması için yeterli olmaktadır (Liu ve diğ. 2012). Eğer filtreleme işlemini $S/N > 3$ uygulayarak örnekteki galaksi sayısını arttırmak istersek elimizde BPT diyagramı için uygun 410 ve SFR değeri hesaplayabileceğimiz ($F(H\alpha) > 0$ olan) 5613 galaksi olacaktır.

Bu çalışmada kullanılan kırmızıöte fotometrik veriler ise WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer) uydusunun tüm gökyüzünü taraması olan AllWISE kataloğundan elde edilmiştir.

NASA'nın Kırmızıöte Bilimsel Arşiv (NASA/IPAC Infrared Science Archive²)'inde çalışmada incelenen galaksilerin koordinatları (RA ve Dec) ile AllWISE veri seti için tarama yapılarak, galaksilerin W1, W2, W3 ve W4 kırmızıöte parlaklıkları elde edilmiştir.

3 Yöntem

3.1 Galaksilerin Etkinlik Türlerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada incelenmek üzere belirlenen BCG'lerin etkinlik türlerini belirlemek için iki farklı yöntem uygulanmıştır.

BPT Diyagramı:

İlk yöntem BPT (Baldwin Phillips ve Terlevich 1981) diyagramıdır. Bu diyagramda galaksilerin tayflarındaki $H\alpha$ [6562], $H\beta$ [4861], $OIII$ [5007], OI [6300], NII [6583], SII [6717] emisyon çizgi akıları kullanılarak galaksilerin etkinliklerine göre sınıflandırılması mümkün olmaktadır. Ayrıca BPT diyagramı literatürde galaksilerin yıldız oluşum aktivitesi gösterip göstermediğini belirlemek için de kullanılan bir araçtır.

WISE İki Renk Diyagramı:

WISE uydusu ile elde edilen fotometrik verilerden, W1 (3,4 μ) ve W2 (4,6 μ) bantları galaksilerin yıldız kütlelerine, W3 (12 μ) bandı ise galaksilerin yıldız oluşum miktarlarına duyarlıdır (Cluver ve diğ. 2014; Fraser-McKelvie ve diğ. 2014).

Cluver ve diğ. (2014) çalışmalarında GAMA¹ tayfsal gökyüzü taraması verileri ile WISE verilerini eşleştirmişler ve 110.000'den fazla galaksinin kırmızıöte özelliklerini incelemişlerdir. Buna göre WISE uydusu ile elde edilen kırmızıöte fotometrik verilerle $(W2 - W3) - (W1 - W2)$ iki renk diyagramı oluşturulduğunda $W2 - W3 > 1,5$ olan galaksilerin çoğunlukla yıldız oluşumu gösterdiklerini belirtmişlerdir.

3.2 Yıldız Oluşum Hızı (SFR) Hesaplanması

$H\alpha$ emisyon çizgisi, galaksilerdeki yıldız oluşumunu belirlemenin en güvenilir ve en çok kullanılan araçlardan biridir. Bir galaksi tayfında emisyon olarak görülen $H\alpha$ çizgisi, o galaksidede gerçekleşmekte olan yıldız oluşumuna ait bir göstergedir.

Bu çalışmada incelediğimiz galaksilerin yıldız oluşum hızları, Kennicutt (1998) tarafından verilen (1) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SFR(M_{\odot}/\text{yıl}) = 7,9 \times 10^{-42} \times L(H\alpha) \quad (\text{ergs}^{-1}) \quad (1)$$

Öncelikle SDSS'ten elde ettiğimiz emisyon çizgi akıları $H\alpha$ ışınım gücüne dönüştürüldü. Bunu yapabilmek için gereken uzaklık değerini, galaksilerin spektroskopik kırmızıya kaymasını kullanarak elde ettik. Genel kabul gören Λ CDM kozmolojisi çerçevesinde $\Omega_m = 0,3$, $\Omega_{\Lambda} = 0,7$ ve $H_0 = 70$ km/s/Mpc alınarak, kırmızıya kaymanın karşılık geldiği ışınım gücü uzaklığı belirlenmiştir (Hogg 1999). Bu uzaklık hesaplamalarını Ned

Wright'ın kozmoloji hesap makinasının² Python versiyonu kullanılarak yapılmıştır (Wright 2006). Bu Python programı kendi yazdığımız SFR hesabı yapan programın içerisine uyarlanarak kullanılmıştır (Fişek 2018).

Uzaklıkları elde ettikten sonra gerekli birim dönüşümleri de yapılmış akı değerleri (2) eşitliği ile ışınım gücü değerlerine dönüştürülmüştür:

$$L(H\alpha)(\text{ergs}^{-1}) = 4\pi d^2 \times F(H\alpha)(\text{ergcm}^{-2}\text{s}^{-1}) \quad (2)$$

$H\alpha$ ışınım güçlerini hesaplandıktan sonra her bir galaksi için (1) bağıntısı yardımıyla yıldız oluşum hızları hesaplanmıştır.

SFR değerlerinin hatasız ve tüm galaksiler için otomatik hesaplanabilmesi için bir Python kodu hazırlanmıştır. Kodun doğruluğunu kontrol etmek için Liu ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmadaki akı değerleri kullanılmış ve çalışmada sunulan SFR değerleri elde edilmiştir.

4 Bulgular

4.1 Türlerine Göre BCG'ler

BPT Diyagramına Göre:

Bu çalışmada incelediğimiz galaksiler için Şekil 1'de $S/N > 15$ olan tayflardan üretilen BPT diyagramı verilmektedir. Bu diyagramda 143 galaksi etkinlik türlerine göre gösterilmektedir.

Şekil 1'de kompozit sınıf galaksiler SF ve AGN olan galaksilerin arasında bulunurlar. Ayrıca "ambiguous" olarak sınıflanan galaksiler $[NII]/H\alpha$ diyagramında AGN olarak sınıflandırılırken, $[SII]/H\alpha$ veya $[OI]/H\alpha$ diyagramlarında Seyfert veya LINER olarak sınıflanan galaksilerden oluşmaktadır. Tüm bu sınıfların haricinde BPT diyagramının tanımsız olduğu çizgi akı oranlarına sahip galaksiler de bulunmaktadır. Bu galaksiler çalışmada "Diğer" galaksiler olarak belirtilmiştir.

WISE Diyagramına Göre:

Bu bölümde, BPT diyagramına göre sınıflanmış galaksiler, Şekil 2'de WISE iki renk diyagramında gösterilmiştir. BPT diyagramında bulunan $S/N > 15$ olan galaksilerden 18 tanesinin WISE parlaklıkları ölçümediğinden, bu galaksiler iki renk diyagramında kullanılamamıştır. Ayrıca BPT diyagramında SF olarak belirlenen galaksilerin tamamı WISE iki renk diyagramına göre de SF olarak belirlenmiştir.

4.2 BCG'lerin Yıldız Oluşum Hızları

Galaksiler için yapılan SFR hesaplamaları sonucu gerçek olamayacak kadar yüksek hesaplanan SFR değerlerinin de elenmesiyle 5569 ($S/N > 3$) ve 1136 ($S/N > 15$) galaksinin SFR değerleri kullanılabilir olarak belirlenmiştir. Bu galaksiler için elde edilen SFR değerlerinin histogramı Şekil 3(a)'da gösterilmektedir.

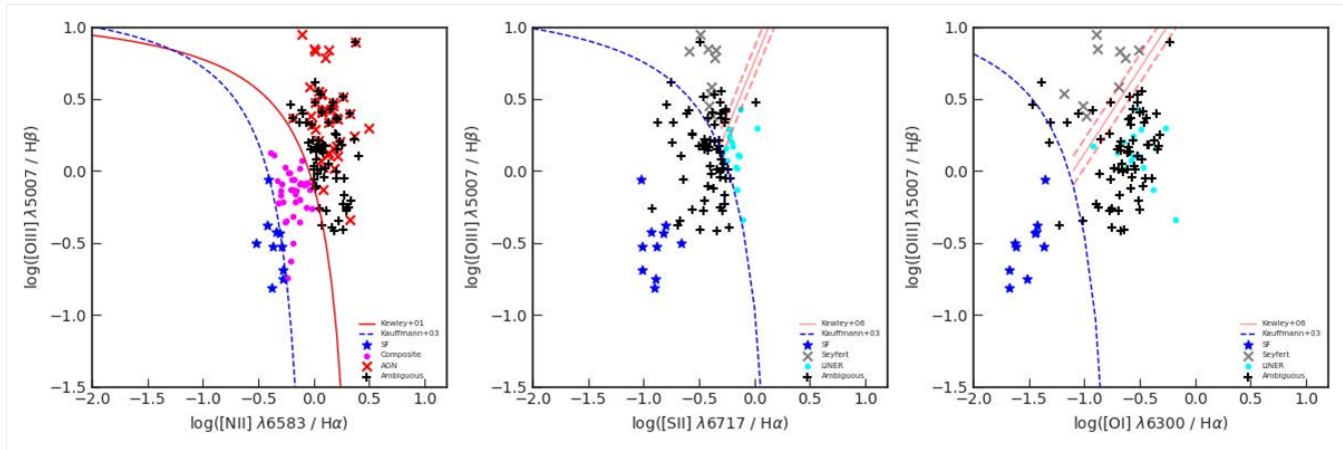
SFR - z İlişkisi:

Yıldız oluşum hızlarının kırmızıya kayma ile değişimini daha net görebilmek için, 0,1 adımlık kırmızıya kayma aralıkları için ortalama SFR değerleri hesaplanmıştır. Belirlenen 0,1 adımlık kırmızıya kayma aralıklarının herhangi birinde 10'dan daha az sayıda galaksi varsa bu galaksilerin SFR değerleri ortalama ve standart sapmalar hesaplanırken dikkate alınmamıştır. Bu değerler kullanılarak oluşturulan ve SFR değerinin kırmızıya kaymanın bir fonksiyonu olarak gösterildiği grafik Şekil 3(b)'de verilmiştir.

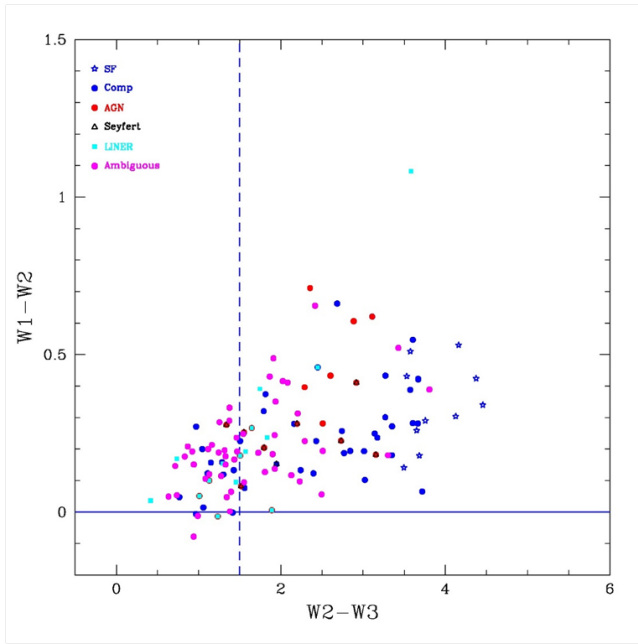
² <http://irsa.ipac.caltech.edu/Missions/wise.html>

¹ <http://www.gama-survey.org>

² <http://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html>



Şekil 1. Akı hatası %50'den düşük ve $S/N > 15$ olan galaksiler için oluşturulmuş BPT diyagramı. BPT diyagramlarında, mavi yıldızlar yıldız oluşumu gösteren galaksileri (SF), pembe noktalar kompozit galaksileri (Comp), kırmızı çarpılar AGN'leri, gri çarpılar Seyfert galaksilerini, turkuaz çarpılar LINER galaksilerini ve siyah artılar ise "ambiguous" galaksileri göstermektedir.



Şekil 2. Akı hatası %50'den düşük ve $S/N > 15$ olan galaksiler için oluşturulmuş WISE iki renk diyagramı. Kesikli çizgi $W2 - W3 = 1,5$ değerini belirtmektedir. Grafikte galaksiler BPT sınıflarına göre işaretlenmiştir.

5 Tartışma ve Sonuç

Yapılan bu çalışmada CFHTLS ve SDSS gökyüzü tarama projelerinden belirlenmiş galaksi kümelerinin merkezi parlak galaksilerinin yıldız oluşum etkinlikleri araştırılmış ve merkezi parlak galaksiler etkinlik türlerine göre iki farklı yöntem ile sınıflandırılmıştır.

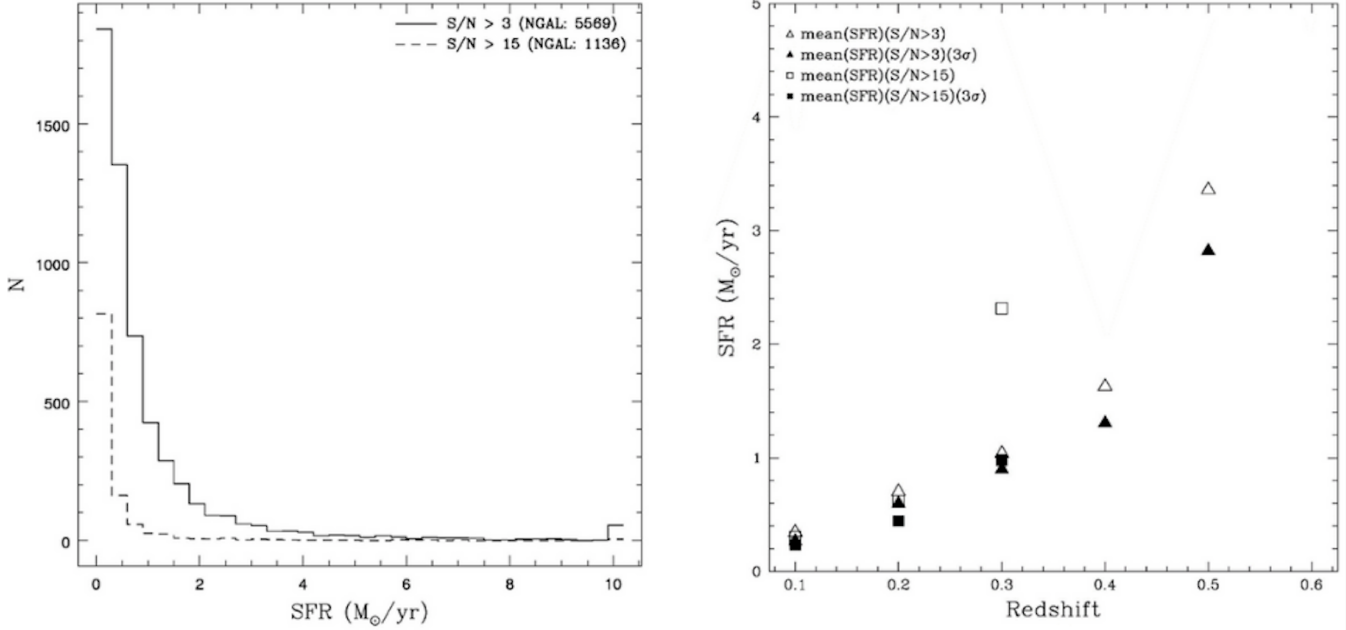
Genel olarak BCG'lerin SFR değerlerinin kırmızıya kayma ile büyük bir değişim göstermediğini söylemek mümkün olabilir. Benzer bir bulgu, bu çalışmayla yaklaşık aynı kırmızıya kayma aralığındaki 42 BCG üzerinde yaptıkları çalışmada **Cooke ve diğ. (2016)** tarafından da gösterilmiştir. Ancak daha önce

Şekil 3(b)'de de gösterildiği gibi, 3σ 'nın dışında kalan galaksiler atıldıktan sonra elde edilen SFR ortalamalarının kırmızıya kayma ile azaldığı görülmektedir. Bu durum evrende büyük ölçekte görülen değişim ile uyumludur (**Madau ve Dickinson 2014**). Bununla birlikte, BCG'lerin buldukları ortamlar nedeniyle bu genel eğilimin dışında bir davranış göstermeleri de beklenebilir.

SDSS ile elde edilen tayfların $z \sim 0,4$ 'ten sonra pek etkin kullanılmadığı veya çok net sonuç vermediği görülmektedir fakat halihazırda, SDSS'ten daha büyük çaplı bir teleskop ile yürütülen bir tayfsal gökyüzü taraması yoktur. Ancak yakın gelecekte daha büyük teleskoplarla yapılacak tayfsal gökyüzü tarama projeleri ile yüksek kırmızıya kaymaya sahip çok sayıda galaksinin yıldız oluşum hızlarını incelemek ve bunların kozmik zamanla nasıl değiştiğini araştırmak mümkün olacaktır.

Kaynaklar

- Alis, S.: Evolutionary Effects on Brightest Cluster Galaxy (BCG) Detections in the CFHTLS-Deep Fields. Publications de l'Observatoire Astronomique de Beograd 86 (2009) 309.
- Aliş, S., Yelkenci, K., Benoist, C., Limboz, F.: CFHTLS'den Seçilmiş Galaksi Kümelerinin Merkezi Parlak Galaksileri. XVIII. Ulusal Astronomi Kongresi Bildiri Kitabı (2012) s. 345.
- Baldwin, J. A., Phillips, M. M., ve Terlevich, R.: Classification Parameters for The Emission-Line Spectra of Extragalactic Objects. Publications of the Astronomical Society of the Pacific (1981) 93, 5.
- Cluver, M. E., Jarrett, T. H., Hopkins, A. M., ve diğ.: Galaxy and Mass Assembly (GAMA): Mid-infrared Properties and Empirical Relations from WISE. The Astrophysical Journal (2014) 782 90.
- Cooke, K. C., O'Dea, C. P., Baum, S. A., ve diğ.: Star Formation in Intermediate Redshift $0.2 < z < 0.7$ Brightest Cluster Galaxies. The Astrophysical Journal (2016) 833 224.
- Edwards, L. O. V., Hudson, M. J., Balogh, M. L., ve Smith, R. J.: Line emission in the brightest cluster galaxies of the NOAO Fundamental Plane and Sloan Digital Sky Surveys. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (2007) 379 100.
- Fişek, S.: Galaksi Kümelerindeki Merkezi Parlak Galaksilerde Yıldız Oluşum Aktivitesi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2018) Ulusal Tez Merkezi No:522540
- Fraser-McKelvie, A., Brown, M. J. I., ve Pimblet, K. A.: The Rarity of Star Formation in Brightest Cluster Galaxies as Measured



Şekil 3. (a) Hesaplanan SFR değerlerinin dağılımı ($SFR < 10 M_{\odot}/\text{yıl}$ için). Düz çizgi $S/N > 3$ olan galaksileri, kesikli çizgi ise $S/N > 15$ olan galaksileri göstermektedir. (b) Akı hatası %50'den düşük ve $S/N > 3$ ile $S/N > 15$ olan galaksilerin SFR ortalamasının kırmızıya kayma ile değişimi. İçi boş üçgenler $S/N > 3$ olan galaksiler için, içi boş kareler ise $S/N > 15$ olan galaksiler için ortalama SFR değerini göstermektedir. İçi dolu semboller sırasıyla aynı büyüklüklerin 3σ dışında kalan galaksiler atıldıktan sonraki değerlerini göstermektedir.

- by WISE. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (2014) 444 L63.
- Hao, J., McKay, T. A., Koester, B. P., ve diğ.: A GMBCG Galaxy Cluster Catalog of 55,424 Rich Clusters from SDSS DR7. The Astrophysical Journal Supplement Series (2010) 191 254.
- Hogg, D. W.: Distance Measures in Cosmology. (1999) arXiv:astro-ph/9905116.
- Jones, C., ve Forman, W.: The structure of clusters of galaxies observed with Einstein. The Astrophysical Journal (1984) 276 38.
- Kennicutt, R. C., Jr.: Star Formation in Galaxies Along the Hubble Sequence. Annual Review of Astronomy and Astrophysics (1988) 36 189.
- Liu, F. S., Mao, S., ve Meng, X. M.: Star Formation Activities in early-type Brightest Cluster Galaxies. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (2012) 423 422.
- Madau, P., ve Dickinson, M.: Cosmic Star-Formation History. Annual Review of Astronomy and Astrophysics (2014) 52 415.
- O'Dea, C. P., Baum, S. A., Privon, G., ce diğ.: An Infrared Survey of Brightest Cluster Galaxies. II. Why are Some Brightest Cluster Galaxies Forming Stars?. The Astrophysical Journal (2008) 681 1035.
- Olsen, L. F., Benoist, C., Cappi, A., ve diğ.: Galaxy Clusters in The CFHTLS. First Matched Filter Candidate Catalogue of The Deep Fields. Astronomy & Astrophysics (2007) 461 81.
- Pipino, A., Kaviraj, S., Bildfell, C., ve diğ.: Evidence For Recent Star Formation in BCGs: a Correspondence Between Blue Cores and UV Excess. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (2009) 395 462.
- Smith, G. P., Kneib, J.-P., Smail, I., ve diğ.: A Hubble Space Telescope lensing survey of X-ray luminous galaxy clusters - IV. Mass, structure and thermodynamics of cluster cores at $z=0.2$. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (2005) 359 417.
- Wen, Z. L., Han, J. L., Liu, F. S.: Galaxy Clusters Identified from

- the SDSS DR6 and Their Properties. The Astrophysical Journal Supplement Series (2009) 183 197.
- Wright, E. L.: A Cosmology Calculator for the World Wide Web. The Publications of the Astronomical Society of the Pacific (2006) 118 1711.

Erişim:

O44-1630: [UAK-2018 Program](#) — [UAK Bildiri](#) — [Turkish J.A&A](#).