

Abell 1589 Gökada Kümesinin Optik Işınım Gücü Fonksiyonu

Ebru Aktekin Çalışkan¹ *, Murat Hudaverdi² 

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Isparta, Türkiye

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, İstanbul, Türkiye

Accepted: April 12, 2023. Revised: December 13, 2022. Received: November 6, 2022.

Özet

Bu çalışmada düzensiz görünümde olan ve dinamik süreci devam eden Abell 1589 ($z=0.0709$) gökada kümesinin TUG-RTT150 Teleskobu optik çalışması sunulmuştur. Küme üyesi her bir gökadanın ($20 \leq M_r \leq 23$) g' , r' ve i' filtrelerinde parlaklık değerleri elde edilmiştir ve $(g'-r')$ - r' renk-parlaklık diyagramı sunulmuştur. Her bir filtre için ışınım gücü fonksiyonları (Luminosity Function-LF) elde edilmiştir. Elde edilen LF'lerin Schechter+Schechter fonksiyonu ile uyumlu olduğu görülmüştür. Karakteristik mutlak parlaklıklar olarak elde edilen Schechter+Schechter fonksiyonunun en uygun parametre değerleri, g' , r' ve i' filtrelerinde sırasıyla, -20.02 ± 0.06 ve -18.73 ± 0.01 , -20.91 ± 0.05 ve -20.34 ± 0.02 , -21.57 ± 0.06 ve -21.05 ± 0.06 ve sönük uçtaki eğimler ise -1.58 ± 0.06 ve -0.74 ± 0.02 , -1.65 ± 0.04 ve -0.78 ± 0.02 , -1.62 ± 0.04 ve -0.78 ± 0.04 olarak elde edilmiştir.

Abstract

The optical photometric observations with the Russian-Turkish 1.5-m RTT-150 telescope are presented for Abell 1589 ($z=0.0709$), an irregular galaxy cluster in a dynamical state. Magnitudes of each cluster member galaxy ($20 \leq M_r \leq 23$) determined for the g' , r' and i' filters and presented the $(g'-r')$ vs r' color-magnitude diagram of Abell 1589. We generated the Luminosity Function (Luminosity Function-LF) of galaxies for each filter. For each filter, the resulting LF of cluster galaxies is well-fitted by the Schechter+Schechter Function. The best-fitting parameter values derived as the characteristic absolute magnitudes are -20.02 ± 0.06 and -18.73 ± 0.01 , -20.91 ± 0.05 and -20.34 ± 0.02 , -21.57 ± 0.06 and -21.05 ± 0.06 and the slope at the faint end of the LF are -1.58 ± 0.06 and -0.74 ± 0.02 , -1.65 ± 0.04 and -0.78 ± 0.02 , -1.62 ± 0.04 and -0.78 ± 0.04 for g' , r' and i' filters, respectively.

Anahtar Kelimeler: galaxies: clusters: individual – galaxies: general – galaxies: photometry

1 Giriş

Gökada kümeleri evrenin bilinen en büyük yapılarıdır. İçerik olarak 50'den fazla gökada, küme içi ortamı dolduran ve hidrostatik dengede olan sıcak iyonize gaz ve karanlık madde ihtiva ederler. Boyutları ve dinamik yapıları nedeniyle evreni en iyi temsil eden yapılarıdır. Optik dalga boyunda ve X-ışını bölgesinde sonuçlarının birlikte çalışılarak yapılan çalışmalar ve elde edilen sayısal simülasyonları ile küme oluşumu hakkında ayrıntılı bilgiler edinilebilmektedir (Turner ve diğ. 2022; Erdim ve diğ. 2021; McCleary ve diğ. 2020). Ayrıca optik dalga boyunda yapılan gökada kümelerinin ayrıntılı analizleri, kümelerdeki gökada içeriğinin ve dağılımının araştırmasına olanak sağlamaktadır.

Bilindiği üzere optik dalga boyunda ışınım gücü fonksiyonu (luminosity function – LF) belirli bir hacimde belirli bir parlaklığa sahip olan gökadaların sayısını vermektedir ve Gökadaların LF'leri gökada oluşumu ve evrimi teorilerini test etmek için en önemli araçtır. LF ile ilgili ilk çalışma 1974'te Press & Schechter (1974) tarafından yapılmıştır (Feng ve diğ. 2014). 1976 yılında Schechter (1976) tarafından LF için veriler ile uyumlu olan matematiksel ifade türetilmiştir. Bond ve diğ. (1991) tarafından sunulan ve Schechter (1976) teorisinin yenilenmiş ve genişletilmiş teorisi ile aşırı yoğunlukların doğrudan hiyerarşik kümelenmesi, gözlemlenen Schechter benzeri LF, kendine benzer bir kütle dağılımının başlangıcından

ve evriminden sorumludur. Schechter fonksiyonu şu şekilde verilmektedir:

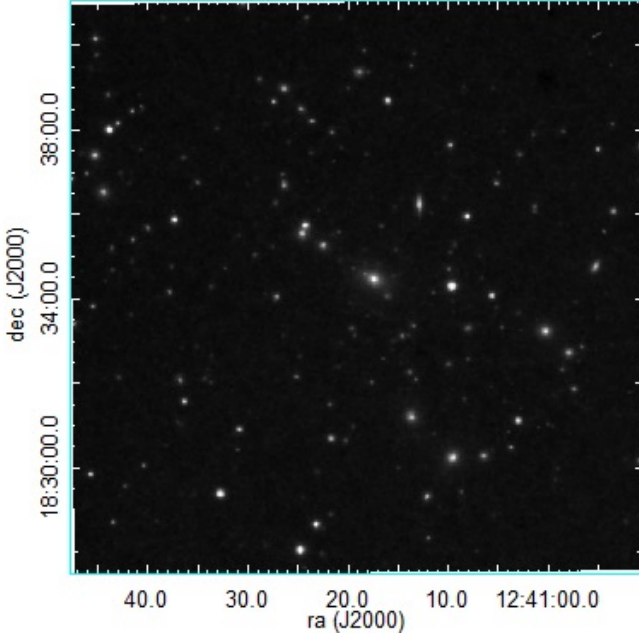
$$\Phi(M)dM = \Phi^* 10^{0.4(M^* - M)(1 + \alpha)} \exp \left[-10^{0.4(M^* - M)} \right] dM \quad (1)$$

Burada, $\Phi(M)d(M)$ bir dM aralığında gökada sayısı, Φ^* Mpc^{-3} biriminde genel gökada yoğunluğu, α ışınım gücü fonksiyonunun sönük ucunun eğimi ve M^* karakteristik gökada mutlak parlaklığıdır.

Gökadaların LF'lerinin dağılımları kümelerdeki sönük gökada birleşmelerinden etkilenir. LF'lerden aynı zamanda bu etkileri karakterize etmek için yararlanılmaktadır. Bazı gökada kümelerinin LF'lerinde düşüşler ve artışlar görülmektedir (Durret ve diğ. 2011).

Abell 1589 (A1589), $z=0.0709$ kırmızıya kaymaya, $RA(J2000)=12^h 41^m 19^s.1$, $DEC(J2000)=+18^\circ 34' 16''$ ekvatorial koordinatlarına sahip ve 294 Mpc uzaklıkta bulunan yakın bir gökada kümesidir. Dinamik süreci devam etmesi nedeniyle düzensiz görünümündedir (Rines ve diğ. 2016). Abell ve diğ. (1989) tarafından zenginlik sınıfı 0, Baier ve Wipper (1995) tarafından Bautz-Morgan II-III sınıfı ve Rood-Sastry C tipi olarak belirlenmiştir. X-ışını çalışmaları ile Kopylov ve Kopylova (2012) kümenin kütlelerini $7.9 \times 10^{14} M_\odot$ ve virial yarıçapını $R_{200}=1.86$ Mpc (22.06'), White ve diğ. (1997) ışınım gücünü $L_x(0.4-4.5 \text{ keV})=2.91 \times 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$ ve Hudaverdi (2014) ortalama sıcaklık değerini $kT = 4.2 \text{ keV}$ ve merkez bölge

* ebrucaliskan@sdu.edu.tr



Şekil 1. A1589 gökada kümesine ait r' filtresindeki alınan tüm görüntülerin mozaik yapılmış görüntüsü. Küme üyesi gökadalara şekil üzerinde mavi halkalar ile gösterilmiştir. Kırmızı halka R_{500} yarıçapını göstermektedir.

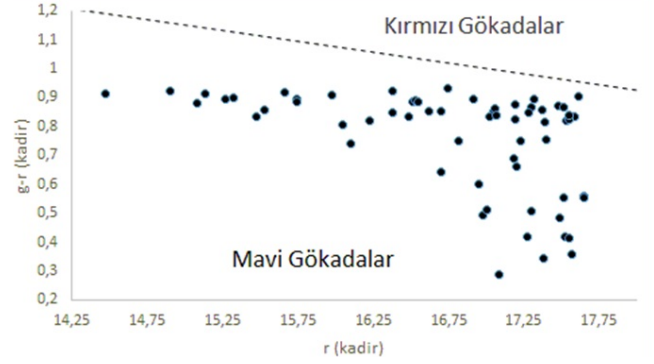
çevresinde kimyasal bolluk değerini ortalamadan önemli ölçüde yüksek olarak yaklaşık 0.5 bulmuştur.

Bu çalışmada, A1589 gökada kümesinin RTT 150 teleskobu ile alınan optik verilerine ait bir çalışmasını sunuyoruz. Ş2'de, çalışma kapsamında yapılan gözlemler ve veri analizleri verilmiştir. Ş3'te elde edilen sonuçlar ve tartışma kısmı yer almaktadır.

2 Gözlemler ve Veri Analizi

A1589 gökada kümesinin optik görüntüleme gözlemleri TÜBİTAK-TUG'da bulunan 1.5 metrelik Rus-Türk Teleskobu (RTT150) ile 31 Mart 2020'de yapılmıştır. Gözlemler boyunca TFOSC (TUG Sönük Nesne Tayfölçeri ve Kamerası) kullanılmıştır. TFOSC'a ait Andor CCD kamera (Andor iKon-L DZ936N, BEX2-DD-9ZQ) 2048x2048 pikseldir, piksel boyutu $13.5 \times 13.5 \mu\text{m}$ ve 11.1×11.1 açı dakikası görüş alanına sahiptir. Gece boyunca atmosferik görüş (seeing) 1.8 açısaniesidir.

Açısal büyüklüğü nedeniyle gözlem için A1589 kümesi 11.1×11.1 açı dakikalık 9 bölgeye ayrılmıştır ve her bölge ayrı ayrı gözlenmiştir. Gözlemlerde her bir bölge için SDSS sistemindeki g' , r' ve i' filtreleri ile 3×900 sn poz süreli optik görüntüler alınmıştır. Standart yıldız olarak Feige 34 gözlenmiştir (Massey ve diğ. 1988). Gözlem verilerinin analizi için Image Reduction and Analysis Facility (IRAF) ve görüntüleme için DS9 programları kullanılmıştır. Tüm veriler için öncelikle standart önindirgeme adımları olarak Bias ve Flat düzeltmeleri yapılarak görüntüler dış etkilerden arındırılmıştır. Daha sonra bölgelerin birleştirilmesi için mozaik yapılmıştır. Örneğimizde beklenen çok sayıda galaksi göz önüne alındığında, kaynaklar Source Extractor (SExtractor) yazılım yardımcı programı aracılığıyla otomatik olarak çıkarılmıştır. SExtractor, kalabalık ortamlarda bulunan kaynaklar için konum ve fotometrik bilgileri ayıklamak için otomatik bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca bu çalışmada



Şekil 2. Küme üyesi gökadalara için $(g'-r')$ - r' renk-parlaklık diyagramı.

Küme üyeliğini doğrulamak için, SDSS-DR8 (Rykoff ve diğ. 2014) veri tabanından redMaPPer Algoritması ile yalnızca kırmızıya kayması bilinen galaksileri seçilmiştir. Diğer örnekleri de test ettik ve tutarlı sonuçlar bulduk. Bu işlem A1589 içinde yer alan tüm gökadalara tam olarak sınıflandırılmasına sağlamıştır (3σ) (Bertin & Arnouts 1996). Küme üyesi olarak belirlenen tüm gökadalara aletsel parlaklık değerleri "nokta dağılım fonksiyonu (PSF-Point Spread Function) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. PSF'yi normalleştirmek için referans açıklığı 6 ark saniye olarak ayarladık. Aletsel parlaklıklarının standart fotometrik sistemdeki parlaklıklara dönüştürülmesi işlemi için gözlenen standart yıldız kullanılmıştır. Her bir kaynak için kadir değerleri Vegamag sisteminde elde edilmiştir. Galaktik sönümlenme etkisi çıkartılmamıştır. Şekil 1'de RTT150 ile alınan ve mozaik yapılan r' filtre görüntüsü ve üzerinde belirlenen gökadalara gösterilmiştir.

Küme üyesi gökadalara için belirlenen parlaklık değerleri kullanılarak renk-parlaklık diyagramı $(g'-r')$ - r' elde edilmiştir. Elde edilen renk-parlaklık diyagramı Şekil 2'de görülmektedir.

g' , r' ve i' filtreleri için LF'ler elde edilmiştir. Her üç filtre için g' 'de $M = -20.52$ kadir, r' 'de $M = -21.47$ kadir ve i' 'de $M = -21.80$ kadir civarında LF'de belirgin düşüş ve tekrar artış görülmektedir. Bu nedenle dağılımı ifade etmek için tek bir Schechter fonksiyonu yeterli olmamıştır. Çift Schechter fonksiyonu ile uyum, doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi ile gradyan genişletme algoritması kullanan eğri uyum işlevine dayalı bir IDL kodu kullanılarak gerçekleştirildi. LF'lerin, çift Schechter fonksiyonu ile uyumlu olduğu görülmüştür. Elde edilen LF'ler ve uygulanan çift Schechter fonksiyonları g' , r' ve i' filtreleri için Şekil 3'te verilmiştir.

Uygulanan Schechter+Schechter fonksiyonları için en uygun parametreler M^* karakteristik mutlak parlaklık ve α sönük uçtaki eğim Çizelge 2'de görülmektedir. Her bir LF için χ^2/dof değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

3 Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada dinamik süreci devam etmekte, bu nedenle düzensiz görünümde olan A1589 gökada kümesinin RTT150 optik gözlemlerine ait bir çalışması sunulmuştur. İlk olarak A1589 gökada kümesi, açısal boyutu neden ile bölgelere ayrılmıştır. Her bir bölgeye ait g' , r' ve i' filtrelerinde görüntüleme verileri alınmış ve mozaik yapılarak her bir filtreye ait görüntü elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci adımında küme üyesi 63 gökada tespit edilmiştir. Her bir gökadanın g' , r' ve i' filtrelerinde parlaklık

Çizelge 1. g' , r' ve i' filtreleri için LF Parametreleri. M^* karakteristik mutlak parlaklık ve α sönük uçtaki eğimdir ve χ^2 / dof değerleri de verilmiştir.

Filtre	M^*	α	χ^2 / dof
g	-20.02 ± 0.06	-1.58 ± 0.06	6.75/7
	-18.73 ± 0.01	-0.74 ± 0.02	
r	-20.91 ± 0.05	-1.65 ± 0.04	6.93/7
	-20.34 ± 0.02	-0.78 ± 0.02	
i	-21.57 ± 0.06	-1.62 ± 0.04	6.68/7
	-21.05 ± 0.06	-0.78 ± 0.04	

değerleri bulunmuştur. Bulunan parlaklık değerleri kullanarak küme üyesi gökadarlar için ($g'-r'$)- r' renk-parlaklık diyagramı elde edilmiştir.

Çalışmanın üçüncü adımı olarak küme birleşmelerinin gökada özellikleri üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması için g' , r' ve i' filtrelerindeki LF analiz edilmiştir ve her 3 filtre için LF'ler elde edilmiştir. Şekil 3'te g' , r' ve i' filtrelerindeki gökadarların mutlak parlaklık dağılımları olan LF'ler her bir filtre için ayrı ayrı görülmektedir. LF'lerde g' filtresinde $M=-20.52$ kadir, r' filtresinde $M=-21.47$ kadir ve i' filtresinde $M=-21.80$ kadir civarında belirgin düşüş ve ardından tekrar artış görülmektedir. Bu durum LF'nin iki modlu bir davranış sergilediğini göstermiştir ve iki bileşenli fonksiyon ile tanımlamak daha uygun olmuştur. Bu nedenle dağılımı ifade etmek için çift Schechter fonksiyonu uygulanmıştır.

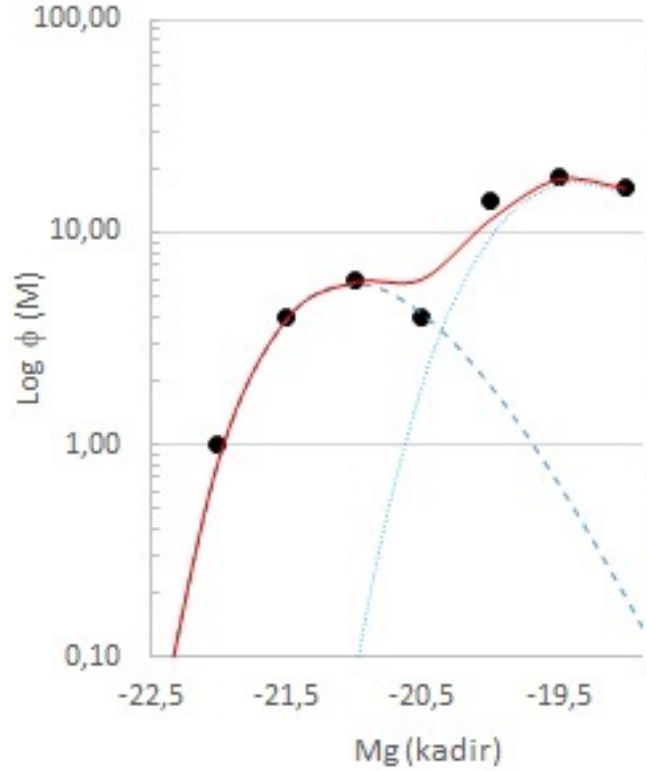
Literatürdeki çalışmalarda da yakın kümelerin LF'lerinde belirgin düşüş ve ardından tekrar artış görülmekte ve iki modlu fonksiyon uygulanmaktadır (Agulli ve diğ. 2014; Durret ve diğ. 2011). Dolayısıyla elde ettiğimiz A1589'a ait g' , r' ve i' filtrelerindeki belirgin düşüş ve ardından tekrar artış beklenen bir durumdur. Bu benzerlik, kümelerde aynı morfolojik türden gökadarlar ve dağılımlarından kaynaklanmaktadır.

Her bir filtre için iki modlu fonksiyon olarak belirlenen çift Schechter fonksiyonunun en uygun parametreleri (karakteristik mutlak parlaklık ve sönük uçtaki eğim) elde edilmiştir. Uyum, χ^2 minimizasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Çift Schechter parametrelerinin optimal değerlerini veren en iyi χ^2 'yi elde edene kadar işlem yinelenmiştir. Çizelge 2'de her bir filtre için elde edilen karakteristik mutlak parlaklık M^* , sönük uçtaki eğim α ve χ^2 değerleri özetlenmiştir.

Bu çalışmada, her bir filtrede elde edilen parametrelerin tümü literatür ile uyumlu sonuçlardır. LF'nin şekli büyük ölçüde küme merkezinden uzaklığa ve galaksi yoğunluğuna bağlıdır. Bu nedenle A1589'a ait çalışmalar devam etmektedir. Küme bölümlere ayrılarak daha yoğun olan ve nispeten daha az yoğun olan kısımlarda LF' değişimi karşılaştırılacaktır. Bu çalışmanın bir sonraki adımı benzer özelliklere sahip seçilmiş gökada kümelerine benzer işlemler uygulanarak kümelerin ortak özelliklerinin araştırılmasıdır.

Teşekkür

Gözlemler TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) bulunan RTT150 teleskobu kullanılarak yapılmıştır. Gözlem projesine verilen destekten dolayı TUG'a teşekkür ederiz (Proje no: 16ARTT150-958)



Şekil 3. g' , r' ve i' filtreleri için LF'leri. Dikey eksen 0.5 kadir'lik aralıklarda gökada sayılarıdır. Elde edilen en iyi uyum eğrileri için çift Schechter fonksiyonu kırmızı çizgi ile, parlak uça ve sönük uça ayrı ayrı Schechter fonksiyonları mavi keskinlik çizgileri ile gösterilmiştir. Sırasıyla $M=-20.52$ kadir, $M=-21.47$ kadir ve $M=-21.80$ kadir civarında belirgin düşüş ve artış görülmektedir.

Kaynaklar

- Abell, G. O., Corwin R. P., Olowin, R. P.: A Catalog of Rich Clusters of Galaxies. *Astrophysical Journal Supplement*, 70 (1989) 1–138. <https://doi.org/10.1086/191333>
- Agulli, I., Aguerri, J. A. L., Sánchez-Janssen, R., Barrera, R., Diaferio, A., Serra, A. L., Méndez-Abreu, J.: Deep spectroscopic luminosity function of Abell 85: no evidence for a steep upturn of the faint-end slope. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 444 (2014) 1, L34–L38 <https://doi.org/10.1093>
- Baier F.W., Wipper H.: Compilation of nearby northern Abell clusters ($z < 0.1$) with central dominant galaxies. *Astronomische Nachrichten*. 316 (1995) 319–365 doi:10.1002/asna.2103160510
- Bertin, E., Arnouts, S.: SExtractor: Software for source extraction. *Astronomy and Astrophysics Supplement*. 117 (1996) 393–404 doi:10.1051/aas:1996164
- Bond, J. R., Cole, S., Efstathiou, G., Kaiser, N.: Excursion Set Mass Functions for Hierarchical Gaussian Fluctuations: *Astrophysical Journal*, 379 (1991) 440–460 doi:10.1086/170520
- Durret, F., Adami, C., Cappi, A., ve diğ.: Galaxy cluster searches based on photometric redshifts in the four CFHTLS Wide fields, *Astronomy and Astrophysics*. 535, (2011) 65–80, doi:10.1051/0004-6361/201116985
- Erdim M.K., Ezer C., Ünver O., Hazar F., Hudaverdi M.: The relative supernovae contribution to the chemical enrichment history of Abell 1837. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 508 (2021), 3337–3344 doi:10.1093/mnras/stab2730
- Feng, L., Peng-fei, Y., Qi-rong Y.: Luminosity Function of The Galaxy Cluster Abell 85. *Chinese Astronomy and Astrophysics*. 38 (2014) 247–256. <https://doi.org/10.1016/j.chinastron.2014.07.003>

- Hudaverdi M.: Dynamical History of the A1589 Cluster of Galaxies: The X-ray Universe 2014, edited by Jan-Uwe Ness. Online at <http://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton/2014-symposium/>, id.260
- Kopylov A.I., Kopylova F.G.: Structure of clusters with bimodal distribution of radial velocities of galaxies. IV: A1569. *Astrophysical Bulletin*. 67 (2012) 17–28 doi:10.1134/S1990341312010026
- Massey P., Strobel K., Barnes J.V., Anderson E.: Spectrophotometric Standards. *Astrophysical Journal*. 328 (1988), 315–333 doi:10.1086/166294
- McCleary J., dell'Antonio I., von der Linden A.: Dark Matter Distribution of Four Low-z Clusters of Galaxies. *The Astrophysical Journal*. 893 (2020) 8–24 doi:10.3847/1538-4357/ab7c58
- Press, W. H., Schechter P.: Formation of Galaxies and Clusters of Galaxies by Self-Similar Gravitational Condensation Show affiliations, *Astrophysical Journal*. 187 (1974). 425–435, doi:10.1086/152650
- Rines K.J., Geller M.J., Diaferio A., Hwang H.S.: HeCS-SZ: The Hectospec Survey of Sunyaev–Zeldovich-Selected Clusters. *The Astrophysical Journal*. 819 (2016) 63–75 doi:10.3847/0004-637X/819/1/63
- Rykoff E. S., Rozo E., Busha M. T., Cunha C. E., Finoguenov A., Evrard A., Hao J., et al., 2014, *ApJ*, 785, 104. doi:10.1088/0004-637X/785/2/104
- Schechter, P.: An analytic expression for the luminosity function for galaxies. *The Astrophysical Journal*. 203 (1976) 297–306 doi:10.1086/154079
- Turner, D.J., Giles, P.A., Romer, A.K., Wilkinson, R., Upsdell, E.W., Klein, M., ve diğ.: The XMM Cluster Survey: an independent demonstration of the fidelity of the eFEDS galaxy cluster data products and implications for future studies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 517 (2022) 657–674. doi:10.1093/mnras/stac2463.
- White, D.A., Jones, C., Forman, W.: An investigation of cooling flows and general cluster properties from an X-ray image deprojection analysis of 207 clusters of galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 292 (1997) 419–476 doi:10.1093/mnras/292.2.419

Access:

M23-0343: [Turkish J.A&A](#) — Vol.4, Issue 3.