NGC 7556 Galaksisinin X-ışın Özelliklerinin Araştırılması

Ebru Aktekin Çalışkan¹ • *

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Fizik Bölümü, İsparta 32000, Türkiye

Accepted: June 1, 2025. Revised: June 1, 2025. Received: May 26, 2025.

Özet

Fosil gruplar (FG'ler), tek bir dev eliptik galaksinin baskın olduğu, parlak ve geniş X-ışını yayınımı yapan sistemlerdir. FG'lerin oluşum süreci ve FG'lerde oluşan en parlak galaksilerin (BCG) yapısı henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Bu çalışmada, RXC J2315.7-0222 fosil grubunun merkezi parlak galaksisi olan NGC 7556'nın X-ışın özellikleri, Suzaku uydusunun yaklaşık 15 ks'lik gözlemleri ile ilk kez incelenmiştir. NGC 7556'nın sıcaklık değişimi incelendiğinde, soğuk çekirdekli bir sistem olduğu belirlenmiştir. Merkezden dışa doğru elektron yoğunluğu ve basınç azalırken, entropinin arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar benzer sistemlerle karşılaştırılmıştır.

Abstract

Fossil groups (FGs) are bright and extended X-ray emitting systems dominated by a single giant elliptical galaxy. The formation process of FGs and the structure of the brightest galaxies (BCGs) formed in FGs are not yet fully understood. In this study, the X-ray properties of NGC 7556, the central bright galaxy of the fossil group RXC J2315.7-0222, were examined using approximately 15 ks of observations from the Suzaku satellite, for the first time. An analysis of the temperature profile indicates that this source is a cool-core system. Electron density and pressure decrease outward from the center, while entropy increases. These findings were then compared with those from similar systems.

Anahtar Kelimeler: X-rays: galaxies: clusters – X-rays: ISM – X-rays: individual: NGC 7556

1 Giriş

Galaksi grupları ve kümeleri, evrenin oluşumunu incelemede önemli bir rol oynamaktadır. Son yıllarda yapılan X-ışını gözlemleri, yüksek çözünürlüklü tayflara dayanarak, gruplar ve kümelerdeki küme-içi ortamının (ICM) sıcaklık ve metal bolluğu gibi dağılımlarını ölçme imkanı sağlamıştır. Bu sayede, bu yapıların kimyasal geçmişi ve evrimi hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir (Allen ve diğ. 2011; Sato ve diğ. 2014).

Fosil gruplar (FG'ler), bir galaksi grubu türü olarak ilk kez Ponman ve diğ. (1994) tarafından önerilmiştir. Yazarlar, RX J1340.6+4018 adlı görünüşte izole bir galaksinin, galaksi gruplarına özgü bir X-ışını halosu ile çevrili olduğunu keşfetmiştir. Bu bulgu, tüm parlak galaksilerin merkezi galaksiyle birleşmesine yetecek kadar uzun bir süre geçmiş olan, eski bir galaksi grubunun fosil kalıntısı olabileceği fikrini ortaya koymuştur. FG'lerin sayısındaki artış, gözlemsel özelliklerinin daha belirgin hale gelmesini sağlamıştır. Özellikle, birçok çalışma sıcak küme-içi bileşenlerinin özelliklerine odaklanmıştır (Sato ve diğ. 2010; Zarattini ve diğ. 2014). Ancak, FG'lerin olusum mekanizması ve FG'lerdeki en parlak galaksilerin yapısı henüz tam olarak çözülememiştir. FG'lerin merkezi bölgelerini sistematik bir şekilde incelemeyi amaçlayan çalışmalar, bu sistemlerin çoğunun soğuk merkezi bölgelere sahip olduğunu ortaya koymuştur (Bharadwaj ve diğ. 2016). Soğuk merkezi bölgelerin özelliklerinin, FG'lerin oluşumları ve evrimleri hakkında hangi ipuçlarını sunduğu sorusu ise literatürde hala tartışılmaktadır. FG'ler ile FG olmayan sistemler arasındaki fiziksel farklılıkların anlaşılmasında, her iki türün X-

ışını özelliklerinin incelenmesi önemli katkılar sağlayabilir (Chu ve diğ. 2023; Zarattini ve diğ. 2023).

NGC 7556, soğuk merkezli eliptik bir galaksidir ve RXC J2315.7-0222 adlı bir FG sisteminin baskın galaksisidir. NGC 7556'nın temel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. RXC J2315.7-0222 sisteminin XMM-Newton gözlemleri ile ışınım gücü $L_{\rm X} \sim 2.1 \times 10^{43}$ erg s⁻¹, kütlesi $M_{500} \sim 5.4 \times 10^{13} {\rm M}_{\odot}$, sıcaklığı $kT \sim 1.7$ keV ve yarıçapı $R_{500} \sim 569$ kpc olarak ölçülmüştür (Démoclès ve diğ. 2010).

Corsini ve diğ. (2018) uzun yarık tayfsal gözlemler kullanarak NGC 7556 üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Araştırmaları, NGC 7556'nın bir disk yerine sönük ve dönmeyen bir küresel zarf içinde yer aldığını ortaya koymuştur. Ayrıca, galaksinin geri kalanına kıyasla belirgin şekilde daha genç ve metal açısından daha zengin olan, orta yaşlı bir merkezi yoğunlaşmış yıldız popülasyonuna sahip olduğunu göstermişlerdir.

Bu çalışmada, Suzaku (Mitsuda ve diğ. 2007) X-ışın verisi kullanılarak NGC 7556'da plazma sıcaklığı, element bollukları ve ışınım gücü belirlenmiştir. Ayrıca, NGC 7556'nın merkez bölgesinden başlayarak dışa doğru elektron yoğunluğu, basınç ve entropi değişimleri araştırılmıştır. §2'de Suzaku gözlemi ve veri indirgeme yöntemleri açıklanmış, §3'te analizler ve elde edilen bulgular sunulmuş ve §4'te sonuçlar tartışılmıştır.

2 X-ışın Gözlemi ve Veri İndirgeme

NGC 7556, Suzaku uydusunun X-ışın Görüntüleme Tayfölçeri (X-ray Imaging Spectrometer, XIS: Koyama ve diğ. 2007) üzerindeki üç CCD (XIS0, 1 ve 3) ile 22 Kasım 2014 tarihinde yaklaşık 15 ks poz süresi ile gözlenmiştir (Gözlem no: 809109010, PI: L. Lovisari). Bu çalışmada XIS0 ve 3 verisi kullanılmıştır.

^{*} ebrucaliskan@sdu.edu.tr

Çizelge 1. Galaksi NGC 7556'nın temel özellikleri. Kaynaklar: (1):
Migkas ve diğ. (2020), (2): NASA/IPAC Extragalactic Database,
(3): de Vaucouleurs ve diğ. (1991), (4): Démoclès ve diğ. (2010).

Özellik	Değer	Kaynak
(<i>l</i> , <i>b</i>)	(76°.065, -56°.279)	(1)
z	0.025	(2)
Tür	S0-	(3)
Açısal Uzaklık D_A (Mpc)	99.2	(2)
(α, δ) RXC J2315.7-0222	(23 ^h 15 ^m 44 ^s .4, -02°22′54.′′4)	(4)

Bu gözlem verisi, NASA'nın HEASARC sayfasından indirilmiştir. X-ışını analizleri, HEASoft (v.6.32.1) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, .evt uzantılı dosyadan görüntü ve tayf oluşturulmasında xselect, görüntü düzenlemelerinde ise DS9 programı kullanılmıştır. Tayf modellemesi, xspec (v.12.9.0) (Arnaud 1996) ve xspec içindeki modellerle yapılmıştır. Plazmadaki element bolluklarının hesaplanmasında Wilms ve diğ. (2000) tarafından verilen tablo ve AtomDB (v.3.0.9) (Smith ve diğ. 2001; Foster ve diğ. 2012) temel alınmıştır.

3 Analiz ve Bulgular

3.1 Görüntü ve tayf analizleri

NGC 7556'nın 0.3-10 keV enerji aralığındaki X-ışın görüntüsü Şekil 1'in üst panelinde verilmiştir. Bu görüntüde, beyaz renkli halkalar tayf analizi için seçilen bölgeleri göstermektedir. Her bir halka eş merkezlidir ve içten dışa 1', 2', 3' ve 4' yarıçaplardadır. Alt panelde ise; bölgeyi karşılaştırmak amacıyla NGC 7556'nın SDSS optik görüntüsü sunulmuştur.

Tayf analizleri için öncelikle 60 açısaniyesi yarıçaplı ve merkez koordinatları RA $(J2000)=23^{h}15^{m}42^{s}58$ ve Dec $(J2000)=-02^{\circ}22'53''.27$ olan merkezi bölge belirlenmiştir (bkz. Şekil 1, sol panel). Bu bölgeyi merkez alarak, 3 ek halka daha seçilmiş ve toplamda 4 bölgenin tayf analizi gerçekleştirilmiştir.

Arka plan analizi için şu adımlar takip edilmiştir: (1) Aynı gözlem verisinde, Şekil 1'de yeşil renkli halka ile gösterilen en dıştaki alan arka plan bölgesi olarak seçilmiştir. (2) Aletsel X-ışın arka planı xisrmfgen (Tawa ve diğ. 2008) komutu kullanılarak oluşturulmuş ve arka plan için seçilen bölgeden çıkarılmıştır. (3) X-ışın arka planı için; Samanyolu halesi, kozmik X-ışın arka planı ve yerel sıcak kabarcık etkisi gözönüne alınmıştır. (4) Bu üç etkiyi tanımlayacak şekilde tayf modelemesi yapılmış ve fakeit komutu ile arka plan tayfı oluşturulmuştur. Bu tayf analizin devamında arka plan olarak kullanılmıştır.

Her bir halkanın tayfına xspec altında bulunan bazı modeller (vmekal, vapec ve power-law) uygulanmıştır. Ayrıca bu modellerin ikili kombinasyonları da denenmiştir. Her bir modele soğurmayı temsilen tbabs (Wilms ve diğ. 2000) modeli de eklenmiştir.

Fit işlemlerinde Galaktik soğurma $N_{\rm H}$ parametresi 3.44×10^{20} cm⁻² değerine sabitlenmiştir. Bu değer, Willingale ve diğ. (2013) metodunu temel alan nhtot aracı ile hesaplanmıştır. Tayflarda baskın olarak görünen Si ve Fe element bollukları serbest bırakılmıştır. Serbest bırakılan diğer parametreler ise sıcaklık ve normalizasyon parametreleridir. Uygulanan her bir modelin gözlem verisiyle uyumu, üç temel kriter dikkate alınarak değerlendirilmiştir: (1) İndirgenmiş-



Şekil 1. Üst panel: NGC 7556'nın 0.3-10 keV enerji aralığındaki XIS3 görüntüsü. XIS görüş alanı yaklaşık $18 \times 18'$ dir. Merkezden itibaren 4 halka tayf analizi için seçilen bölgeleri göstermektedir. Beyaz renk ile gösterilen her bir halka eş merkezli ve içten dışa 1', 2', 3' ve 4' yarıçaplarda seçilmiştir. En dışta yeşil renk ile gösterilen halka ise arka plan (background) için seçilen bölgeyi temsil etmektedir. Bu bölgede yer alan parlak bir kaynak (kırmızı çizgili küçük yeşil halka) ise kapatılarak analizlere dahil edilmemiştir. Alt panel: NGC 7556'nın SDSS optik görüntüsü.

 χ^2 değeri, (2) Model parametrelerinin fiziksel olarak kabul edilebilir aralıklar içinde yer alması, (3) error komutu kullanılarak hesaplanan parametre hata aralıklarının anlamlı ve istatistiksel olarak güvenilir olması. Uygulanan modeller içerisinde bu kriterler doğrultusunda en iyi uyumu tbabs*vapec modeli vermiştir. Bu modelin verdiği sonuçlar Çizelge 2'de sunulmuştur. Belirlenen her bir bölge için elde edilen XIS tayfları ise Şekil 2'de gösterilmiştir.

12 Çalışkan, E. A.

Çizelge 2. NGC 7556'nın Suzaku verisine istatistiksel olarak en iyi uyum gösteren model (tbabs*vapec) parametreleri ve %90 güven aralığında hesaplanan hata değerleri. Analiz aşamasında serbest parametre olarak belirlenmiş Si ve Fe element bolluk değerleri Güneş bolluk değeri cinsinden verilmiştir. Diğer elementlerin bolluk değerleri ise 1 (Güneş bolluk değeri) olarak bırakılmıştır. Galaktik soğurma $N_{\rm H}$ parametresi 3.44×10^{20} cm⁻² değerine sabitlenmiştir. Norm parametresinin birimi $10^{-14}/(4\pi [D_{\rm A}(1+z)]^2) \int n_{\rm e} n_{\rm H} dV$ olarak verilmektedir. Burada $D_{\rm A}$ kaynağın açısal uzaklığı, $n_{\rm e}$ ve $n_{\rm H}$ sırasıyla elektron ve hidrojen yoğunlukları, V ise X-ışın yayan bölgenin hacmidir.

Bölge	kT (keV)	Si	Fe	Norm $(10^{-3} \text{ cm}^{-2})$	$\chi^2_{ u}$ (dof)
0-1' 1-2' 2-3' 3-4'	$1.48^{+0.14}_{-0.13}\\ 1.70^{+0.19}_{-0.13}\\ 1.99^{+0.20}_{-0.17}\\ 2.81^{+0.26}_{-0.21}$	$\begin{array}{c} 1.63^{+1.03}_{-0.84} \\ 1.65^{+0.93}_{-0.76} \\ 1.76^{+1.12}_{-1.03} \\ 1 \text{ (sabit)} \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.49\substack{+0.22\\-0.24}\\ 0.57\substack{+0.25\\-0.19}\\ 1.10\substack{+0.41\\-0.33}\\ 1.65\substack{+0.74\\-0.55}\end{array}$	$1.11^{+0.16}_{-0.14}\\1.64^{+0.15}_{-0.16}\\1.52^{+0.14}_{-0.13}\\1.44^{+0.19}_{-0.13}$	1.07 (30) 1.08 (46) 1.03 (49) 1.52 (44)



Şekil 2. NGC 7556'nın seçilen halkasal bölgeleri (üst panel, soldan sağa: 0-1', 1-2'; alt panel, solda sağa: 2-3' ve 3-4' aralıklarında) için XIS0 (siyah renkte) ve XIS3 (kırmızı renkte) tayfları. Her bir tayfın alt paneli veri ile uygulanan model arasındaki sapmaları göstermektedir.

3.2 Elektron yoğunluğu, basınç ve entropi hesaplamaları

X-ışın bandındaki gözlemler, ICM'nin gaz sıcaklığı (kT) ve metal bolluğu hakkında doğrudan inceleme yapılmasına olanak tanır. X-ışın analizlerinden elde edilen diğer önemli parametreler ise elektron yoğunluğu (n_e), basınç ($P=k_BTn_e$) ve entropidir ($K=k_BTn_e^{-2/3}$). Entropi, bir kümenin termal geçmişini izlemek için temel bir büyüklüktür, çünkü ısı üretimi sırasında her zaman artış gösterir (Voit ve diğ. 2005). Öte yandan, basınç, dinamik geçmiş ve yerçekimi dışı faktörlerden en az etkilenen bir büyüklük olarak öne çıkar (Arnaud ve diğ. 2010).

Yapılan tayfsal fitlerde en iyi uyumu sağlayan vapec modelinin normalizasyon (norm) değeri kullanılarak merkezden dışa doğru her bir halka için elektron yoğunluğu (n_e) , basınç (P) ve entropi (K) hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 3'de sunulmuştur. **Çizelge 3.** NGC 7556'nın merkezi bölgesinden dışa doğru yoğunluk $(n_{\rm e})$, basınç (P) ve entropi (K) değerleri.

Bölge	$n_{ m e}^{n_{ m e}}$ (10 ⁻³ cm ⁻³)	$\begin{split} P &= k_{\rm B} T n_{\rm e} \\ \left(10^{-3} \text{ keV cm}^{-3}\right) \end{split}$	$K = k_{\rm B} T n_{\rm e}^{-2/3}$ (keV cm ²)
0-1'	$7.10^{+0.49}_{-0.46}$	$10.51^{+1.80}_{-1.55}$	$40.06^{+1.87}_{-1.84}$
1-2'	$3.26^{+0.15}_{-0.16}$	$5.55\substack{+0.90\\-0.68}$	$77.28^{+6.17}_{-3.43}$
2-3′	$1.91\substack{+0.08\\-0.09}$	$3.79^{+0.57}_{-0.49}$	$129.43^{+8.89}_{-7.18}$
3-4′	$1.33\substack{+0.08\\-0.06}$	$3.74_{-0.04}^{+0.06}$	$232.37^{+11.23}_{-10.48}$

4 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, NGC 7556'nın Suzaku X-ışını analizleri ilk kez gerçekleştirilerek, galaksinin sıcaklığı ve element bollukları incelenmiştir. Ayrıca, galaksinin termodinamik özellikleri olan basınç ve entropinin radyal profilleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda tartışılmıştır.

Radyal sıcaklık ve element bolluğu değişimi: FG'lerin merkezlerinde bulunan galaksilerin soğuk merkezli olup olmadıkları radyal sıcaklık profilleri ile belirlenmektedir. Örneğin; Bharadwaj ve diğ. (2016), düşük kırmızıya kaymaya $(z\sim0.01-0.4)$ sahip 17 FG'nin Chandra X-ışın verisini analiz ederek, FG'lerin çoğunun soğuk merkezli olduğunu ve bu yapıların artık dinamik olarak aktif olmadığını öne sürmüştür. Bu sonuçla uyumlu olan başka bir çalışmada, NGC 1600'ün sıcaklık değerinin merkezde daha düsük olduğu ve 1 kpc içinde hafif bir artış gösterdiği, bunun soğuk merkezli bir sistemi işaret ettiği gözlemlenmiştir (Runge ve diğ. 2022). Ancak, son gözlemler, FG'lerin dinamik olarak rahatlamış ve yakın zamanda birleşme olayları geçirmemiş sistemler olduğu bulgularıyla çelişmektedir (ör. NGC 1132: Kim ve diğ. 2018, NGC 4104: Lima Neto ve diğ. 2020). Bu çalışmada elde edilen, NGC 7556'nın sıcaklık değişimi incelendiğinde (bkz. Çizelge 2), merkezin daha soğuk olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum, Bharadwaj ve diğ. (2016)'nın önerdiği sonuçla uyumludur. Diğer yandan, NGC 7556'nın element bolluğu incelendiğinde, Fe bolluğunun merkezden dışa doğru arttığı, Si bolluğunda ise belirgin bir değişiklik gözlenmediği tespit edilmiştir. Ancak her iki elemente ait bolluk değerlerinin %90 güven aralığında yüksek hata paylarına sahip olması, benzer sistemlerle net bir karşılaştırma yapılmasını zorlaştırmaktadır.

Radyal yoğunluk, basınç ve entropi değişimi: NGC 7556'nın merkez bölgesinden dışa doğru elektron yoğunluğu ve basıncın azaldığı, entropinin ise arttığı görülmektedir (bkz. Çizelge 3). Elektron yoğunluğu ve basıncın merkezden dışa doğru azalması, FG'lerin merkezlerinde yer alan soğuk çekirdekli galaksilerle tutarlı bir bulgudur (Buote ve diğ. 2016). Diğer yandan, merkezden dış bölgeye doğru yükselen entropi değerleri, kümeiçi ortamın özellikleri üzerinde kütleçekimsel olmayan süreçlerin (özellikle geri besleme gibi) güçlü bir etkisi olduğuna işaret etmektedir. Bu da FG'lerin geçmişte daha yoğun Aktif Galaktik Çekirdek (AGN) aktivitesi ve/veya erken dönemde büyük birleşmeler geçirdiği senaryosunu güçlendirmektedir (Bharadwaj ve diğ. 2016).

lşınım gücü (L_X) : FG'lerin ışınım güçleri (L_X) ile merkez bölgelerinde yer alan galaksilerin L_X değerleri birçok çalışmada araştırılmıştır (Girardi ve diğ. 2014; Kim & Fabbiano 2015; Bharadwaj ve diğ. 2016). FG'lerin ışınım güçlerinin $L_X \sim 10^{42} - 10^{45}$ erg s⁻¹ aralığında, merkez bölgelerinde yer alan galaksilerin ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Suzaku analizleri ile NGC 7556 için $L_{\rm X}$ değerleri $\sim (0.47\text{-}1.13) \times 10^{42}$ erg s $^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, RXC J2315.7-0222 sisteminin XMM-Newton gözlemleri ile ölçülen $L_{\rm X}$ değerinden ($\sim 2.1 \times 10^{43}$ erg s $^{-1}$) daha küçüktür. Sonuç olarak, bu çalışmada elde edilen bulgular, FG'lerin

Sonuç olarak, bu çalışmada elde edilen bulgular, FG'lerin oluşum mekanizmalarını anlamak için gerekli örneklem büyüklüğünü genişletecek ve literatüre önemli bir katkı sunacaktır. Gelecekte, XRISM ve Athena gibi yüksek tayfsal çözünürlüğe sahip uydulardan elde edilecek X-ışını verileri sayesinde, bu sistemlerde küme-içi ortamın özellikleri üzerinde hangi süreçlerin daha etkili olduğu çok daha iyi anlaşılacaktır.

Kaynaklar

- Allen S. W., Evrard A. E., Mantz A. B., 2011, ARA&A, 49, 409
- Arnaud K. A., 1996, in Jacoby G. H., Barnes J., eds, Astronomical Society of the Pacific Conference Series Vol. 101, Astronomical Data Analysis Software and Systems V. p. 17
- Arnaud M., Pratt G. W., Piffaretti R., Böhringer H., Croston J. H., Pointecouteau E., 2010, A&A, 517, A92
- Bharadwaj V., Reiprich T. H., Sanders J. S., Schellenberger G., 2016, A&A, 585, A125
- Buote D. A., Su Y., Gastaldello F., Brighenti F., 2016, ApJ, 826, 146
- Chu A., ve diğ., 2023, A&A, 673, A100
- Corsini E. M., ve diğ., 2018, A&A, 618, A172
- Démoclès J., Pratt G. W., Pierini D., Arnaud M., Zibetti S., D'Onghia E., 2010, A&A, 517, A52
- Foster A. R., Ji L., Smith R. K., Brickhouse N. S., 2012, ApJ, 756, 128
- Girardi M., ve diğ., 2014, <mark>A&A</mark>, 565, A115
- Kim D.-W., Fabbiano G., 2015, ApJ, 812, 127
- Kim D.-W., ve diğ., 2018, ApJ, 853, 129
- Koyama K., ve diğ., 2007, PASJ, 59, 23
- Lima Neto G. B., Durret F., Laganá T. F., Machado R. E. G., Martinet N., Cuillandre J. C., Adami C., 2020, A&A, 641, A95
- Migkas K., Schellenberger G., Reiprich T. H., Pacaud F., Ramos-Ceja M. E., Lovisari L., 2020, A&A, 636, A15
- Mitsuda K., ve diğ., 2007, PASJ, 59, S1
- Ponman T. J., Allan D. J., Jones L. R., Merrifield M., McHardy I. M., Lehto H. J., Luppino G. A., 1994, Nature, 369, 462
- Runge J., Walker S. A., Mirakhor M. S., 2022, MNRAS, 509, 2647 Sato K., Kawaharada M., Nakazawa K., Matsushita K., Ishisaki Y.,
- Yamasaki N. Y., Ohashi T., 2010, PASJ, 62, 1445
- Sato K., Matsushita K., Yamasaki N. Y., Sasaki S., Ohashi T., 2014, PASJ, 66, 85
- Smith R. K., Brickhouse N. S., Liedahl D. A., Raymond J. C., 2001, ApJ, 556, L91
- Tawa N., ve diğ., 2008, PASJ, 60, S11
- Voit G. M., Kay S. T., Bryan G. L., 2005, MNRAS, 364, 909
- Willingale R., Starling R. L. C., Beardmore A. P., Tanvir N. R., O'Brien P. T., 2013, MNRAS, 431, 394
- Wilms J., Allen A., McCray R., 2000, ApJ, 542, 914
- Zarattini S., ve diğ., 2014, A&A, 565, A116
- Zarattini S., Aguerri J. A. L., Tarrío P., Corsini E. M., 2023, A&A, 676, A133
- de Vaucouleurs G., de Vaucouleurs A., Corwin Jr. H. G., Buta R. J., Paturel G., Fouque P., 1991, Third Reference Catalogue of Bright Galaxies. Springer

Access

M25-0103: Turkish J.A&A — Vol.6, Issue 1.