

Yakın Galaksilerde Bulunan X-ışın Çiftlerinin X-ışın ve Optik Gözlemler Kullanılarak Sınıflandırılması

Şenay Avdan¹  , Eda Sonbaş¹ , Hasan Avdan¹ 

¹ Adıyaman Üniversitesi, Fizik Bölümü, 02040, Adıyaman, Türkiye

Accepted: February 19, 2025. Revised: February 19, 2025. Received: November 29, 2024.

Özet

Seçilen galaksilerde Chandra arşiv verileri kullanılarak X-ışın çiftleri (XRB) belirlenmiş ve X-ışın tayfları elde edilerek X-ışın akı değişimleri hesaplanmıştır. 0.3-8 keV enerji aralığındaki akı değerleri kullanılarak uzun dönemli X-ışın değişimleri, X-ışın renk-renk grafikleri ve X-ışın ışıma gücü dağılımları elde edilmiştir. Seçilen iki galakside (NGC 300 ve NGC 6946) toplamda 115 XRB adayı belirlenmiştir. Bu kaynakların X-ışın renk-renk grafikleri elde edilerek büyük kütleli ve düşük kütleli X-ışın çiftleri olarak ayrımı yapılmıştır. Sonuç olarak, toplamda 58 kaynak büyük kütleli ve 24 kaynak ise düşük kütleli X-ışın çiftleri olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan kaynakların bir çoğunun büyük kütleli ve düşük kütleli X-ışın çiftlerinden beklenen X-ışın akı değişkenliğine sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca Hubble Uzay Teleskobu arşiv verileri kullanılarak yaklaşık 60 XRB'nin optik karşılığı belirlenmiş ve kaynakların renk-parlaklık grafikleri elde edilerek yoldaş yıldızın kütlesi hesaplanmıştır.

Abstract

In the selected galaxies, X-ray binaries (XRBs) were identified using Chandra archival data, and X-ray spectra were obtained to calculate X-ray flux variations. Long-term X-ray variations, X-ray color-color diagrams, and X-ray luminosity distributions were obtained using the calculated flux values in the 0.3-8 keV energy range. A total of 115 XRB candidates were identified in two selected galaxies (NGC 300 and NGC 6946). X-ray color-color diagrams were generated for these sources to distinguish them as high-mass or low-mass X-ray binaries. As a result, 58 sources were classified as high-mass X-ray binaries, while 24 were classified as low-mass X-ray binaries. It was observed that many of the classified sources exhibit the expected X-ray flux variability of high-mass and low-mass X-ray binaries. Additionally, using archival data from the Hubble Space Telescope, the optical counterparts of approximately 60 XRBs were identified, and color-magnitude diagrams of the sources were generated to calculate the mass of their companion stars.

Anahtar Kelimeler: galaxies: individual: NGC 300 – galaxies: individual: NGC 6946 – X-rays: binaries

1 Giriş

Galaksilerden gelen X-ışın yayınının büyük bir kısmı X-ışın çiftlerinden (XRB) kaynaklanmaktadır. XRB'ler, gravitasyonel olarak birbirine bağlı sıkı nesne ile anadol/dev yoldaş yıldızdan oluşan ikili yıldız sistemleridir. Bu sistemlerdeki sıkı nesne bir karadeliğe ya da nötron yıldızı olabilir. Gelen X-ışın yayınının kaynağı yoldaş yıldızdan sıkı nesne üzerine madde aktarımıdır. XRB'ler sistemdeki yoldaş yıldızın kütlesine bağlı olarak genel olarak iki sınıfa ayrılırlar. Yoldaş yıldızın kütlesi $<1 M_{\odot}$ ise Düşük Kütleli X-ışın Çiftleri (LMXB'ler), $> 8 M_{\odot}$ ise Büyük Kütleli X-ışın Çiftleri (HMXB'ler) olarak adlandırılırlar (Gilfanov 2004). Madde aktarımı LMXB'lerde Roche lobunun dolmasıyla L1 noktasından, HMXB'ler de ise yıldız rüzgarları yoluyla gerçekleşmektedir (Casares ve diğ. 2017; Islam ve diğ. 2021). Bu iki sınıfın arasında yer alan, yoldaş yıldızın kütlesi $2-7 M_{\odot}$ olan XRB'ler de orta kütleli X-ışın Çiftleri (Intermediate X-ray Binaries, IMXB'ler) olarak sınıflandırılırlar ve bu sistemlerin X-ışın yayınının kaynağı tıpkı LMXB'ler gibi Roche lobu dolmasıyla oluşan madde aktarımıdır (Gilfanov 2004; Casares ve diğ. 2017; Johns Mulia ve diğ. 2019). Ayrıca, XRB'ler kompakt nesnenin nötron yıldızı ya da karadeliğe olmasına göre de sınıflandırılmaktadır. Hem

LMXB'ler hem de HMXB'ler donor yıldızın kütlesine, kompakt nesnenin türüne ve madde atım süreçlerine bağlı olarak geniş tayfsal ve zamansal özelliklere sahiptirler (Islam ve diğ. 2021).

HMXB'ler ve LMXB'ler, madde aktarım mekanizmaları da dahil olmak üzere fiziksel özellikleri bakımından önemli ölçüde farklılık gösterir ve farklı galaktik ortamlarla ilişkilidirler. HMXB'ler kısa yaşam sürelerine ($\geq 10^6 - 10^7$ yıl) sahipken LMXB'lerin yaşam süreleri ise çok daha uzundur ($\sim 10^9 - 10^{10}$ yıl) (Fabbiano 2006; Mineo ve diğ. 2012; Ducci ve diğ. 2013). Bu durum her iki sınıfın yıldız oluşum süreçlerinin birbirinden farklı olduğunu göstermektedir. Kısa yaşam süresine sahip HMXB'ler yıldız oluşum evresinde ve hemen sonrasında kısa süre boyunca ışıma yaparken LMXB'ler yıldız oluşum evresinden itibaren çok daha uzun süre ışıma yapabilirler. Hatta LMXB'ler için bu süre ev sahibi galaksinin yaşam süresiyle kıyaslanabilir ve dolayısıyla da galaksinin toplam yıldız kütlesiyle orantılıdır (Grimm ve diğ. 2003; Mineo ve diğ. 2012).

XRB'lerin X-ışın tayfsal özellikleri her iki sınıf için de çok benzerlik göstermektedir. XRB'lerin X-ışın tayfları genel olarak güç yasası (power law, po) ile iyi uyum vermektedir ve tayfsal indis değerleri $\sim 1.5-2.5$ aralığındadır. Bu durum tayfsal model ile XRB'leri sınıflandırmayı güçleştirmektedir. Ancak sertlik oranı (hardness ratio, HR) çok keskin olmasa da bu iki sınıf arasında sınırlandırma getirmektedir. Genel olarak HMXB'ler sert tayfa LMXB'ler ise yumuşak tayfa sahiptirler. Prestwich

* kayaci.s@gmail.com

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan Chandra gözlemleri.

	No.	Tarih	Süre (ks)
NGC 300	9883	2008-07-08	10
	12238	2010-09-24	63
	16028	2014-05-16	64
	16029	2014-11-17	61
	22375	2020-04-26	48
NGC 6946	1043	2001-09-07	60
	4404	2002-11-25	30
	4631	2004-10-22	30
	4632	2004-11-06	30
	4633	2004-12-03	30
	13435	2012-05-21	20
	17878	2016-09-28	40
	19040	2017-06-11	10

ve diğ. (2003) yaptıkları çalışmada LMXB, HMXB, süpernova kalıntıları (Supernova Remnants, SNRs) ve yüksek soğurmaya sahip kaynaklar için oluşturdukları X-ışın renk-renk grafiği XRB'lerin sınıflandırılması için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu grafik LMXB ve HMXB'lerin farklı renk değerlerine sahip olduklarını göstermektedir.

XRB'lerin sadece yukarıda bahsedilen X-ışın özellikleri kullanılarak sınıflandırılması ya da doğalarının belirlenmesi oldukça zordur. Çoğu kaynağın değişken akı değerleri ya da geçici özellik göstermesi sınıflandırma için kullanılan renk-renk grafiklerinde konumlarının değişmesine neden olmakta ve sınıflandırılma yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu durumda optik gözlemlerin katkısıyla XRB'lerin belirlenen optik karşılıklarının fotometrik özellikleri sınıflandırmaya oldukça yardımcı olduğu görülmektedir. Hubble Uzay Teleskobunun (HST) geniş filtre aralığı ve yüksek çözünürlüklü görüntü kapasitesi XRB'lerin optik karşılıklarının incelenmesine olanak sağlamaktadır. Belirlenen optik adayların farklı filtrelerdeki parlaklık değerleri kullanılarak sistemdeki yoldaş yıldızın kütlesi, yaşı ve tayfsal sınıfı gibi özelliklerinin belirlenmesi XRB'lerin sınıflandırılmasında büyük önem taşımaktadır (Vulic ve diğ. 2014; Chandar ve diğ. 2020; Hunt ve diğ. 2021; Avdan ve diğ. 2023).

Bu çalışmada NGC 300 ve NGC 6946 galaksilerinde belirlenen XRB'lerin X-ışını ve optik özelliklerini araştırdık. NGC 300 sarmal galaksisi 1.88 Mpc uzaklıkta bulunmaktadır (Carpano ve diğ. 2018). NGC 6946 ise 7.8 Mpc uzaklıkta bulunan sarmal bir galaksidir (Murphy ve diğ. 2018). Chandra arşiv verileri kullanılarak galaksilerin D₂₅ alanı içerisinde belirlenen XRB'lerinin X-ışını tayfları, ışık eğrileri ve renk-renk diyagramları incelendi. Ek olarak, X-ışın kaynaklarının optik karşılıklarını belirlemek ve sistemdeki yoldaş yıldızın özelliklerini araştırmak amacıyla HST/ACS arşiv verileri kullanılarak fotometrik analizler gerçekleştirildi. X-ışın ve optik gözlemler ile analiz yöntemleri §2'de, X-ışın ve optik analiz sonuçlarının detaylı incelenmesi §3'te verilmektedir.

2 Gözlemler ve Analizler

NGC 300 ve NGC 6946 galaksilerinin X-ışın analizleri için kullanılan Chandra arşiv gözlemleri Çizelge 1'de verilmektedir. Ayrıca kaynakların optik analizleri için farklı filtrelerde alınmış HST/ACS arşiv verileri kullanılmıştır. Kullanılan HST/ACS gözlemleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

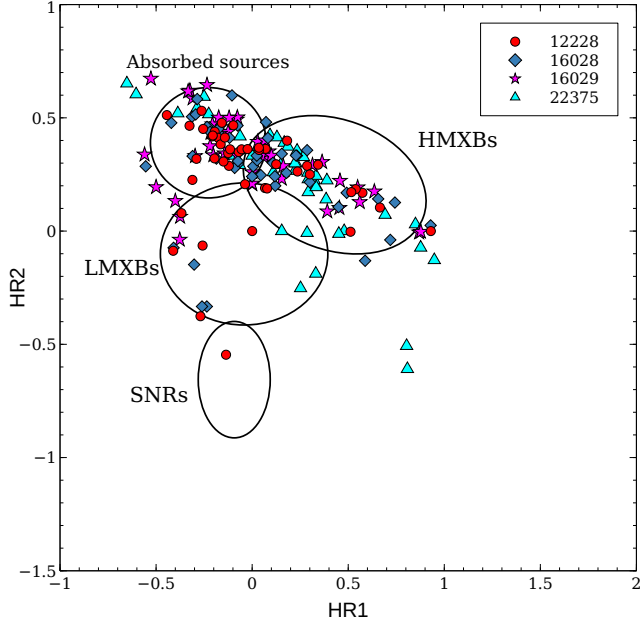
Çizelge 2. Çalışmada kullanılan HST/ACS gözlemleri.

	No.	Filtre	Tarih	Süre (s)
NGC 300	J8D702010	F435W	2002-07-19	1080
	J8D706010	F435W	2002-09-26	1080
	J8D703010	F435W	2002-09-28	1080
	J8D705010	F435W	2002-12-25	1080
	J8D702020	F555W	2002-07-19	1080
	J8D706020	F555W	2002-09-26	1080
	J8D703020	F555W	2002-09-28	1080
	J8D705020	F555W	2002-12-25	1080
	J8D702030	F814W	2002-07-19	1080
	J8D706030	F814W	2002-09-26	1080
	J8D703030	F814W	2002-09-28	1080
	J8D705030	F814W	2002-12-25	1080
	J9RA10020	F606W	2006-11-08	1510
	J9RA11020	F606W	2006-11-09	1510
	J9RA10030	F814W	2006-11-08	1540
	J9RA11030	F814W	2006-11-09	1540
	JCFP02010	F606W	2014-06-30	2400
	JCFP04010	F606W	2014-07-12	2400
	JCFP02020	F814W	2014-06-30	2550
	JCFP04020	F814W	2014-07-12	2550
NGC 6946	JD9G01010	F435W	2016-10-28	5610
	JD9G02010	F435W	2016-11-02	5610
	JD9G01010	F606W	2016-10-28	4470
	JD9G02020	F606W	2016-11-02	4480
	JD9G03010	F606W	2016-10-26	2430
	JD9G03020	F814W	2016-10-26	2570
	JDK409020	F435W	2018-12-10	2700
	JDK409010	F606W	2018-12-10	2570
	JDK406010	F606W	2019-01-26	2530
	JDK406010	F814W	2019-01-26	3710
	JE3Y06020	F435W	2020-11-11	6410
	JE3Y11020	F435W	2020-11-13	6410
	JE3Y13020	F435W	2020-11-07	6410
	JE3Y06010	F606W	2020-11-11	1660
	JE3Y11010	F606W	2020-11-13	1660
	JE3Y13020	F606W	2020-11-06	1660
	JE3Y58020	F435W	2021-05-04	6190
	JE3Y58010	F606W	2021-05-04	1660

2.1 X-ışın Analizleri

Gözlem verileri CIAO v4.14 (Chandra Interactive Analysis of Observations) programı ve kalibrasyon dosyaları CALDB v4.9.6 kullanılarak analiz edilmiştir. Öncelikli olarak 0.3-8 keV enerji aralığında elde edilen görüntülerde wavdetect komutu kullanılarak kaynak belirleme işlemi yapılmıştır. Galaksi içindeki D₂₅ alanı dışında bulunan kaynakların muhtemelen arka plan nesneleri olabileceği göz önünde bulundurularak, yalnızca D₂₅ alanında tanımlanan kaynaklar çalışmada kullanılmıştır. Belirlenen kaynaklardan istatistiği yüksek tutmak için beş sayım değerinin üstünde olanlar seçilmiştir. Her bir gözlem için ayrı yapılan bu işlemler sonucunda en az üç gözlemden ortak olarak görülen ve beş sayım değerinin üzerinde olan kaynaklar belirlenmiştir. Bu kaynaklardan daha önce kataloglanmış SNR'lar ile uyuşanlar listeden çıkarılmıştır.

Belirlenen ve XRB adayı olarak seçilen kaynakların chandra_repro komut dosyası kullanılarak, olay dosyaları dört enerji bandında oluşturulmuştur: 0.3-1 keV – yumuşak (S), 1-2 keV – orta (M), 2-8 keV – sert (H) ve 0.3-8 keV – toplam (T). Bu XRB'lerin sayım değerleri, kaynaklar etrafında



Şekil 1. NGC 300 galaksisinde belirlenen XRB'lerin X-ışın renk-renk grafiği. Her renk farklı gözlem verisini temsil etmektedir.

seçilen dairesel bölgelerden elde edilmiştir. Kaynak fotonları 5-8'' yarıçaplı dairesel bölgeler seçilerek ve arka plan fotonları ise X-ışını kaynaklarıyla aynı çip üzerindeki kaynaksız bölgelerden çıkarılmıştır. Daha sonra, yukarıda belirtilen dört enerji aralığında, kaynak ve arka plan sayımları CIAO yazılımındaki `specextract` komutu kullanılarak elde edilmiştir. Bir gözlemede görülmeyen kaynaklar için, o gözlemedeki üst limit %90 güven düzeyinde `srcflux` komutu kullanılarak hesaplanmıştır.

2.2 HST Analizleri

X-ışın kaynaklarının optik karşılıklarının belirlenebilmesi için kaynak konumları hassas olarak belirlenmelidir. Bunun için Chandra ve HST görüntüleri arasında astrometrik düzeltme yapılması gerekmektedir. Chandra ve HST görüntüleri arasındaki koordinat kaymasını hesaplayabilmek için GAIA EDR3 (Early Data Release 3) kataloğu referans görüntü olarak kullanılmıştır. Öncelikli olarak HST ve GAIA görüntüleri arasında uyuşan referans kaynaklar belirlenmiştir. HST'nin GAIA'ya göre kayma miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra benzer şekilde Chandra ile GAIA arasındaki referans kaynaklar belirlenerek iki görüntü arasındaki kayma miktarı hesaplanmıştır. Sonuç olarak her iki durumda belirlenen kayma miktarları XRB'lerin bilinen Chandra koordinatlarına uygulanarak HST görüntüsünde kaynakların düzeltilmiş koordinatları elde edilmiştir. XRB'lerin koordinat belirsizlikleri ise HST-GAIA ve Chandra-GAIA arasındaki ortalama kayma miktarı ile her bir XRB'nin X-ışın hatasının ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Koordinat düzeltilmesi uygulandıktan sonra hata alanı içine düşen kaynaklar ilgili XRB'lerin olası optik karşılıkları olarak belirlenmiştir.

Olası optik adayların parlaklık hesabı için **DOLPHOT v2.0** yazılımı kullanılmıştır. Kaynakların çoğuna PSF fotometri uygulanırken bazı kaynaklar için açıklık fotometrisi daha iyi sonuçlar vermiştir. Çizelge 2'de verilen gözlemlerin veri dosyaları (.flc ve .drc) **MAST** web sayfasından indirilmiştir. DOLPHOT kılavuzunda verilen standart adımlar izlenerek

veri indirgeme işlemleri gerçekleştirilmiştir (Dolphin 2016). Görüntülerdeki kötü pikselleri maskelemek ve gökyüzü görüntüsünü oluşturmak için sırasıyla `acsmask` ve `calcsky` komutları kullanılmıştır. Son olarak kaynakların belirlenmesi ve fotometri hesabı için `dolphot` komutu çalıştırılmıştır. Hesaplamalar sırasında sıfır noktaları (zeropoints) ve açıklık düzeltmeleri için varsayılan DOLPHOT parametreleri kullanılmıştır.

3 Sonuçlar ve Tartışma

3.1 NGC 300

Yapılan X-ışın analizleri sonucu galaksinin D₂₅ alanı (11×7'5; de Vaucouleurs 1991) içerisinde 50 X-ışın kaynağı belirlenmiştir. Bu kaynaklardan daha önceki çalışmalarda SNR olarak kataloglanmış üç kaynak listeden çıkarılmıştır. Geriye kalan 47 kaynak XRB olarak kabul edilmiş ve ayrıntılı olarak incelenmiştir. Seçilen kaynakların listesi ve X-ışın özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3'te verilen X-ışın ışıma güçleri 0.3-8 keV enerji aralığında belirlenen akı değerleri ve ev sahibi galaksinin uzaklığı $D=1.88$ Mpc alınarak hesaplanmıştır. Kaynakların uzun dönemli değişkenliklerini araştırmak için değişkenlik parametresi (variability parameters, S) ve akı oranları hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 3). Değişkenlik parametresi

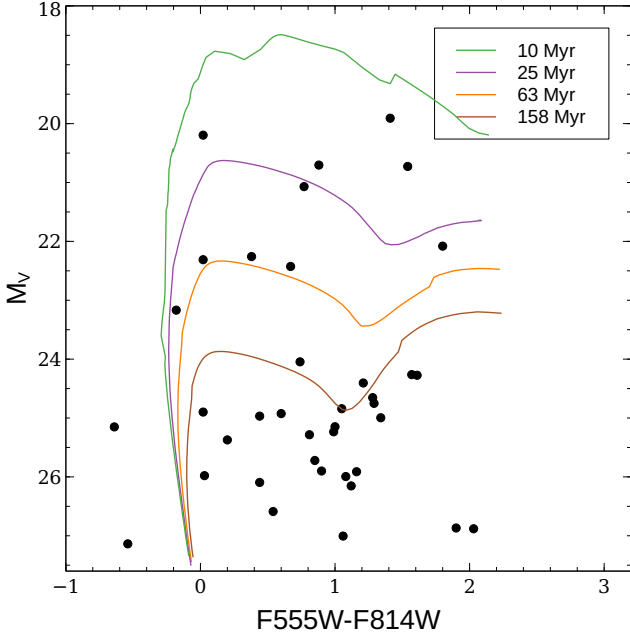
$$S = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{(\sigma_{\max}^2 + \sigma_{\min}^2)^{1/2}} \quad (1)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır (Jin & Kong 2019). Kaynaklardan 21 tanesi $S>3$ değerine sahiptir ve bu kaynaklar değişken (variable, v) kaynak olarak sınıflandırılmıştır. $F_{\max} - F_{\min}$ değeri 10'dan büyük olan 2 kaynak ise geçici (transient, t) kaynak olarak sınıflandırılmıştır.

X-ışın kaynaklarının özellikle de XRB'lerin sınıflandırılması için literatürde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri olan X-ışın renk-renk grafiğini oluşturmak için Chandra verileri ile dört farklı enerji aralığında belirlenen sayım değerleri kullanılarak sertlik oranları hesaplanmıştır. Sert renk değeri $H_1=(H-M)/T$ ve yumuşak renk değeri ise $H_2=(M-S)/T$ bağıntıları ile hesaplanmıştır. Tüm kaynaklar için elde edilen renk-renk grafiği Şekil 1'de verilmiştir. 9883 nolu gözlemede kaynakların bir çoğu gözlem alanı dışında kaldığından dolayı bu gözlemede kaynak sayısı yeterli istatistiğe sahip değildir. Bu nedenle buradan sonraki yapılan çalışmalarda bu gözlem ihmal edilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi kaynakların bazıları farklı gözlemlerde farklı bölgelere düşmektedir. Bu durum o kaynakların sınıflandırılmasını güçleştirmektedir. Bu grafik dikkate alınarak kaynaklar için yapılan sınıflandırma Çizelge 3'te son sütunda (3) verilmiştir.

Koordinat düzeltilmesi uygulandıktan sonra hata alanı içine düşen kaynaklar ilgili XRB'lerin olası optik karşılıkları olarak belirlenmiştir. 27 XRB'den beş tanesi için hata alanı içinde herhangi bir optik karşılık belirlenememiştir. Diğer 22 XRB ise hata alanı içinde en az bir optik adaya sahiptir. Bu 22 kaynaktan dokuz tanesi hata alanı içerisinde tek optik adaya sahipken kalan 13 kaynak ise çoklu optik adaya sahiptir.

XRB'lerden gelen optik ışımının büyük bir kısmının ya da tamamının sistemdeki yoldaş yıldızdan geldiği varsayılırsa farklı filtrelerde alınan parlaklık değerleri kullanılarak yoldaş yıldızın kütlesi ve yaşı tahmin edilebilir. Bunun için F555W ve F814W filtreleri kullanılarak belirlenen olası optik adayların renk-parlaklık diyagramı (Color-Magnitude



Şekil 2. NGC 300 galaksisinde bulunan XRB'lerin olası optik adaylarının renk-parlaklık diyagramı. Siyah noktalar olası optik karşılıkları, renkli çizgiler ise farklı yaşlardaki Parsec eş-yaş çizgilerini temsil etmektedir. Eş-yaş çizgilerine $A_V=0.035$ kadar sönmüleme düzeltilmesi yapılmıştır.

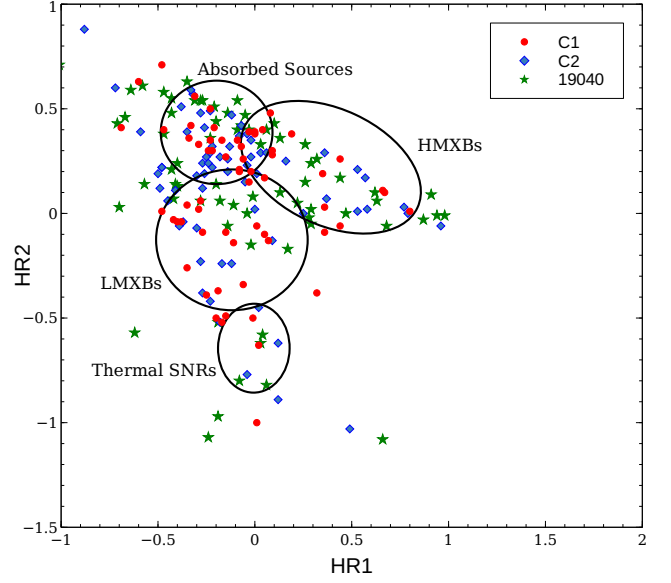
Diagram, CMD) oluşturulmuştur. CMD oluşturulurken Parsec (Padova and Trieste Stellar Evolution Code) eş-yaş çizgileri kullanılmıştır (Bressan ve diğ. 2012). NGC 300 galaksisi için Güneş metal bolluğu seçilerek HST/ACS ile uyumlu eş-yaş çizgileri STEV/Padova web adresinden indirilmiştir. Ayrıca galaksinin uzaklık modülü $DM=26.4$ ve Galaktik kızarma değeri $E(B-V)=0.011$ (Schlafly & Finkbeiner 2011) olarak alınmıştır. Belirlenen optik adaylar için elde edilen CMD Şekil 2'de verilmiştir. X-ışın renk-renk diyagramı kullanılarak yapılan sınıflandırmada belirlenen HMXB ve LMXB adayları ile olası optik adayların belirlenen kütle değerleri karşılaştırıldığında birbirleri ile uyumlu oldukları görülmektedir.

3.2 NGC 6946

Burada, NGC 300 galaksisi için yukarıda ayrıntılı bahsedilen X-ışın analizleri benzer şekilde yapılmış ve analizler sonucunda NGC 6946 galaksisinin D_{25} alanı ($11'2 \times 10'0$; Walsh ve diğ. 2002) içerisinde 78 X-ışın kaynağı belirlenmiştir. Bu kaynaklardan 10 tanesi SNR olarak kataloglanmış olduğundan dolayı listeden çıkarılmıştır. Sonuç olarak listemizde 68 X-ışın kaynağı XRB adayı olarak kabul edilmiş ve ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu kaynaklar ve X-ışın özellikleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Kaynakların X-ışın ışıma güçleri ev sahibi galaksinin uzaklığı 7.8 Mpc alınarak ve 0.3-8.0 keV enerji aralığında belirlenen akı değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Tüm kaynaklar için S parametresi ve akı oranı hesaplanarak kaynağın uzun dönemli X-ışın değişkenliği araştırılmıştır. Kaynaklar için hesaplanan değerler Çizelge 4'te verilmiştir.

Belirlenen XRB'lerin sertlik değerleri kullanılarak oluşturulan X-ışın renk-renk diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. NGC 6946 galaksisinde belirlenen XRB'lerin X-ışın renk-renk grafiği. Her renk farklı gözlem verisini temsil etmektedir.

X-ışın renk-renk grafiği dikkate alınarak yapılan sınıflandırma Çizelge 4'te 3. sütunda verilmiştir.

Chandra ve HST görüntüleri arasında yapılan koordinat düzeltmesi sonrasında 68 kaynaktan 66'sı en az bir HST alanı içine düşmektedir. Geriye kalan iki kaynak ise maalesef HST gözlemine sahip değildir. HST gözlemi olan 66 kaynaktan 39 tanesi hata alanı içerisine düşen en az bir olası optik adaya sahiptir. Diğer 27 kaynak ise ya optik adayı belirlenemeyecek şekilde yoğun bölgelerde bulunmakta ya da hata alanı içerisine herhangi bir optik kaynak düşmemektedir.

Optik karşılıkları belirlenen XRB'lerin sistemdeki yoldaş yıldızının kütlesini belirleyebilmek için CMD'leri elde edilmiştir. Oluşturulan CMD'ler Şekil 4'te gösterilmiştir. NGC 6946 için Parsec eş-yaş çizgileri indirilirken Güneş metal bolluğu ve HST/ACS filtreleri seçilerek indirilmiştir. Ayrıca galaksinin uzaklık modülü $DM=29.5$ ve Galaktik kızarma değeri $E(B-V)=0.27$ (Schlafly & Finkbeiner 2011) olarak alınmıştır. Her iki CMD incelendiğinde kaynakların geneli 4-100 Myr yaş aralığında bulunmaktadır. Burada belirlenen yaşlar ve kaynakların M_V değerleri kullanılarak Parsec eş-yaş çizgilerinden kaynakların kütle değerlerinin genel olarak 1-30 $M_{\odot}$ aralığında olduğu belirlenmiştir. Burada belirlenen kütle değerleri ile X-ışın verileri kullanılarak yapılan HMXB ve LMXB sınıflandırması karşılaştırıldığında birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) bünyesinde TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) tarafından yürütülen 2218-Yurt İçi Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı kapsamında 122C042 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Yararlı yorumları için K. S. Dhuga'ya teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

Avdan S., Akyuz A., Acar S., Akkaya Oralhan I., Allak S., Aksaker N., 2023, *MNRAS*, 519, 4826

Çizelge 3. NGC 300 galaksisinde belirlenen XRB'lerin X-ışın ışıma güçleri ve X-ışın özellikleri. Notlar: (ad) gözleme ait görüntüde kaynak, görüntü alanı dışında kalmaktadır. (1): kaynaklar için hesaplanan değişkenlik parametresi (variability parameters; Jin & Kong 2019); (2) en yüksek ve en düşük akı oranı $F_{\max}/F_{\min}$; (3) v: S değeri 3'den büyük olan değişken kaynakları, t: $F_{\max}/F_{\min} > 10$ olan geçici kaynakları, n: $S < 3$ ve $F_{\max}/F_{\min} < 10$ olan kaynakları göstermektedir; (4) H: büyük kütleli X-ışın çiftleri (HMXB), L: düşük kütleli X-ışın çiftleri (LMXB), A: X-ışın renk-renk grafiğinde yüksek soğurma bölgesinde düşen kaynaklar, uc: kesin bir sınıflandırma yapılamayan kaynaklar.

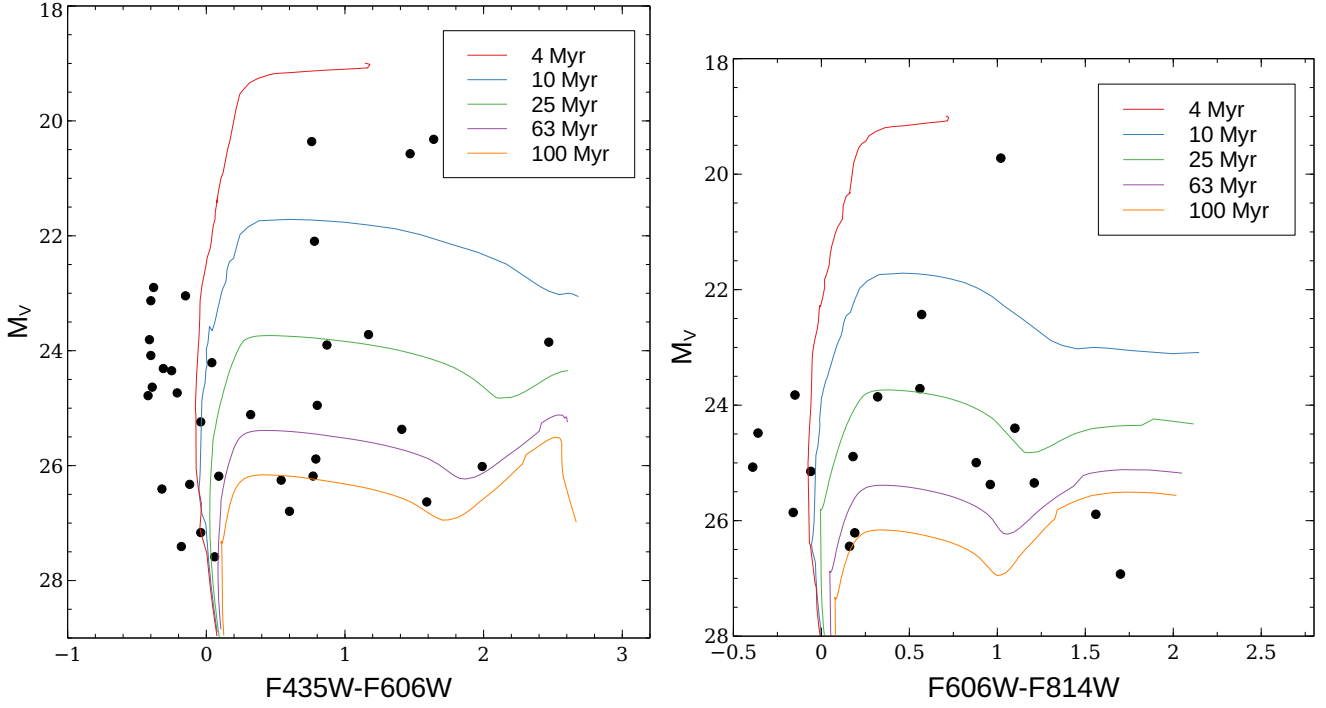
Gözlem No	Kaynaklar için L_X (erg s ⁻¹)					S (1)	oran (2)	sınıf (3)
	9883	12238	16028	16029	22375			
1	1.24E+36	1.16E+37	1.12E+37	7.85E+36	7.63E+36	7.98	9.37	H
2	ad	3.41E+36	3.66E+36	4.56E+36	ad	1.19	1.34	A
3	7.14E+36	2.66E+36	1.04E+37	9.49E+36	1.18E+37	5.53	4.45	H
4	ad	3.57E+36	5.22E+35	3.56E+36	2.11E+36	4.33	6.84	uc
5	6.52E+36	6.82E+36	7.74E+36	4.47E+36	7.79E+36	2.37	1.74	H
6	ad	1.58E+36	6.10E+35	2.56E+36	9.73E+35	3.08	4.19	A
7	2.49E+35	1.75E+36	7.84E+35	1.19E+36	4.87E+35	3.13	7.00	H
8	2.17E+36	2.99E+36	2.18E+36	2.74E+36	5.03E+36	2.05	2.31	H
9	4.04E+36	2.83E+36	2.18E+36	3.74E+36	1.46E+36	1.83	2.76	uc
10	2.17E+36	3.57E+36	1.65E+36	3.19E+36	1.95E+36	2.48	2.16	A
12	7.77E+36	8.73E+36	1.22E+36	5.29E+36	6.98E+36	7.40	7.16	L
13	1.18E+37	3.67E+37	2.97E+37	3.45E+37	1.14E+37	10.96	3.23	H
14	4.66E+36	1.99E+36	2.35E+36	1.46E+36	2.92E+36	2.38	3.19	uc
15	ad	2.33E+36	3.31E+36	2.10E+36	ad	1.45	1.58	uc
16	ad	6.90E+36	9.75E+36	1.28E+37	3.89E+36	6.30	3.28	uc
17	ad	5.07E+36	9.58E+35	1.00E+36	1.30E+36	5.35	5.29	H
18	ad	1.83E+36	2.35E+36	1.37E+36	9.73E+35	1.75	2.42	L
20	ad	2.58E+36	2.44E+36	3.29E+36	1.30E+36	2.47	2.53	A
21	ad	1.91E+36	2.35E+36	1.46E+36	4.87E+35	3.08	4.83	L
22	2.74E+35	1.41E+36	1.74E+36	1.00E+36	2.99E+35	3.44	6.36	H
23	4.04E+36	1.58E+36	2.53E+36	2.37E+36	2.27E+36	1.83	2.56	H
24	ad	3.16E+36	2.35E+36	8.22E+35	1.14E+36	3.59	3.84	L
25	1.24E+36	6.49E+36	6.10E+35	1.29E+37	3.89E+36	10.59	21.10	H
26	ad	7.73E+36	2.35E+36	4.84E+36	3.73E+36	5.38	3.29	L
27	2.23E+38	1.92E+38	2.25E+38	1.59E+38	2.34E+38	11.94	1.47	A
28	2.17E+36	6.65E+35	2.61E+35	8.22E+35	8.11E+35	2.01	8.32	H
29	ad	6.07E+36	2.79E+36	9.67E+36	2.60E+36	5.66	3.73	A
30	ad	6.65E+35	6.10E+35	1.28E+36	2.11E+36	2.00	3.46	H
31	ad	4.16E+35	9.58E+35	5.47E+35	1.46E+36	1.67	3.51	A
32	4.35E+36	5.32E+36	8.10E+36	2.92E+36	5.03E+36	4.97	2.77	uc
33	ad	4.24E+36	5.57E+36	5.66E+36	9.73E+35	5.21	5.82	uc
34	ad	1.66E+36	8.71E+35	7.30E+35	9.73E+35	1.73	2.28	H
35	1.24E+36	7.48E+35	1.48E+36	1.09E+36	1.46E+36	1.39	1.98	H
36	ad	5.49E+36	4.44E+36	2.65E+36	2.60E+36	2.48	2.11	A
37	ad	2.58E+36	5.31E+36	4.02E+36	2.43E+36	2.73	2.18	H
38	3.41E+35	1.16E+36	1.13E+36	1.73E+36	2.11E+36	2.81	6.19	L
39	4.66E+36	4.74E+36	8.79E+36	2.10E+36	9.57E+36	5.23	4.56	H
40	ad	7.65E+36	3.05E+36	5.47E+36	7.26E+35	6.99	10.53	H
41	ad	1.41E+36	6.10E+35	1.00E+36	1.14E+36	1.54	2.32	H
43	ad	5.07E+36	1.22E+36	2.74E+36	2.27E+36	4.38	4.16	uc
44	ad	5.74E+36	6.70E+36	6.48E+36	5.84E+36	0.86	1.17	H
45	1.55E+36	6.90E+36	4.62E+36	9.86E+36	9.25E+36	6.39	6.35	uc
46	ad	3.57E+36	3.48E+36	2.10E+36	3.24E+36	0.00	1.66	H
47	ad	9.48E+36	7.31E+36	5.20E+36	7.30E+36	3.60	1.82	H
48	ad	4.65E+36	4.09E+36	7.30E+36	5.03E+36	2.91	1.78	H
49	ad	9.14E+35	1.48E+36	1.55E+36	2.11E+36	1.32	2.31	H
50	2.36E+37	ad	5.92E+36	1.44E+37	2.27E+37	7.63	3.84	A

Bressan A., Marigo P., Girardi L., Salasnich B., Dal Cero C., Rubele S., Nanni A., 2012, *MNRAS*, 427, 127
 Carpano S., Haberl F., Maitra C., Vasilopoulos G., 2018, *MNRAS*, 476, L45
 Casares J., Jonker P. G., Israelian G., 2017, in Alsabti A. W., Murdin P., eds., *Handbook of Supernovae*. Springer International Publishing AG, p. 1499, doi:10.1007/978-3-319-21846-5_111
 Chandar R., Johns P., Mok A., Prestwich A., Gallo E., Hunt Q., 2020, *ApJ*, 890, 150

Dolphin A., 2016, DOLPHOT: Stellar photometry, Astrophysics Source Code Library, record ascl:1608.013
 Ducci L., Sasaki M., Haberl F., Pietsch W., 2013, *A&A*, 553, A7
 Fabbiano G., 2006, *ARA&A*, 44, 323
 Gilfanov M., 2004, *MNRAS*, 349, 146
 Grimm H. J., Gilfanov M., Sunyaev R., 2003, *MNRAS*, 339, 793
 Hunt Q., Gallo E., Chandar R., Johns Mulia P., Mok A., Prestwich A., Liu S., 2021, *ApJ*, 912, 31
 Islam N., ve diğ., 2021, *New Astron.*, 85, 101514

Çizelge 4. NGC 6946 galaksisinde belirlenen XRB'lerin X-ışın ışıma güçleri ve X-ışın Özellikleri

Gözlem No.	Kaynaklar için L_X (erg s ⁻¹)								S (1)	oran (2)	sınıf (3)
	1043	4404	4631	4632	4633	13435	17878	19040			
1	93.37	82.06	85.97	106.27	103.01	71.19	73.14	84.31	14.67	1.49	L
2	21.27	20.26	14.03	14.11	13.56	7.80	9.01	10.29	18.58	2.73	L
4	9.72	4.30	-	-	2.83	7.79	-	3.88	15.63	3.44	H
5	9.84	14.90	-	10.79	11.64	6.93	-	10.92	10.46	2.15	L
6	4.52	3.31	3.94	4.39	6.09	4.73	6.18	4.79	6.03	1.86	H
7	4.47	4.42	6.92	5.37	5.38	3.48	6.00	5.23	6.04	1.99	H
8	4.17	2.63	2.96	2.93	4.51	5.32	6.12	6.00	7.61	2.33	H
9	5.14	2.81	3.90	5.14	4.90	-	10.30	4.64	13.29	3.66	H
10	3.75	2.68	2.69	3.24	4.14	3.91	1.12	0.39	7.53	3.70	L
11	2.76	2.92	2.92	2.30	3.30	1.50	-	2.51	4.35	2.20	H
12	2.38	1.95	3.50	1.29	3.44	0.48	3.73	1.22	9.54	7.77	H
13	2.30	0.05	-	-	0.19	0.02	-	2.40	4.55	142.64	H
14	2.15	1.27	2.57	3.16	3.87	2.52	1.92	1.76	6.56	3.05	H
15	1.98	1.62	2.25	1.69	2.45	1.27	1.05	1.65	4.26	2.33	H
16	1.20	1.23	-	1.05	2.51	1.19	-	2.87	3.03	2.74	L
17	1.21	0.94	1.54	1.49	1.51	1.66	1.04	1.13	2.45	1.76	H
18	0.75	0.47	-	-	0.09	0.22	-	0.46	5.56	8.40	H
19	0.78	0.87	0.49	0.77	0.93	0.09	0.75	0.44	4.20	10.87	L
20	0.74	0.16	-	-	0.03	0.40	-	1.37	3.28	50.67	A
22	0.62	0.01	-	-	0.00	0.48	-	0.00	7.15	45.06	H
23	0.78	0.22	0.20	0.20	0.47	0.49	-	0.80	1.83	4.04	H
24	0.54	0.37	0.62	0.60	0.81	0.69	0.70	0.51	2.25	2.17	H
26	0.45	0.41	-	0.03	0.54	0.06	-	0.07	3.43	19.95	uc
27	0.38	0.64	-	-	-	0.48	-	-	1.87	1.71	H
28	0.42	0.80	-	-	0.00	0.00	-	0.98	1.58	2.33	H
30	0.52	0.36	-	-	0.27	0.00	-	0.41	1.97	1.93	uc
31	0.35	0.39	0.55	0.58	0.45	0.16	0.20	0.31	2.44	3.63	L
32	0.92	0.39	1.07	0.87	1.11	-	0.95	0.92	3.33	2.88	L
33	0.37	0.54	0.55	0.49	0.70	0.63	0.59	0.79	1.31	2.14	H
34	0.75	3.34	2.58	0.03	0.26	-	3.86	0.10	11.94	113.11	H
35	0.29	0.37	0.10	0.00	0.11	0.15	0.04	0.25	2.93	9.33	H
37	0.30	0.76	-	-	0.00	0.00	-	0.37	3.09	2.49	H
38	0.31	0.36	0.35	0.53	0.38	0.19	0.16	0.21	2.38	3.22	H
39	0.30	0.28	0.18	0.04	0.20	0.00	-	0.35	1.22	8.13	uc
41	0.30	0.54	0.49	0.31	0.51	0.17	0.29	0.54	1.25	3.25	L
42	0.23	0.24	0.32	0.17	0.00	0.09	0.28	0.10	0.73	1.90	uc
44	0.19	0.30	-	0.20	0.06	0.03	-	0.10	2.06	8.69	H
46	0.18	0.18	0.06	0.18	0.05	0.11	0.13	0.10	1.51	3.61	L
47	0.19	0.16	0.07	0.05	0.22	0.11	0.12	-	1.34	4.88	H
48	0.44	0.42	0.39	0.62	0.93	0.24	0.47	0.41	3.17	3.87	H
49	0.20	2.59	0.11	0.34	2.56	1.67	0.15	0.27	9.91	24.26	L
50	0.28	0.19	0.12	0.16	0.21	0.02	0.33	0.36	0.93	2.94	L
51	0.25	0.28	-	-	0.12	0.05	-	0.00	1.98	5.12	L
52	0.19	0.22	0.46	0.60	0.51	-	0.00	0.95	2.14	5.00	H
53	0.17	0.26	0.30	0.30	0.04	0.04	-	0.00	2.08	7.59	A
55	0.45	0.65	1.17	0.51	0.30	0.14	0.90	0.70	4.84	8.34	L
56	0.13	0.24	-	0.11	0.00	0.17	-	0.00	1.16	2.18	A
57	0.15	1.35	0.09	0.35	0.41	0.66	0.10	0.09	6.61	15.86	H
58	0.14	0.26	-	-	0.10	0.00	-	0.00	1.27	2.47	L
59	0.16	0.23	0.48	0.69	0.72	0.66	0.90	0.56	4.53	5.76	A
60	0.11	0.19	0.27	0.14	0.05	0.05	0.13	0.01	1.36	31.50	L
61	0.14	0.42	0.28	0.33	0.09	0.00	0.00	0.74	1.99	8.56	H
62	0.06	2.91	0.71	0.58	0.60	0.30	0.12	0.20	11.23	45.19	H
63	-	0.57	0.35	0.49	0.19	0.58	1.08	0.47	4.56	5.65	H
64	0.12	0.30	0.18	0.12	0.20	0.40	0.09	0.08	1.59	5.07	H
65	0.15	0.30	0.52	0.40	0.15	0.05	0.40	0.50	3.22	9.54	L
66	0.22	0.18	0.46	0.36	0.12	-	0.13	0.18	2.22	3.93	L
67	-	0.03	5.89	4.78	5.07	0.18	0.19	0.06	14.46	215.62	H
69	0.18	-	0.00	0.66	0.68	-	0.92	0.08	3.81	10.97	H
70	-	0.12	0.41	0.43	0.53	-	0.27	0.16	2.64	4.27	L
71	0.31	0.25	0.33	0.39	0.33	0.10	0.18	0.00	2.10	3.87	L
72	0.09	0.09	0.24	0.32	0.09	0.13	0.31	0.14	1.70	3.40	H
73	0.09	0.08	0.32	0.18	0.22	0.16	0.14	0.41	1.23	5.23	H
74	0.14	0.04	0.28	0.26	0.00	0.00	0.07	0.00	2.20	7.26	L



Şekil 4. NGC 6946 galaksisinde belirlenen XRB'lerin olası optik adaylarının farklı renk değerlerine göre elde edilen CMD'leri. Siyah noktalar olası optik karşılıkları, renkli çizgiler ise farklı yaşlardaki Parsec eş-yaş çizgilerini temsil etmektedir. Eş-yaş çizgilerine $A_V=0.85$ mag. sönmüleme düzeltilmesi yapılmıştır.

Jin R., Kong A. K. H., 2019, *ApJ*, 879, 112
 Johns Mulia P., Chandar R., Rangelov B., 2019, *ApJ*, 871, 122
 Mineo S., Gilfanov M., Sunyaev R., 2012, *MNRAS*, 419, 2095
 Murphy J. W., Khan R., Williams B., Dolphin A. E., Dalcanton J.,
 Díaz-Rodríguez M., 2018, *ApJ*, 860, 117
 Prestwich A. H., Irwin J. A., Kilgard R. E., Krauss M. I., Zezas A.,
 Primi F., Kaaret P., Boroson B., 2003, *ApJ*, 595, 719
 Schlafly E. F., Finkbeiner D. P., 2011, *ApJ*, 737, 103
 Vulic N., Gallagher S. C., Barmby P., 2014, *ApJ*, 790, 136
 Walsh W., Beck R., Thuma G., Weiss A., Wielebinski R., Dumke
 M., 2002, *A&A*, 388, 7
 de Vaucouleurs G., 1991, *Science*, 254, 1667, *ADS*

Access:

M25-0329: *Turkish J.A&A* — Vol.6, Issue 3.