







NGC 4490 Galaksisindeki Sıkı Yıldız Kümeleri ve X-ışın Çiftleri Arasındaki İlişkinin Araştırılması

Özge Döner¹  , Aysun Akyüz^{1,2} , İnci Akkaya Oralhan³ , Sinan Allak¹ ,
Seda Acar³ 

¹ Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi (UZAYMER), Çukurova Üniversitesi, Adana, 01330, Türkiye

² Fen-Edeb Fak. Fizik Böl. Çukurova Üniversitesi, Adana, 01330, Türkiye

³ Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 38039, Türkiye

Accepted: November 14, 2022. Revised: November 14, 2022. Received: November 13, 2022.

Özet

Bu çalışmada, yerel küme ötesi galaksilerden biri olan NGC 4490 galaksisinin sıkı yıldız kümeleri ve X-ışın çiftleri (XRB) arasındaki olası bağıntı araştırıldı. 2013 yılına ait çok bantlı HST arşiv verilerinin analizi ve küme belirleme kriterleri uygulamalarından sonra 185 sıkı yıldız kümesi tanımlandı. Bu kümelere en uygun SSP (Simple Stellar Population) modeli ile kümelerin yaş ve kütle değerleri belirlendi. 8 Chandra arşiv verisinin analizi sonucu ışıtmaları $1.5 \times 10^{36} < L_x < 3.5 \times 10^{39}$ erg s⁻² olan 91 XRB kaynağı belirlendi. Bu XRB'ler, optik karşılıklarının olup olmadığına ve oluşturulan renk-renk diyagramlarındaki bilgileri doğrultusunda LMXB veya HMXB olarak sınıflandırıldı. Devam eden tez çalışmamızın sonraki aşamasında, belirlediğimiz kümelerle bu XRB'lerin olası ilişkileri araştırılacak ve bu kaynakların doğası tartışılacaktır.

Abstract

In this study, the possible correlation between compact star clusters and X-ray binaries (XRB) in galaxy NGC 4490, one of the local cluster galaxies, was investigated. 185 tight star clusters were identified after analyzing multi-band HST (Hubble Space Telescope) archive data from 2013 and cluster identification criteria. The clusters' ages and masses were calculated by applying the most appropriate SSP (Simple Stellar Population) model to these clusters. As a result of the analysis of 8 Chandra archive data, 91 XRB sources with radiations of $1.5 \times 10^{36} < L_x < 3.5 \times 10^{39}$ erg s⁻² were identified. Based on their optical counterparts and the information in the color-color diagrams created, these XRBs were classified as LMXB (Low Mass X-Ray Binaries) or HMXB (High Mass X-Ray Binaries). In the next steps of our ongoing thesis work, the possible relationships of these XRBs with the clusters will be investigated and the nature of these sources will be discussed.

Anahtar Kelimeler: galaxies: individual: NGC 4490 – galaxies: star clusters: general – X-rays: binaries

1 Giriş

Yıldız kümelerinde X-ışını yayınının temel kaynağı çift yıldızlardır. Bu yıldızları kütlelerine göre iki sınıfa ayırmak mümkündür: Küçük Kütleli X-ışın Çiftleri (Low Mass X-Ray Binaries, LMXBs), Büyük Kütleli X-ışın Çiftleri (High Mass X-Ray Binaries, HMXBs). X-ışın çiftlerinde birincil yıldız sıkı (compact) bir cisimdir. Dolayısıyla bu cisim bir beyaz cüce, nötron yıldızı veya bir karadelik olabilir. LMXB'lerde ikincil yıldız $< 1 M_{\odot}$ kütleline, HMXB'lerde ise ikincil yıldız $> 10 M_{\odot}$ kütleline sahip olabilir (Casares ve diğ. 2017; Hunt ve diğ. 2021).

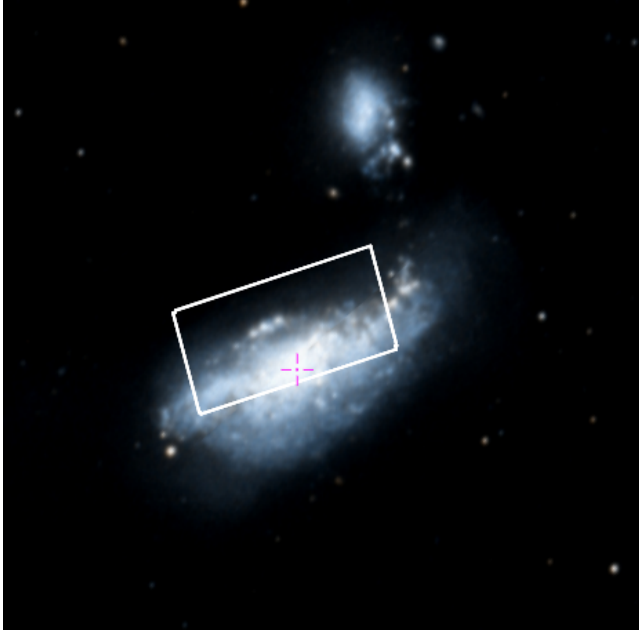
X-ışın çiftinin (XRB) doğası ve yıldız kümelerinin evrimi hakkında daha çok bilgi edinmek amacıyla bu kümelere yada yakın konumda bulunan XRB'lerin araştırılması önemlidir (Verbunt & Lewin 2006). Yıldız oluşumunun devam ettiği galaksilerde birçok XRB'nin, içinde ya da yakınında bulunduğu yıldız kümeleri ile ilişkili olduğuna işaret eden çalışmalar vardır (Zezas ve diğ. 2002; Kaaret ve diğ. 2004; Rangelov ve diğ. 2012).

Bir yıldız kümesinin yaşı, XRB'nin sınıfı ve yaşı hakkında ipucu sağlar. Bunun sebebi büyük kütleli yıldızlara sahip

olan yoğun genç yıldız kümelerinin dinamiksel olarak aktif olmalarıdır. Bu yıldız kümeleri X-ışın kaynaklarının olduğu olası bölgelerdir. Büyük kütleli yıldızlar hidrojeni yaklaşık 10 Myıl'da bitirir. Küçük kütleli bir yıldız için bu süre yaklaşık 300-400 Myıl'dır. Bu ise büyük kütleli yıldızların bulunduğu bir kümenin içinde yada yakınlarında HMXB'lerin bulunabileceğine benzer şekilde Küçük kütleli yıldızların bulunduğu bir kümede ise LMXB'lerin bulunabileceğine işaret eder. Başak Kümesi'ndeki 11 büyük erken tip galakside yapılan çalışmalar LMXB'lerin dinamik etkileşimler sonucu küresel kümelere oluştuğunu göstermiştir (Sivakoff ve diğ. 2007). NGC 4449 galaksisinde yıldız kümeleri ve XRB'ler arasındaki ilişkileri araştıran çalışmada, HMXB'lerin oluşumlarının olası nedeninin genç ve yoğun yıldız kümelerindeki dinamik etkileşimler olduğunu belirtmiştir (Garofali ve diğ. 2012).

NGC 4490, 7.8 Mpc'lik bir uzaklıkta bulunan geç tip sarmal bir galaksidir (Tully 1988). Lineer boyutu 15 kpc'dir. Yıldız oluşum oranı $SFR=1 M_{\odot} \text{ yıl}^{-1}$ (Grimm ve diğ. 2003) olan galaksi NGC 4485 ile birlikte etkileşen galaksi çiftlerinden biridir. Galaksi NGC 4490'da bulunan yıldız kümelerinin belirlendiği veya kümelerin katalogları konusunda literatürde bir çalışma bulunmamaktadır. Yalnızca Gusev ve diğ. (2008) çalışmasında, bu galaksi için yer-tabanlı gözlemleri kullanarak NGC 4490 galaksisinin de dahil olduğu beş galakside belirlenen

* dnrozge@gmail.com



Şekil 1. Galaksi NGC 4490'nin DSS görüntüsü ve HST WFC3/UVIS'in görüş alanı beyaz dikdörtgen ile gösterilmiştir.

169 genç yıldız oluşum kompleksleri için bir evrimsel model sistemi kullanarak çok renkli UBV_r ve H α fotometrik verilerinin analizlerinin sonuçlarını karşılaştırmış ve standart belirsizlikler çerçevesinde 102 yıldız oluşum kompleksi için yaş ve yıldızlararası soğurma değerleri tahmin etmişlerdir.

Bu çalışmada, NGC 4490 galaksisi HST verileri yardımıyla sıkı yıldız kümelerinin belirlenmesi ve Chandra X-ışın kaynakları ile olası bağlantıların araştırılması için seçilmiştir.

2 Gözlemler ve Veri Analizi

Bu çalışmada, 2013 yılına ait HST/WFC3 kamerasının UBVI dalgaboylarına karşılık gelen verileri kullanılarak yıldız küme adayları belirlendi. HST gözlem alanının galaksinin DSS görüntüsü üzerinde kapladığı alan Şekil 1'de gösterilmiştir. HST arşiv verilerinin fotometrik analizleri için IRAF ve BAOLAB programları kullanıldı. 2001-2022 yılları arasında alınan 8 Chandra veri seti kullanılarak X-ışın kaynakları belirlendi. Chandra arşiv verilerinin analizi için CIAO v4.12 programı kullanıldı.

3 Bulgular

HST verilerinin analizleri sonucu elde ettiğimiz kaynaklara küme seçim kriterleri uygulanı. Bu kriterler :

- 1) Parlaklık sınırı $m_V < 23$ ($M_V \leq -6.5$) kadir olarak seçildi.
- 2) Concentration index (CI) değeri $1.2 < CI < 2$ aralığında alındı.
- 3) $I_{\text{shape}}_{\text{FWHM}} > 0.2$ pikselden büyük değere sahip kaynaklar küme adayı olarak seçildi.
- 4) Seçilen küme adaylarını merkeze alarak yarıçapı 5 piksel olan alan içerisinde başka kaynağın bulunmaması kriteri de uygulanıp izole olan küme adayları belirlendi. Tüm bu ölçütlere ek olarak kümelerin tek tek gözle de kontrolü sağlandı ve 185 sıkı yıldız kümesi belirlendi. Bu kümelere ait renk-renk diyagramı Şekil 2 sol panelde verilmektedir. Bu diyagramda, Kroupa IMF $Z=0.008$ metalisite değerine göre en uygun SSP (Simple Stellar Population) modeli seçildi (model için $E(B-V)=0.016$ mag değeri kullanıldı;

(Schlegel ve diğ. 1998)). Kümelere ait kütle ve yaş verileri elde edildi. Ayrıca, belirlenen tüm kümeler için oluşturulan kütle-yaş dağılımı Şekil 2 sağ panelde verilmektedir.

Galaksi NGC 4490'nin kümelerinin kütle (Şekil 3 sol panel) ve yaş fonksiyonlarının dağılımı (Şekil 3 sağ panel) elde edilmiştir. Genel olarak evrimleşmiş bir galakside küme yaşları $7 < \log(\tau) < 8$ yıl aralığında olan çok fazla küme olmamasına rağmen bu galakside bu aralıkta (Şekil 3 sol panel) oldukça çok sayıda kümenin yer aldığı görülmektedir. Radyo gözlemleriyle, NGC 4490/4485 etkileşen galakside son 100 milyon yılda yıldız oluşum geçmişinin incelendiği Clemens ve diğ. (1999)'nin çalışmasında belirtildiği gibi bu galaksi halen evrimleşmeye devam eden ve yeni yıldız oluşumlarının tespit edildiği bir galaksidir.

8 Chandra gözleminde 91 X-ışın kaynağı, $1.5 \times 10^{36} < L_x < 3.5 \times 10^{39}$ erg s^{-1} ısıtma aralığında tespit edildi. Tüm kaynakların X-ışın renk-renk grafiği literatürdeki renk aralıkları kullanılarak sınıflandırıldı (Şekil 4 sol panel; (Prestwich ve diğ. 2003; Vulic ve diğ. 2013)).

NGC 4490'da bulunan XRB'lerin optik karşılıklarını belirlemek için Chandra-GAIA ve GAIA-HST görüntüleri karşılaştırılarak yapılan astrometrik hesaplamalarla toplam astrometrik hata yarıçapı $0''.23$ (1σ) olarak hesaplandı. 28 XRB, Chandra ile HST'nin görüş alanının örtüştüğü alanda bulunmaktadır. 25 optik karşılığı belirlenen XRB'ler HMXB olarak sınıflandırıldı ve bunlardan bazıları Şekil 5 sol panelde gösterildi.

Olası optik adaylarının yaş ve kütle değerlerini belirleyebilmek için renk-kadir diyagramı oluşturuldu (Şekil 4 Sağ panel). Buna göre olası donör kütleleri $> 3 M_{\odot}$ belirlendi.

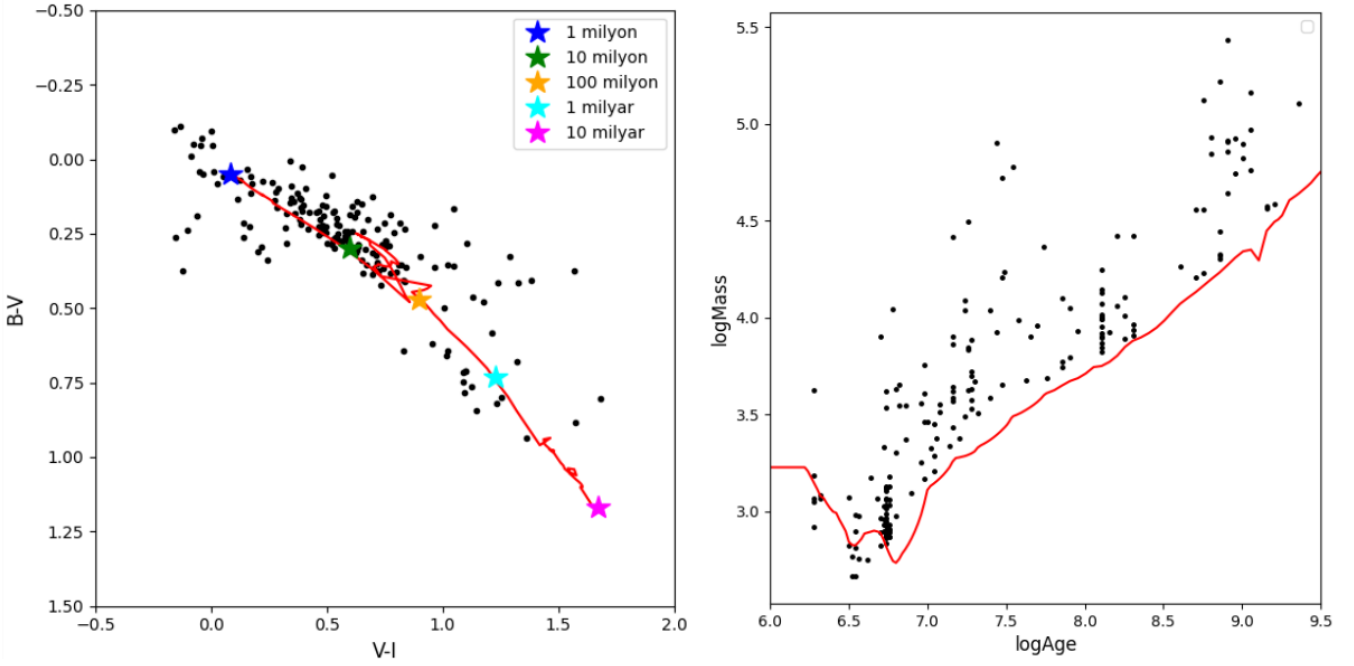
Optik ve X-ışın analizlerinin sonucunda elde edilen kümeler ve X-ışın kaynakları karşılaştırıldığında Chandra ile HST'nin örtüşen alanında 28 XRB bulunmaktadır. Bu kaynakların 14'ünün uzaklığı (d) < 200 pc olan kümeler ile ilişkili olduğu varsayılmaktadır (Çizelge 1). İki XRB (X19 ve X30) ile ilişkili olduğu dikkate alınan kümelerin konumları Şekil 5 sağ panelde gösterilmektedir.

4 Ön Sonuçlar

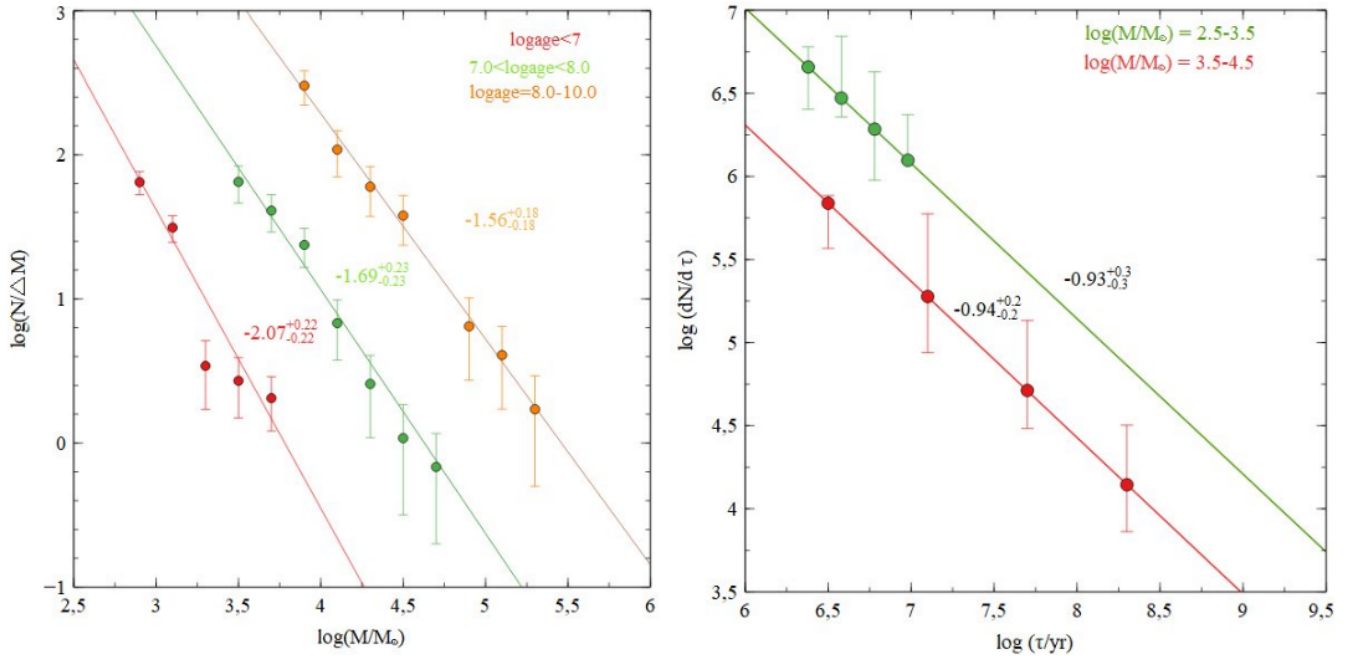
Sürdürdüğümüz çalışmamızda şimdiye kadar elde ettiğimiz başlıca sonuçlarımız şu şekilde özetlenebilir:

- a. Galaksi NGC 4490'a SSP modeli uygulanarak ($< 1\sigma$ standart sapmaya sahip) 185 sıkı yıldız kümesi belirlendi.
- b. HST/WFC3 alanında toplam 28 XRB belirlendi. Bunlardan 25'nin optik karşılığı tespit edildi ve bunlar X-ışın özellikleri ve genç kümelerle olan uzaklıkları ($d < 200$ pc) dikkate alınarak HMXB olarak sınıflandırıldı. Geriye kalan 3 XRB'nin HST görüntülerinde optik karşılıklarının olmaması ve yaşlı kümelerle olan uzaklıklarına göre LMXB olarak sınıflandırıldı.
- c. 14 XRB'den 9'u $d < 200$ pc uzaklıkta bulunan çok genç kümelerle ($\tau < 10^7$ yıl), 3'ü $10^7 < \tau < 10^8$ yıl aralığında yaşa sahip kümelerle ilişki iken 2'si $\tau > 10^8$ yıl olan yaşlı kümelerle ilişkilidir.
- d. HMXB'lerin ilişkili olduğu kümelerin büyük bir çoğunluğu genç olduğu ve beklendiği gibi bu çift yıldızların spiral kollarda ve diskte bulunduğu belirlendi.

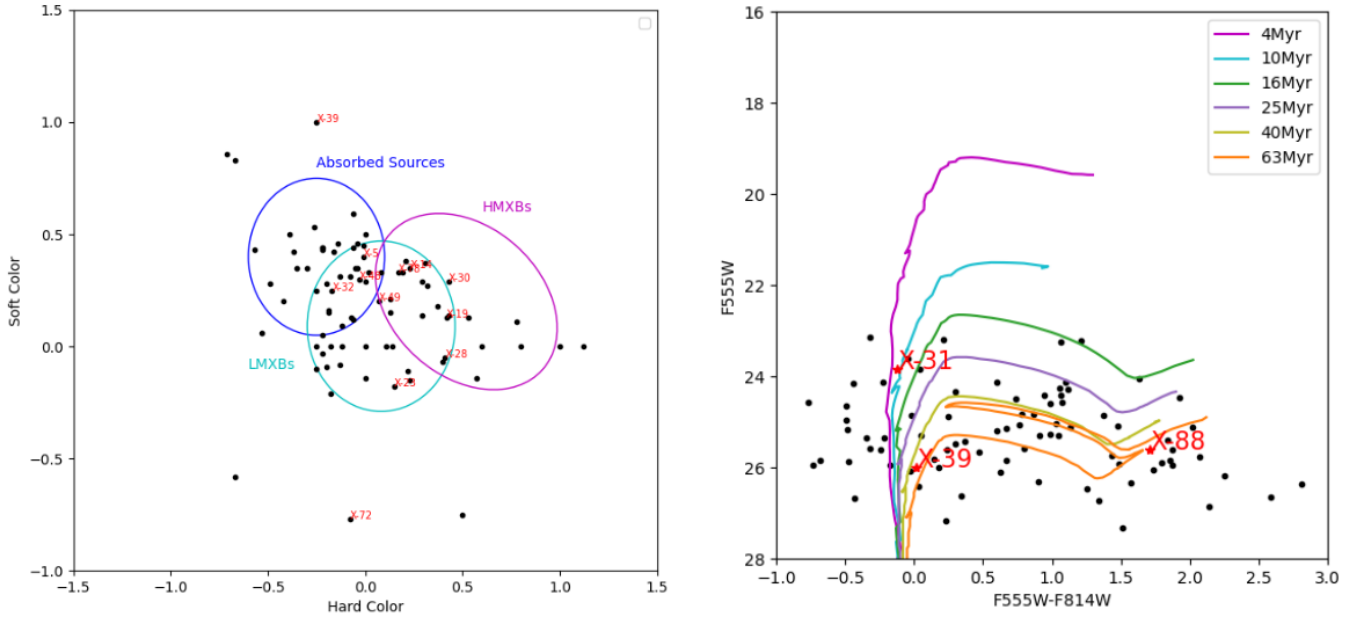
Bu çalışma, devam eden bir tez çalışması kapsamında olup, NGC 4490'da bulunan sıkı yıldız kümeleri ve XRB'lerin arasındaki olası ilişki ve belirlenen çift sistemlerin sınıflandırılması hakkında araştırmamız sürdürülmektedir.



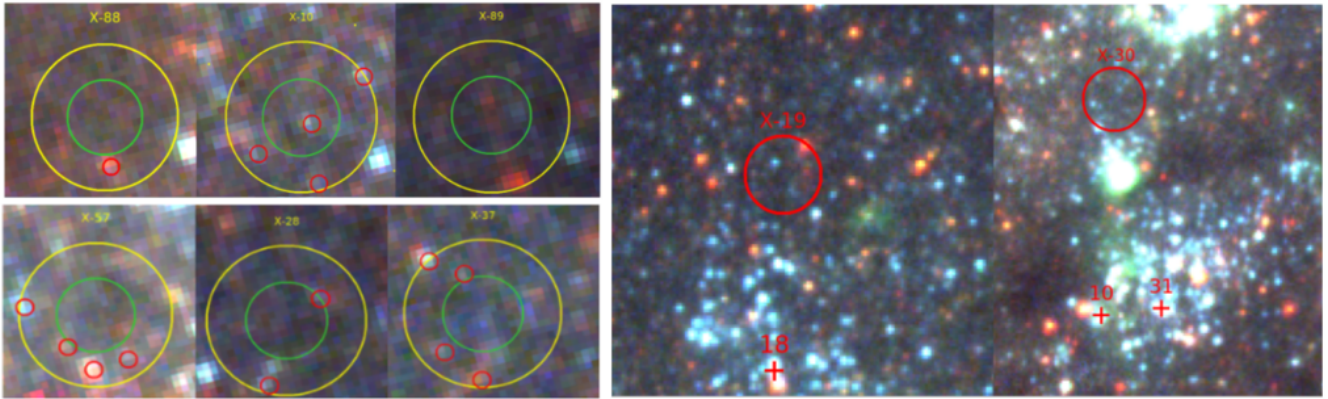
Şekil 2. NGC 4490 galaksisinde belirlenen kümeler için renk-renk diyagramı(Sol). Siyah noktalar yıldız kümelerini temsil etmektedir. Kırmızı sürekli çizgi $E(B-V)=0.016$ kadar kıztartılmış $Z=0.008$ değerine göre seçilmiş SSP modelini göstermektedir. Yıldız sembolleri ile modelin yaş aralıkları gösterilmiştir.NGC 4490 için elde edilen kütle-yaş dağılım grafiği (Sağ). Kırmızı sürekli çizgi $M_V \sim -6.8$ kadar sınırını, siyah noktalar ise belirlenen kümeleri temsil etmektedir. Burada x ekseninin birimi yıl, y eksenin ise M_{\odot} 'dir.



Şekil 3. NGC 4490 galaksisinde belirlenen kümelerin kütle fonksiyonları(Sol). Genç, orta ve yaşlı kümeler sırasıyla içi dolu kırmızı, yeşil ve turuncu daireler ile gösterilmiştir ve her biri için aynı renkte olan çizgilerle eğimleri gösterilmiştir. Kütle dağılımları için bulunan eğimler genç kümelerde $\beta = -2.07 \pm 0.22$ iken, orta yaşlı kümelerde $\beta = -1.69 \pm 0.23$ ve yaşlı kümelerde $\beta = -1.56 \pm 0.18$ olarak bulunmuştur.NGC 4490 küme popülasyonunda belirlenen kütle aralıklarında yaş dağılımı (Sağ). Burada küçük kütleli kümeler için $\gamma = -0.94$ ve büyük kütleli için $\gamma = -0.93$ ile en iyi üstel fonksiyon elde edilmiştir.



Şekil 4. Galaksi NGC 4490'da belirlenen X-ışın kaynaklarının renk-renk grafiği(Sol). 8 Chandra gözleminden en yüksek foton sayısına sahip gözlem verisi kullanıldı. LMXB, HMXB ve yüksek soğurmali (absorbed) olarak sınıflandırılan kaynaklar sırasıyla yeşil, mor ve mavi daireler ile temsil edilmektedir. Burada siyah noktalar belirlediğimiz XRB'leri göstermektedir. Optik karşılıkları olan kaynaklar kırmızı numaralar ile gösterilmektedir. NGC 4490 galaksisinin renk-kadir diyagramı(Sağ) (CMD), belirlenen XRB'lerden X31, X39 ve X88'in olası tek optik karşılıkları (kırmızı çarpılar), siyah noktalar birden fazla optik karşılığa sahip X-ışın kaynaklarını temsil etmektedir.



Şekil 5. $1-\sigma$ (yeşil daireler) ve 2σ (sarı daireler) yarıçapı içinde bazı X-ışın kaynaklarının olası optik karşılıkları (Sol) (kırmızı daireler). Tüm filtrelerde (UBVRI) olan kaynaklar optik karşılık olarak belirlenmiştir. X-28'deki sol alttaki mavi kaynak ve X-89'daki kırmızı kaynak V filtresinde algılanmamıştır. Örnek olarak, optik karşılığı olmayan X-89 kaynağı gösterilmiştir. Galaksi NGC 4490'da X19 ve X30 kaynaklarının ve $d < 200$ pc uzaklık içinde ilişkili olduğu varsayılan küme adaylarının (X19 için küme numarası 18; X30 için ise 10 ve 31) HST/ACS F555W görüntüsü üzerinde gösterimi (Sağ). Astrometri düzeltilmesi yapılan XRB'ler kırmızı çember ile gösterilmektedir. Kırmızı artı işareti ise X-ışın kaynakları ile ilişkili olası küme adaylarını temsil etmektedir.

Kaynaklar

- 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
- Clemens M. S., Alexander P., Green D. A., 1999, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 307, 481
- Garofali K., Converse J. M., Chandar R., Rangelov B., 2012, ApJ, 755, 49
- Grimm H. J., Gilfanov M., Sunyaev R., 2003, MNRAS, 339, 793

- Gusev A. S., Myakutin V. I., Piskunov A. E., Sakhibov F. K., Khramtsova M. S., 2008, Astronomy Reports, 52, 714
- Hunt Q., Gallo E., Chandar R., Johns Mulia P., Mok A., Prestwich A., Liu S., 2021, ApJ, 912, 31
- Kaaret P., Alonso-Herrero A., Gallagher J. S., Fabbiano G., Zezas A., Rieke M. J., 2004, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 348, L28
- Prestwich A. H., Irwin J. A., Kilgard R. E., Krauss M. I., Zezas A., Primini F., Kaaret P., Boroson B., 2003, The Astrophysical

Çizelge 1. NGC 4490'da belirlenen X-ışın kaynakları ve yakın kümelerin özellikleri. IMXB, orta kütleli XRB'leri göstermekte olup kütle değerleri LMXB ve HMXB'ler arasında kabul edilmektedir. Not: (1) Birden fazla optik karşılığı olan XRB'ler; (2) $d < 200$ pc'den daha yakın olan birden fazla küme ile eşleşen XRB'ler.

X-ışın ID	Not	Küme ID	log Kütle (M_{\odot})	log Yaş ($\tau \text{ yr}^{-1}$)	X-ışın Küme Uzaklığı (pc)	XRB Sınıfı
X14	1	104	3.8	7.3	87	HMXBs/IMXBs
X19	1	18	2.9	6.3	93	HMXBs/IMXBs
X23	1,2	49	3.1	6.7	80	HMXBs/IMXBs
X28	1	52	3.1	6.7	192	IMXBs
X30	1,2	31	3.1	6.7	128	HMXB
X32	1,2	11	2.8	6.5	23	HMXBs/IMXBs
X39		176	4.3	8.9	161	IMXB
X48	1,2	53	2.9	6.8	75	HMXB
X49	1	180	4.4	8.9	64	HMXBs/IMXBs
X72	1,2	7	2.9	6.5	36	HMXBs
X78	1	60	3.6	6.7	125	IMXBs
X4	1,2	95	3.70	7.28	76	HMXB
X5	1,2	29	3.07	6.72	176	HMXB
X34	1,2	101	3.9	7.6	79	HMXB

[Journal](#), 595, 719

Rangelov B., Chandar R., Prestwich A., Whitmore B. C., 2012, [The Astrophysical Journal](#), 758, 99

Schlegel D. J., Finkbeiner D. P., Davis M., 1998, [ApJ](#), 500, 525

Sivakoff G. R., ve diğ., 2007, [ApJ](#), 660, 1246

Tully R. B., 1988, *Science*, 242, 310, [ADS](#)

Verbunt F., Lewin W. H. G., 2006, in , Vol. 39, Compact stellar X-ray sources. Cambridge University Press, pp 341–379

Vulic N., Barmby P., Gallagher S. C., 2013, [The Astrophysical Journal](#), 763, 96

Zezas A., Fabbiano G., Rots A. H., Murray S. S., 2002, [ApJ](#), 577, 710

Access:

M23-0366: [Turkish J.A&A](#) — Vol.4, Issue 3.