






NGC 628'deki X-ışın Çiftleri ve Kompakt Yıldız Kümeleri Arasındaki Bağlantının İncelenmesi

Seda Acar¹  , Aysun Akyüz^{2,3} , İnci Akkaya Oralhan¹ , Şenay Avdan³ ,
Sinan Allak³ 

¹ Erciyes Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 38039, Kayseri, Türkiye

² Çukurova Üniversitesi, Fizik Bölümü, 01330, Adana, Türkiye

³ Çukurova Üniversitesi, Uzay Bilimi ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi (UZAYMER), 01330, Adana, Türkiye

Accepted: December 11, 2022. Revised: November 24, 2022. Received: November 12, 2022.

Özet

Bu çalışmada, *Chandra* ve *HST* uydu arşiv verileri kullanılarak, NGC 628 galaksisindeki X-ışın çiftleri (XRB'ler) ve sıkı yıldız kümeleri arasındaki olası ilişkiler araştırılmıştır. Buna göre, *HST* verileriyle 864 tane kaynak, sıkı yıldız kümesi olarak tanımlanmıştır. Kümelerin renk-renk diyagramından ise kümelere ait yaş ve kütle değerleri belirlenmiştir. Ayrıca bu galaksi alanı içerisinde, *Chandra* verilerine göre ışınım güçleri $3 \times 10^{36} \leq L_X \leq 2 \times 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ ve gözlem zamanları 2000–2018 aralığında olan 69 XRB tanımlanmıştır. Tanımlanan bu 69 XRB içerisinde, *HST* alanıyla örtüşen 42 tane XRB tespit edilmiş ve bunlardan 15 tanesinin optik karşılıkları belirlenmiştir. Bu optik karşılıklar, olası donör yıldızları olup XRB'lerin HMXB veya LMXB olarak sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Son olarak kümeler ile XRB'ler arasındaki ilişkilere de bakılarak, genç ($\tau < 350$ Myıl) kümelerin HMXB ile yaşlı ($\tau > 350$ Myıl) kümelerin ise LMXB ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir.

Abstract

We investigated for a possible connection between the types of X-ray binaries and the properties of compact star clusters in the NGC 628 using *HST* and *Chandra* archive data. 864 compact star clusters were identified using *HST* data. Age and mass values were determined from the color-color diagram of the clusters. Using *Chandra* data covering the years 2001–2018, a total of 69 XRBs were found to be in the luminosity range of $3 \times 10^{36} \leq L_X \leq 2 \times 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$. We identified the optical counterpart of 15 of the 42 XRBs overlapping the *HST* field and classified the sources as HMXB and LMXB based on the presence of these optical counterparts identified as possible donors. It was determined that young ($\tau < 350$ Myear) clusters were associated with HMXB and old ($\tau > 350$ Myear) clusters were associated with LMXB.

Anahtar Kelimeler: X-ray: Binaries, galaxies: star clusters: general, galaxies: individual: NGC 628

1 Giriş

Bir X-ışın çifti (XRB), sıkı bir cisim (bir kara delik veya nötron yıldızı) ve ona eşlik eden bir donör yıldızdan oluşmaktadır. Bu donör yıldızın ışınım gücü ise yaklaşık olarak $L_X \simeq 10^{36-38} \text{ erg s}^{-1}$ 'dir. XRB'ler, donör yıldızlarının kütlelerine (M_d) bağlı olarak Büyük Kütleli X-ışın Çifti (HMXB), Küçük Kütleli X-ışın Çifti (LMXB) ve Orta Kütleli X-ışın Çifti (IMXB) olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. XRB'lerin donör kütlelerine göre sınıflandırılmasında kullanılan kütle limitleri, HMXB için $M_d > 8 M_\odot$, IMXB için $3 M_\odot < M_d < 8 M_\odot$, LMXB için $M_d < 3 M_\odot$ olarak kabul edilmektedir (Chandar ve diğ. 2020; Hunt ve diğ. 2021).

Yakın galaksilerde, XRB'ler ile küme ilişkileri incelenirken yakınındaki kümelere ve o kümelere ait küme üyesi yıldızlara bakılarak XRB'ler hakkında bazı sonuçlara varılabilmektedir (Vulic ve diğ. 2013). Fakat yerel küme ötesi galaksiler söz konusu olduğunda, galaksiye ait yıldız kümelerinin tamamının tespit edilmesi mümkün olmadığından, sadece yıldız sayısı yoğunluğu oldukça yüksek ve parlak olanlar tespit edilebilmektedir. Ayrıca bu kümelere, küme üyesi yıldızların tek tek ayırt edilebilmesi de olanaksız olduğundan kümelerin her

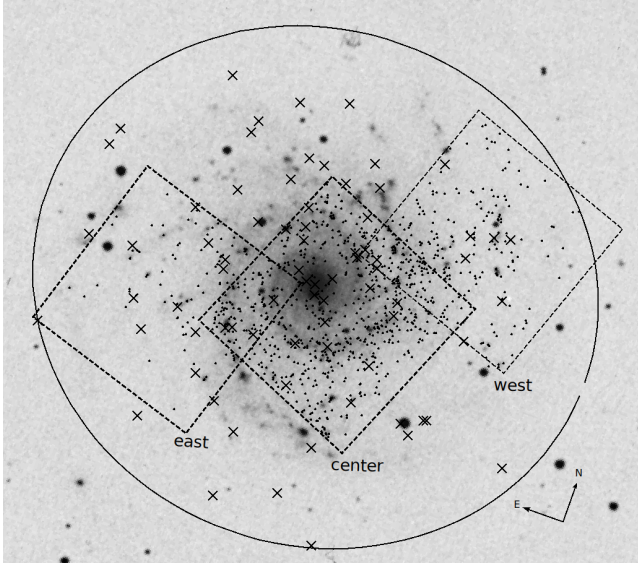
biri nokta kaynak şeklinde gözükmemektedir. Nokta kaynak olarak tespit edilebilen bu sıkı ve yoğun kümelere beklenen yıldız etkileşimleri çok yüksek oranlarda olacağından, bu kümelere bir XRB oluşumu da gerçekleşmiş olabilir. Öyle ki yapılan çalışmalarda, yoğun yıldız kümelerinin yakınlarında tespit edilmiş XRB'lerin bulunması bu olasılığı desteklemektedir. Bazı XRB'lerin ise herhangi bir küme yakınında bulunmayışı; oluşumlarından sonra, oluştukları kümelere belirli hızlarla atılmış olabilecekleri varsayımına dayanmaktadır (Zezas ve diğ. 2002; Kaaret ve diğ. 2004; Rangelov ve diğ. 2011; Garofali ve diğ. 2012).

2 Optik Analizler ve Küme Seçimi

NGC 628, *HST*/ACS Geniş Alan Kamerası (Wide Field Camera, WFC) kullanılarak üç farklı alanda gözlenmiştir. *HST*/ACS gözlemleri galaksinin merkez, doğu ve batı alanlarını kapsamaktadır. NGC 628'in DSS görüntüsü üzerindeki bu alanlar Şekil 1'de gösterilmiştir. Gözlemlere ait bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir.

HST verilerinin fotometrik analizleri, IRAF yazılımı içindeki daophot paketi kullanılarak yapılmış olup, kaynak taraması ise Daofind algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Açıklık fotometrisi, 0.5 ve 3 piksel yarıçaplar için 7 ve 8 piksel arkaplan halkaları kullanılarak Phot paketi ile gerçekleştirilmiştir. Fotometri

* acarseda.1240@gmail.com



Şekil 1. NGC 628'in DSS görüntüsü. Bu çalışmada kullanılan HST/ACS gözlem bölgeleri (doğu, merkez ve batı) kesikli siyah kareler olarak gösterilmiştir. Tespit edilen yıldız kümelerinin yerleri siyah noktalarla gösterilmiştir. Siyah çarpılar, X-ışını kaynaklarının D_{25} bölgesi (siyah elips) içindeki konumunu temsil etmektedir.

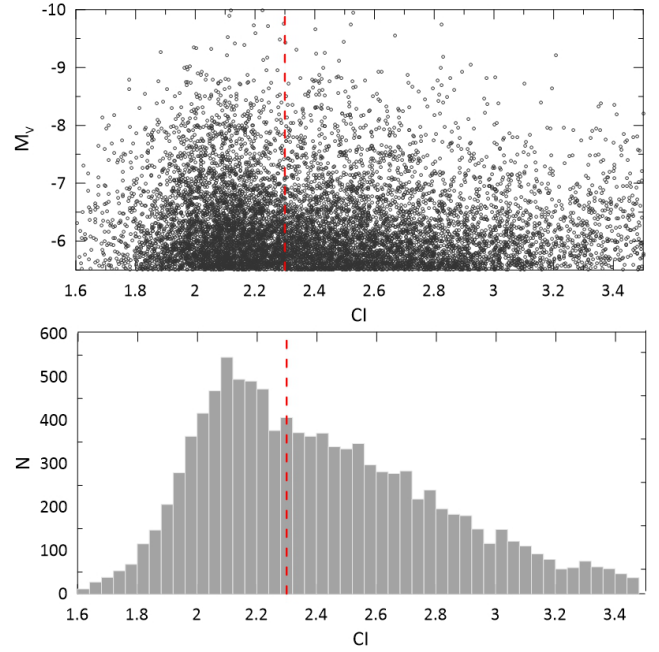
Çizelge 1. HST gözlem bilgileri.

Enstrüman	Bölge	ObsID	Filtre	Poz süresi (s)
ACS/WFC	Center	J96R23011	F435W (B)	1358.0
		J96R23021	F555W (V)	858.0
		J96R23031	F658N (H_{α})	1422.0
		J96R23041	F814W (I)	922.0
ACS/WFC	East	J96R22R9Q	F435W	400.0
		J96R22RGQ	F555W	360.0
		J96R22REQ	F814W	360.0
ACS/WFC	West	J96R21011	F435W	1200.0
		J96R21021	F555W	1000.0
		J96R21031	F658N	1400.0
		J96R21041	F814W	900.0

sonucunda belirlenen HST/ACS parlaklık değerlerini VegaMag parlaklık sistemine dönüştürmek için kullanılan sıfır noktası değerleri [Sirianni ve diğ. \(2005\)](#) yayınından (bkz. Çizelge 10) alınmıştır.

Uzak galaksilerde yıldız kümelerinin üye yıldızları ayırt edilemediğinden, bu kümeler sıkı (compact) nesnelere olarak gözlenirler. Bu nedenle, bu galaksilerdeki sıkı yıldız kümelerini tanımlamak için çeşitli fotometrik kriterler uygulanır ([Chandar ve diğ. 2010](#); [Bastian ve diğ. 2012](#); [Johnson ve diğ. 2012](#)). Kriterlerden biri, yıldızları ve kümeleri ayırt etmek için kullanılan parlaklık sınırıdır, çünkü kümeler genellikle yıldızlardan daha parlaktır. İlk adım olarak kaynakların parlaklığını $m_{F555W} < 25$ kadar olarak seçiyoruz.

İkinci adım, kümeleri yıldızlardan daha iyi ayırt etmek için Konsantrasyon İndisi (Concentration Index, CI) uygulamaktır. CI, kaynak koordinatı merkez olmak üzere iki farklı yarıçap için hesaplanan parlaklık farkı olarak tanımlanır. Sıkı kümeler için CI değeri önemli bir seçim kriteri olup, bu değer alandaki



Şekil 2. (Üst) CI'ye göre $M_V \leq -5.5$ 'ten daha parlak kaynakların dağılımı. Dikey kesikli kırmızı çizgi, sıkı nesnelere ve yıldızları ayırt etmek için kullanılan $CI=2.3$ 'ü temsil etmektedir. (Alt) CI değerlerinin histogramı. Dikey kesikli kırmızı çizgi $CI=2.3$ 'ü temsil etmektedir.

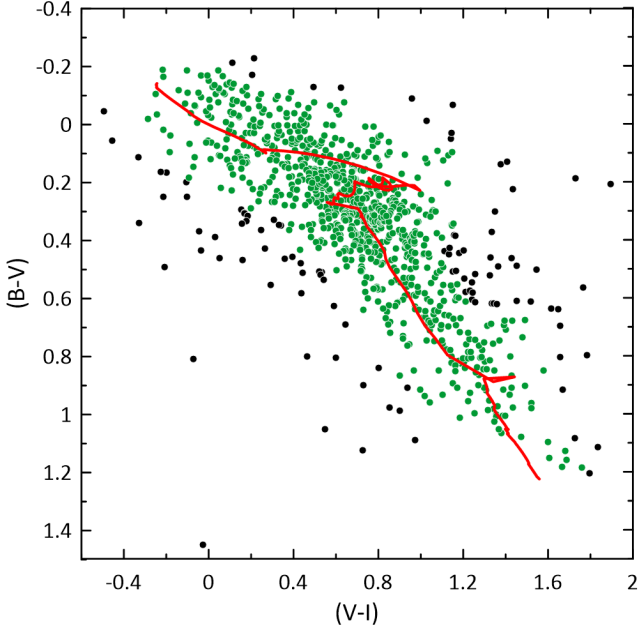
bir yıldızın CI değerinden daha büyük olmalıdır. NGC 628 için alınan yarıçap değerleri sırası ile 0.5 ve 3 pikseldir. Kaynakların mutlak parlaklıklarına (M_V) karşı CI grafiği Şekil 2'nin üst panelinde ve CI'nın histogramı ise alt panelde gösterilmiştir. Kaynakların yıldız olarak tanımlanması için $CI < 2.3$ değerine sahip olduğunu kabul ediyoruz. Öte yandan, $CI > 2.3$ 'ten büyük değere sahip kaynaklar sıkı küme adayları olabilir. Bu nedenle, sonraki adımlar için $CI > 2.3$ olan kaynaklar dikkate alınmıştır.

Üçüncü adım, BA01ab/Ishape ([Larsen & Richtler 1999](#)) yazılımını kullanarak kaynakların boyutunu hesaplamaktır. Ishape analitik profilleri nokta yayılım fonksiyonu (PSF) ile birleştirir ve her kaynak için en uygun profili hesaplar. PSF, her alan için F555W filtresindeki parlak izole yıldızlardan üretilmiştir. Kalan kaynaklar için birkaç farklı profil uygulanmıştır ve en uygun profili 1.5 güç indeksi ile EFF (Elson-Fall-Freeman, [Elson ve diğ. 1987](#)) olarak belirlenmiştir. Çıktılardan biri, kaynakların boyutunu bulmaya yardımcı olan FWHM'dir. Çalışmamızda, $FWHM > 0.2$ piksel olan kaynakları ise küme adayları olarak tanımlanmıştır. Ayrıca FWHM değerleri etkin yarıçapa (r_{eff} : kaynağın toplam ışığının yarısını içeren yarıçap) dönüştürmek için ishape kılavuzunda belirtilen adımlar izlenmiştir.

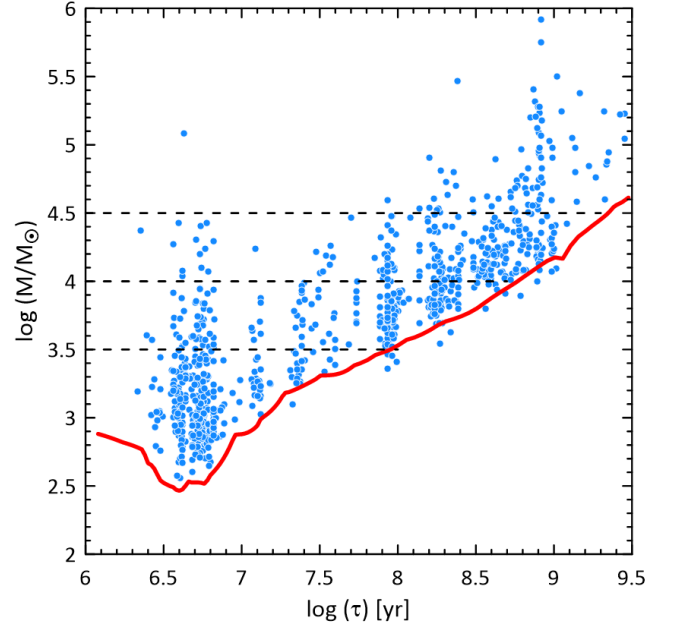
Dördüncü adım, 5 piksellik bir yarıçap alanı içerisinde hiçbir kaynak bulunmayan 'izole' kaynaklar küme adayı olarak seçilmiştir. Son olarak galaksi içerisinde seçilen bu kümeler göz ile tekrar incelenmiş küme yapısı göstermeyen (ardalan galaksi, sıcak nokta ile eşleşme vb.) kaynaklar listemizden çıkartılmıştır.

3 Kümelerin Kütle Yaş Dağılımı

Renk-renk diyagramlarını Basit Yıldız Popülasyonu (SSP) ile karşılaştırmak hem küme yaşının hem de kütlelerinin doğru



Şekil 3. NGC 628'deki yıldız kümelerinin renk-renk diyagramı. Kırmızı düz çizgi, seçilen SSP modeline karşılık gelir. Yeşil ve siyah noktalar, SSP modelinden sırasıyla $\leq 1\sigma$ ve $>1\sigma$ standart sapması olan kümeleri temsil eder.



Şekil 4. NGC 628'deki yıldız kümelerinin kütle-yaş diyagramı. Kırmızı düz çizgi, $M_V = -6.2$ kadir tamlık sınırını göstermektedir. Kesikli çizgiler iki farklı kütle aralığını göstermekte ve geniş bir yaş aralığını kapsamı nedeniyle popülasyonu iyi temsil etmektedir.

Çizelge 2. NGC 628'deki yıldız kümelerinin özelliklerinin örnek bir listesi.

ID	R.A	Dec.	B-V	V-I	r_{eff}	Yaş	Kütle
1	24.202984	15.733198	0.22	0.06	4.17	6.72	3.14
2	24.155932	15.741452	-0.08	0.04	2.47	6.70	3.12
3	24.154451	15.741519	0.09	1.08	2.26	6.94	3.72
4	24.15486	15.741673	0.13	1.03	1.88	6.95	3.00
5	24.156314	15.741799	-0.09	0.23	9.60	6.74	2.72
6	24.153729	15.741869	0.20	0.42	3.27	6.85	3.07
7	24.15578	15.742933	0.90	1.49	9.22	9.11	4.21
8	24.156447	15.743201	0.82	1.17	8.03	9.02	4.20
9	24.160758	15.744161	0.32	0.74	7.23	8.31	4.46
10	24.158929	15.744414	0.27	0.79	6.89	7.18	3.28

belirlenmesi için önemlidir. Ayrıca bu diyagram, kümeleri yıldızlardan ayırmaya yardımcı olabilir. Burada, [Bruzual & Charlot \(2003\)](#) popülasyon sentezi modellerini karşılaştırarak her kümenin yaşını ve kütle tahmin edebiliyoruz. NGC 628 için yıldız kümelerinin renk-renk diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. Bu diyagram F435W–F555W ve F555W–F814W filtreleri kullanılarak oluşturulmuştur. Şekildeki kırmızı sürekli çizgi güneş bolluğunda alınan $E(B - V) = 0.15$ kadir kızarma değerine sahip bir SSP modelini temsil etmektedir. SSP modelinden 1σ (standart sapma) dışında kalanlar dikkate alınmamıştır. Böylelikle, toplam 106 küme elenmiş ve sonraki tüm analizler kalan 864 küme için yapılmıştır. Modellerden sapan SSP'nin üzerindeki kümelerin varlığı, bu kümelerin daha yüksek sönümlenme değerinde olmalarının sonucu olabilir. Benzer şekilde, modelin altındaki kümeler, [Chandar ve diğ. \(2010\)](#)'da belirtildiği gibi yıldızlı konumda bulunan yanlış sınıflandırılmış nesnelere olabilir. Çalışmamızda, yanlış sınıflandırılan nesnelere yüzdesi toplamda yalnızca

$\sim 2\%$ 'dir ve bu da küme seçim kriterlerimizin güvenilir olduğunu gösterir.

Bir yıldız kümesi popülasyonunun kütle ve yaş dağılımları, bir galaksidedeki küme oluşumu ve bozulması hakkında bilgi sağlar. Buna göre SSP modelinden türetilen yıldız kümelerinin kütle-yaş dağılımı Şekil 4'te verilmiştir. $M_V = -6^m 2$ ($m_{F555W} \simeq 24$ kadir), tamlık kadir sınırı (completeness magnitude limit), yaklaşık 6 Myıl ile 9.5 Gyl arasında, düz kırmızı çizgiyle gösterilmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi, NGC 628'deki çoğu küme $7 < \log \tau < 8$ yıl arasındaki zaman içinde dağılmaya uğrar. Bunun nedeni, daha az kütleli ve daha az konsantre olan kümelerin, belirli bir yaş aralığında yıldız evrimi ve gelgit etkileşimleri ile sönükleşmeye başlaması ve daha ileri yaşlarda kaybolması olabilir. Bu nedenle, bu şekildeki dağılım, bir galaksidedeki kümelerin genel evrimi ile uyumludur, böylece büyük kütleli kümeler, düşük kütleli kümelere göre daha yaşlı yaşlarda görülür. Küçük yaşlardaki kümeler için minimum kütle sınırı $\log(M) = 2.6 M_{\odot}$ civarındadır ve maksimum kütle sınırı ise $\log(\tau) = 9.0$ yıl yaşlarda $\log(M) = 5.5 M_{\odot}$ 'e ulaşır. [Adamo ve diğ. \(2017\)](#) ve [Grasha ve diğ. \(2015\)](#) çalışmalarında NGC 628'deki kümeler için benzer kütle-yaş dağılımlarını buldukları, ancak küme sayısının bizim belirlediğimiz sayıdan daha az olduğu anlaşılmaktadır.

4 X-ışın Analizleri ve Renk-Renk Diyagramı

NGC 628'in 2001–2018 yılları arasında toplam 13 *Chandra* gözlemi mevcuttur. Bu çalışmada kullanılan gözlemler Çizelge 3'te detaylandırılmıştır. Veri indirgemeleri, *caldb* ve *ciao* yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak belirleme işlemi, *wavdetect* komutu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. D₂₅ (10'5×9'5, [Mulcahy ve diğ. \(2017\)](#)) alanı içerisinde toplam 75 X-ışın kaynağı tespit edilmiştir.

D₂₅ bölgesinin dışındaki kaynaklar arka plan nesnelere

Çizelge 3. Chandra gözlem bilgileri.

Etiket	ObsID	Tarih	Süresi (ks)
Ch1	2057	2001-06-19	46.36
Ch2	2058	2001-10-19	46.17
Ch3	4753	2003-11-20	5.28
Ch4	4754	2003-12-29	5.04
Ch5	14801	2013-08-21	9.84
Ch6	16000	2013-09-21	39.55
Ch7	16001	2013-10-07	14.73
Ch8	16484	2013-10-10	14.68
Ch9	16485	2013-10-11	8.99
Ch10	16002	2013-11-14	37.57
Ch11	16003	2013-12-15	40.44
Ch12	21000	2018-09-30	9.96
Ch13	20333	2018-11-04	15.84

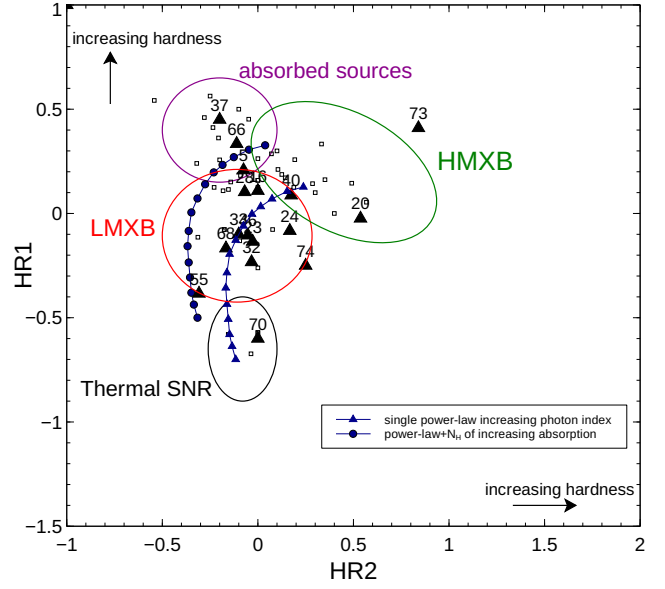
olma olasılığı yüksek olduğu için elenmiştir. Ayrıca, D_{25} bölgesindeki kaynaklardan 6'sı daha listemizden çıkartılmıştır; biri galaksinin merkezi, 2 kaynak Aktif Galaktik Çekirdek (Motch ve diğ. 2016; Flesch 2021) olarak kataloglanmış ve 3 kaynak Sonbaş ve diğ. (2010) tarafından Süpernovakalıntısı (SNR) olarak kataloglanmıştır. Ayrıca tespit edilen bu X-ışın kaynaklarından yalnızca 42'si *HST*'nin görüş alanına girmektedir. Bu kaynakların *DSS* görüntüsündeki konumları Şekil 1'de gösterilmiştir.

X-ışın verilerinin zamansal ve tayfsal analizleri de XRB'lerin sınıflandırılmasına yardımcı olmaktadır. Ancak, yeterli olmayan veri istatistiği, düşük poz süresi gibi durumlarda, kaynakların X-ışın tayfları elde edilemediğinde alternatif metod olarak, farklı enerji aralıklarında renk değerleri olarak tanımlanan sertlik oranı (Hardness Ratio, HR) ve oluşturulan renk-renk diyagramları kaynakların sınıflandırılmasında kullanılabilir. Bu çalışmada sertlik oranları; $H1$ (yumuşak renk) = $(M-S)/T$ ve $H2$ (sert renk) = $(H-M)/T$ şeklinde hesaplanmaktadır. Burada S, M, H ve T sırasıyla 0.3–1 keV (yumuşak), 1–2 keV (orta), 2–8 keV (sert) ve 0.3–8 keV (toplam) enerjilerinde hesaplanan foton sayılarını temsil etmektedir (Prestwich ve diğ. 2003). NGC 628'de bulunan X-ışın kaynaklarının renk-renk (HR_2 'ye karşı HR_1) diyagramı Şekil 5'te gösterilmiştir. Amacımız, literatürde verilen renk aralıklarından yararlanarak X-ışın kaynaklarının LMXB veya HMXB sınıfına dahil olup olmadığını araştırmaktır (Prestwich ve diğ. 2003; Vulic ve diğ. 2013).

Kaynakların en yüksek foton sayı oranı kullanarak elde edilen HR_2 'ye karşı HR_1 grafiği dikkate alındığında galakside belirlenen kaynakların %44'ü LMXB, %30'u HMXB, %26'sı diğerleri olarak sınıflandırılmıştır. Dolayısıyla NGC 628, yıldız oluşum oranı yüksek bir galaksiye özgü olan XRB popülasyonlarının bir kısmına sahiptir. Ancak kaynaklar tek tek incelendiğinde bir çoğu birden fazla gözlemlenmekle birlikte renk değerlerinin değişim gösterdiği dolayısıyla sınıflamaların değişebildiği gözlenmektedir. Bu durum sınıflandırmada belirsizliğe yol açmaktadır. O nedenle XRB'lerin sınıflandırılmasında X-ışın renkleri tek başına yeterli olmamakta ve optik gözlem sonuçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sınıflandırma sonraki bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

5 Sıkı Yıldız Kümeleri ve XRB Arasındaki İlişki

Bu çalışmada, XRB'lerin donör yıldızlarının tanımlanması ve ait oldukları olası sınıfları belirlemek için yakındaki sıkı yıldız

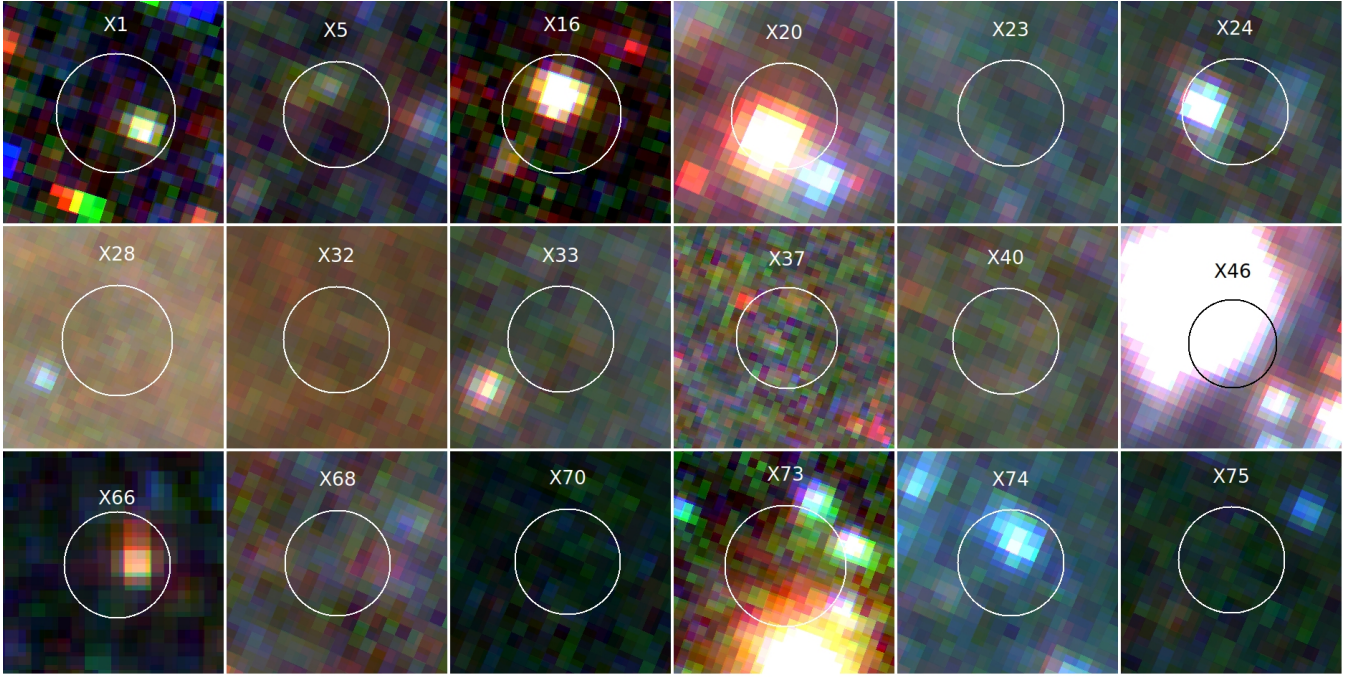


Şekil 5. NGC 628'de D_{25} bölgesinde tespit edilen tüm X-ışın kaynaklarının (açık kareler) X-ışın renk-renk diyagramı. Kümelerle ilişkilendirilebilecek kaynaklar, içi dolu üçgenler ve XRB kaynak numarası ile gösterilmiştir. Mavi üçgenler ve daireler, sırasıyla 0.7'den 3.0'a artan Γ indisi ile güç yasası modelini temsil eder. Kırmızı, yeşil, siyah ve daireler sırasıyla LMXB, HMXB, termal SNR ve soğurulmuş kaynaklar sınıflandırmadır.

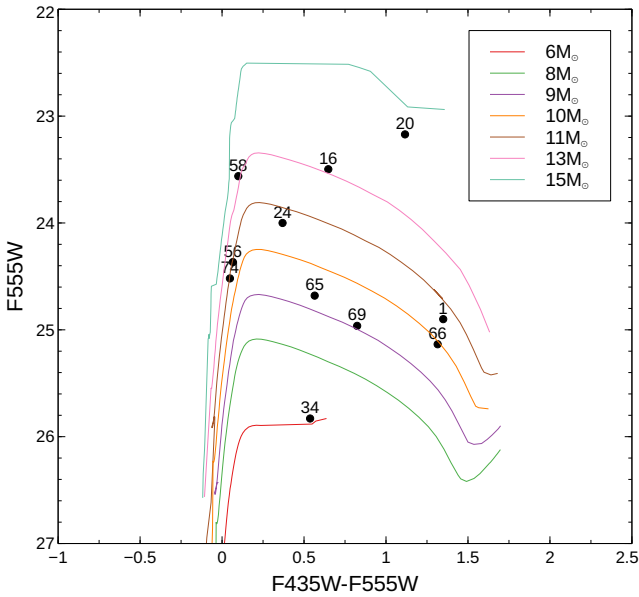
kümelerinin yaşlarıyla ilişkileri araştırılmıştır. Tespit edilen XRB'lerin yalnızca 42'sinin *HST* görüş alanına düştüğünü ve bunların 18'inin NGC 628'deki yıldız kümeleriyle bağlantılı olduğu bulunmuştur. XRB'lerin konumları ve ilişkili kümelerin özellikleri Çizelge 4'te verilmiştir. Bu XRB'lerin düzeltilmiş konumunun *HST/ACS* üç renk görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Bu şekilde, X55'in konumu, çipin kenarına düştüğü için gösterilmemiştir. Parlak X-ışın kaynağı ULX-1 de Şekil 6'da gösterilmektedir, ancak herhangi bir yıldız kümesiyle ilişkilendirilememiştir.

18 XRB'den 6'sının, 2σ konumsal belirsizlik içinde donör yıldız olarak tek optik adayları olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle X5, X16, X20, X24, X66 ve X74, HMXB'ler olarak sınıflandırılabilir. Optik adayları Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 7'de, kütleleri $\sim 10-15 M_{\odot}$ aralığında olan donör yıldızları (X5 hariç) için Padova kütle eşyaş-çizgileri verilmiştir. X5'in *HST/ACS* F435W filtresinde çok zayıf bir optik adayı olduğundan kütle tahmin etmek için diğer CMD (F555W'ye karşı F555W-F814W) kullanılmıştır ve X5'in kütlesi $\sim 7 M_{\odot}$ olarak bulunmuştur. IMXB'nin (3–8 M_{\odot}) kütle aralığını göz önünde bulundurarak, X5'i bir IMXB olarak sınıflandırabiliriz. Kalan beş kaynak için tayfsal renkleri ($-0.1 < (B-V)_0 < 1.2$) ve mutlak parlaklıkları ($-5.3 < M_V < -7.2$), donörlerin evrimlerinin dev evrelerinde olduklarını göstermektedir.

HMXB'ler genellikle genç yıldız kümelerinde meydana gelir ve parlak optik karşılıkları onları tanımlamamızı sağlar. HMXB'lerin birçoğu küme yakınında (< 200 adet) bulunur. Mevcut durumda, bahsedilen altı kaynağın tümü, 200 pc içindeki ve $\tau < 10^{8.5}$ yıl olan genç kümelerle ilişkilidir. Aslında, bu HMXB'ler genç kümelerde doğmuş olsalar da, ev sahibi kümeden atılmış da olabilirler. Atılma senaryoları temel olarak üç farklı mekanizma ile açıklanmaktadır (Zezas ve diğ. 2002;



Şekil 6. Yıldız kümeleriyle ilişkili XRB'ler ULX X-1'in düzeltilmiş konularının *HST*/*ACS* üç renk görüntüleri. Beyaz/siyah daireler astrometrik hata yarıçaplarını gösterir. Mavi, yeşil ve kırmızı renkleri sırasıyla *HST*/*ACS* F435W, F555W ve F814W filtrelerini temsil eder.



Şekil 7. NGC 628'deki tek bir potansiyel donör yıldızına sahip XRB'ler (siyah noktalar) için *HST* renk-parkalık diyagramı (CMD). Bunların farklı kütleli yıldızların Padova eşyaş çizgileri ile karşılaştırılması verilmektedir. Teorik eşyaşlar, kızarma $A_V=0.46$ kadar için düzeltilmiştir. Rakamlar, XRB'lerin kaynak numaralarına karşılık gelmektedir.

Kaaret ve diğ. 2004; Rangelov ve diğ. 2011; Garofali ve diğ. 2012). İlk olarak, bu sistemler yoğun küme çekirdeğindeki diğer yıldızlarla dinamik bir etkileşimin sonucunda kümeden atılmış olabilir. İkinci olarak, küme içindeki asimetrik bir süpernova

patlamasının sonunda ev sahibi kümeden fırlatılmış olabilir. Üçüncüsü, ev sahibi küme, XRB'ler oluşuktan sonra hızla çözülmüş olabilir.

Dokuz X-ışını kaynağın (X23, X28, X32, X33, X40, X68, X70, X73 ve X75) optik karşılıkları olmadıklarından LMXB olarak sınıflandırılmıştır ve bu kaynakların yakınındaki kümelerin yaşları $\tau > 10^{8.4}$ yıldır. Bu kaynaklardan beşinin (X23, X28, X32, X33, X40 ve X68) X-ışını renk renkleri, LMXB'ler olarak sınıflandırmalarıyla tutarlıdır (bkz. Şekil 5). Bu Şekilde, bu kaynakların çoğunun renklerinin, kuvvet yasası (Power Law, PL) modelinin teorik iziyle ($1.5 < \Gamma < 2.1$) uyumlu olduğu da görülmektedir. Diğer taraftan, kalan 3 kaynaktan X70, renk renk diyagramında termal SNR'leri içeren yumuşak bir X-ışını kaynak bölgesinde yer almaktadır, ancak tanımladığımız geçici (transient) doğası, onu bir SNR olarak sınıflandırmamıza izin vermemektedir. Diğer iki kaynak olan X73 ve X75 için yumuşak enerji aralığındaki sayım oranları ölçülemediğinden renk renk diyagramındaki konumlarına göre sınıflandırmak mümkün değildir.

Çizelge 4'te verilen X46 ve X55 kaynakları ve ilişkili kümeleri HII bölgelerinde yer almaktadır. Bu kümelerin yaşları $< 10^7$ yıl olarak belirlenmiştir. Ancak, bu kaynakların her ikisi de LMXB olarak sınıflandırılmıştır, bu nedenle yaşlı kümelerle ilişkilendirilmeleri gerekir. Kümelerin, HII bölgelerinde bulunmaları onların daha genç görünmelerine neden olabilir. H_{α} yayınının varlığı bu kümelerin orta derecede sönükleşmiş genç kümeler olduğunu gösterdiğini düşünüyoruz. Chandar ve diğ. (2016) tarafından vurgulandığı gibi, yıldız kümelerinin yaşını tahmin ederken H_{α} ölçümlerini veya diğer uygun dar-bant filtrelerini dahil etmenin daha güvenilir olduğunu düşünüyoruz. Optik karşılıkları belirlenemediği için her iki kaynak da LMXB olarak sınıflandırılmıştır, ancak bu yorum için bazı belirsizlikler vardır çünkü X46'nın astrometrik

Çizelge 4. XRB'lerin X-ışını ve optik özellikleri. $V_f = F_{\max}/F_{\min}$: Kaynak değişkenliği; 0.3-8 keV'deki maksimum ve minimum oranı, t/p: kaynak türü; t(geçici)/p(kalıcı), OK: Optik karşılığı var(y)/yok(n), KN: Küme Numarası, $\log(\tau)$: Küme yaşı (yıl), $\log(M)$: Küme kütlesi (M_{\odot}), d: Uzaklık (pc).

ID	R.A.	Dec.	V_f	t/p	OK	KN	$\log(\tau)$	$\log(M)$	d	Sınıflama
X5	24.17371	15.7645450	50	t	y	185	8.09	3.73	194	HMXB
X16	24.21795	15.7937017	17	p	y	632 (e)	8.60	4.60	169	HMXB
X20	24.16418	15.795642	2	p	y	673	6.74	5.53	56	HMXB
X23	24.16268	15.798767	7	p	n	723	8.90	3.97	49	LMXB
X24	24.18727	15.762853	3	p	y	161	7.90	3.35	138	HMXB
X28	24.17308	15.780558	8	t	n	451	10.03	6.10	123	LMXB
X32	24.16937	15.787016	6	p	n	542	9.34	4.84	71	LMXB
X33	24.15700	15.788222	2	t	n	561	8.40	3.82	109	LMXB
X37	24.13160	15.80653	64	t	n	839 (w)	6.90	2.78	167	LMXB
X40	24.18196	15.795242	2	t	n	664	9.24	3.04	89	LMXB
X46	24.18856	15.796592	2	t	n	687	6.75	5.08	6	LMXB
X55	24.12527	15.815373	3	t	n	902 (w)	6.74	3.08	61	LMXB
X66	24.14719	15.7866211	11	t	y	531	6.85	3.28	198	HMXB
X68	24.16532	15.796901	1	t	n	705	8.91	3.74	163	LMXB
X70	24.15051	15.75310	16	t	n	63	8.51	4.01	140	LMXB
X73	24.12003	15.816541	1	t	n	907 (w)	9.11	4.98	29	LMXB
X74	24.19622	15.761942	2	t	y	150	6.80	3.21	48	HMXB
X75	24.17206	15.75149	11	t	n	43	8.79	4.12	187	LMXB

hata çemberi, Şekil 6'da görüldüğü gibi parlak yayılım bölgesiyle eşleşmiş durumdadır.

Öte yandan, X55'in konumunu gösteren hata çemberinin yarısı *HST* görüntüsünün alanının dışında kalmaktadır. Buldukları konumlar itibarıyla her ikisi içinde optik karşılık tanımlayamadık fakat yakınında bulunan kümelerin genç yaşlara sahip olmaları belkide bu kaynakların optik karşılıklara sahip olduklarını söylememize olanak sağlamaktadır. Fakat benzer durum X37 için mümkün değildir. Bu kaynak LMXB olarak sınıflandırılmıştır ve HII bölgelerinde bulunmamaktadır. Dikkatlice incelendiğinde genç bir yıldız kümesinin bu XRB'ye oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Yaş uyumsuzluğu nedeniyle bu kaynak kümeyle ilişkilendirilememiştir.

6 Özet ve Sonuçlar

Bu çalışmada, NGC 628'in 42 XRB'sinin *HST/ACS* alanlarındaki sıkı yıldız kümeleriyle ilişkisi araştırılmıştır. Bunun için sıkı yıldız kümeleri belirlenmiş ve kütle, yaş dağılımları incelenmiştir. Çalışmamızda elde ettiğimiz başlıca bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- Küme seçim ölçütlerini kullanarak (5 piksel yarıçaplı alanda başka nesne olmaması; $m_V < 25$; $M_V \simeq -6.2$; $CI > 2.3$; $F_{WHM} > 0.2$ piksel), NGC 628'deki 864 yıldız kümesi tespit edilmiştir.
- SSP modelleri kullanılarak kümelerin kütlelerini ve yaşlarını belirlemek için bir renk-renk diyagramı oluşturulmuştur. Kümelere ait yaş kütle fonksiyonları incelenmiştir.
- HST/ACS* alanlarında toplam 42 XRB belirlenmiştir. Bunlardan 15'i (%36) optik karşılıklara sahip olmalarına göre HMXB'ler olarak sınıflandırılmıştır. Kalan 27 kaynak (%64), *HST* görüntülerinde optik karşılıkları olmaması nedeniyle LMXB'ler olarak sınıflandırılmıştır.
- XRB'lerin 18'i, 200 pc içinde en az bir yıldız kümesiyle ilişkilendirilmiş ve bu kaynakların 5'i çok genç kümelere ($\tau < 10^7$ yıl) yakın konumlanmışken, 13'ü $\tau > 10^8$ yıl yaşlarındaki daha yaşlı kümelere yakın konumlanmıştır.
- XRB'lerin uzaysal dağılımları, HMXB'lerin beklendiği gibi

sarmal kollarda bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bazı LMXB'ler galaksinin şişkin bölgesinde bulunur, ancak önemli bir konsantrasyona sahip değildir ve genellikle galaktik düzlem boyunca dağılır.

- HMXB'lerin ev sahibi kümeleri genç, LMXB'lerin ise daha yaşlıdır. Ancak, ilişkili kümelerle birlikte LMXB olarak sınıflandırılan kaynaklardan ikisi 10 Myr'den daha gençtir. Her iki kümenin de daha genç görünmeleri HII bölgelerinde konumlanmasından kaynaklanabilir.
- Belirlenen yıldız kümelerinin yaş-kütle dağılımı, büyük yıldız kümelerinin düşük kütleli kümelerden daha geç yaşlara evrimleşebileceğini göstermiştir. Bu davranış, bir galaksidedeki yıldız kümelerinden beklenenlerle uyumludur. Ek olarak, NGC 628'deki bu dağılım, küteden bağımsız bozulma modeli ile iyi bir şekilde açıklanmaktadır.

Teşekkür

Bu araştırma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 119F315 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Adamo A., ve diğ., 2017, *ApJ*, 841, 131
 Bastian N., ve diğ., 2012, *MNRAS*, 419, 2606
 Bruzual G., Charlot S., 2003, *MNRAS*, 344, 1000B
 Chandar R., Whitmore B. C., Kim H., et al. 2010, *ApJ*, 719, 966
 Chandar R., Whitmore B. C., Dinino D., Kennicutt R. C., Chien L. H., Schinnerer E., Meidt S., 2016, *ApJ*, 824, 71
 Chandar R., Johns P., Mok A., Prestwich A., Gallo E., Hunt Q., 2020, *ApJ*, 890, 150
 Elson R. A. W., Fall S. M., Freeman K. C., 1987, *ApJ*, 323, 54
 Flesch E. W., 2021, VizieR Online Data Catalog, p. VII/290, *ADS*
 Garofali K., Converse J. M., Chandar R., Rangelov B., 2012, *ApJ*, 755, 49
 Grasha K., ve diğ., 2015, *ApJ*, 815, 93
 Hunt Q., Gallo E., Chandar R., Johns Mulia P., Mok A., Prestwich A., Liu S., 2021, *ApJ*, 912, 31
 Johnson C. L., ve diğ., 2012, *A&A*, 752, 23

- Kaaret P., Alonso-Herrero A., Gallagher J. S., Fabbiano G., Zezas A., Rieke M. J., 2004, *MNRAS*, 348, L28
- Larsen S. S., Richtler T., 1999, *A&A*, 345, 59, [ADS](#)
- Motch C., ve diğ., 2016, *VizieR Online Data Catalog*, p. IX/48, [ADS](#)
- Mulcahy D. D., Beck R., Heald G. H., 2017, *A&A*, 600, A6
- Prestwich A. H., Irwin J. A., Kilgard R. E., Krauss M. I., Zezas A., Primini F., Kaaret P., Boroson B., 2003, *ApJ*, 595, 719
- Rangelov B., Prestwich A. H., Chandar R., 2011, *ApJ*, 741, 86
- Sirianni M., ve diğ., 2005, *ASP*, 117, 1049
- Sonbaş E., Akyüz A., Balman Ş., Özel M. E., 2010, *A&A*, 517, A91
- Vulic N., Barmby P., Gallagher S. C., 2013, *ApJ*, 763, 96
- Zezas A., Fabbiano G., Rots A. H., Murray S. S., 2002, *ApJ*, 577, 710

Access:

M23-0352: [Turkish J.A&A](#) — Vol.4, Issue 3.