

NGC 628'deki Aşırı Parlak X-ışın Kaynağının Doğasının Araştırılması

Hasan AVDAN¹ ve Şenay AVDAN¹

¹Adıyaman Üniversitesi, Fizik Bölümü

ÖZET

AMAÇ: NGC 628 galaksisinde bulunan aşırı parlak X-ışın kaynağının (ultraluminous X-ray source, ULX) X-ışın tayfsal ve zamansal özellikleri farklı tarihli X-ışın arşiv gözlemleri kullanılarak çalışılmıştır. *Hubble* Uzay Teleskopu (*Hubble Space Telescope*, HST) ile yapılmış arşiv gözlem verileri ile ULX'in optik karşılık adayları da araştırılmıştır.

YÖNTEM: X-ışın tayf analizleri *XMM-Newton* ve *Chandra* uydularının arşiv verileri ile yapılmıştır. Ayrıca uzun dönemli zamansal değişiminin incelenmesi için *Swift* uydusunun arşiv verileri de kullanılmış ve ULX'in 22 yıllık bir dönemi kapsayan uzun dönemli ışık eğrisi elde edilmiştir. Kısa dönemli zamansal değişiminin araştırılması için, her bir gözlemden kaynağın Lomb-Scargle periyodogramı oluşturulmuştur. ULX'in HST/WFC3 görüntüsünde pozisyonunu doğru belirleyebilmek ve optik karşılık adaylarını araştırabilmek amacıyla *Chandra* ve HST görüntülerine göreli bir astrometrik düzeltme uygulanmıştır.

SONUÇLAR: X-ışın arşiv verileri ile elde edilmiş uzun dönemli ışık eğrisinde kaynağın akısının yaklaşık 200 kat değiştiği görülmüştür. Kaynağın zamansal analizlerinde, daha önce literatürde farklı yöntemler kullanılarak keşfedilmiş 0.1 – 0.4 mHz aralığındaki yarı-periyodik salınım, Lomb-Scargle yöntemi ile yeni gözlemlerde de belirlenmiştir. Astrometrik düzeltme sonrasında, kaynak için iki optik karşılık adayı bulunmuştur. X-ışın tayfına en iyi uyum veren disk model parametreleri kullanılarak sistemdeki sıkı cismin 5 – 28 M_{\odot} kütleli bir karadelik olabileceği hesaplanırsa da, kaynağın uzun dönemli değişkenliği ve tayfsal geçişleri nötron yıldızı içeren ULX'lere de benzerlik göstermektedir.

1. GİRİŞ

ULX'ler, galaksilerin merkezinde bulunmayan ve X-ışın ışıma güçleri $10 M_{\odot}$ bir karadelik için Eddington limitini ($\sim 2 \times 10^{39}$ erg s⁻¹) aşan noktasal X-ışın kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Gerçek doğaları kesin olarak bilinmemekle birlikte, yüksek ışıma güçlerini açıklayabilmek için öne sürülen bir çok model bulunmaktadır^{1,2}. Son yıllarda bazı ULX'lerin nötron yıldızı içerdiği de tespit edilmiştir³.

Genellikle ULX'lerin X-ışın tayfsal özellikleri, iyi çalışılmış Galaktik karadelik çiftlerininkinden farklılık göstermektedir. Bunun nedeni yığılmanın süper-Eddington oranında gerçekleşmesi veya nötron yıldızı içeriyor olmaları olabilir^{1,2}. Son zamanlarda, *XMM-Newton* uydusunda bulunan RGS cihazı ile yapılan tayfsal analizler sonucunda süper-Eddington yığılma durumunda görülmesi beklenen madde atımlarına işaret eden maviyeye kayan çizgiler belirlenmiştir^{3,4}.

KAYNAKLAR

- 1- Fabrika, S. N., ve diğ., 2021, *Astrophysical Bulletin*, 76, 6
- 2- King, A., ve diğ., 2023, *New Astronomy Reviews*, 96, 01672
- 3- Poutanen, J., ve diğ., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 377, 1187

2. GÖZLEMLER VE VERİ ANALİZİ

ULX'in X-ışın tayfsal ve kısa/uzun dönemli zamansal analizleri için, yaklaşık 22 yılı kapsayan, *XMM-Newton*, *Chandra* ve *Swift* arşiv gözlemleri verileri kullanılmıştır. Kaynağın optik karşılığı ise HST/WFC3 arşiv gözlemleri ile incelenmiştir.

XMM-Newton, *Chandra*, *Swift* verilerinin analizi için sırasıyla SAS, CIAO ve XSELECT paketleri kullanılmıştır. X-ışın tayflarının modellenmesi HEASOFT paketinde bulunan XSPEC yazılımı ile yapılmıştır. HST/WFC3 görüntülerinin analizleri DOLPHOT yazılımı ile standart parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.1 ASTROMETRİ

ULX'in optik karşılığını belirleyebilmek için öncelikle HST/WFC3 ve *Chandra* görüntüleri arasında astrometrik düzeltme yapılmıştır. Bu işlem için HST/WFC3 F336W ile 16003 numaralı *Chandra* verisinin görüntüleri kullanılmıştır. Her iki görüntüde belirlenen iki kaynak referans alınarak görüntüler arasındaki koordinat farkı hesaplanmıştır. Astrometrik düzeltme sonrası ULX'in HST/WFC3 F336W görüntüsündeki koordinatı (0.3 açı saniyesi belirsizlik ile) R.A. = 01:36:51.0766, Dec. = +15:45:46.968 olarak belirlenmiştir.

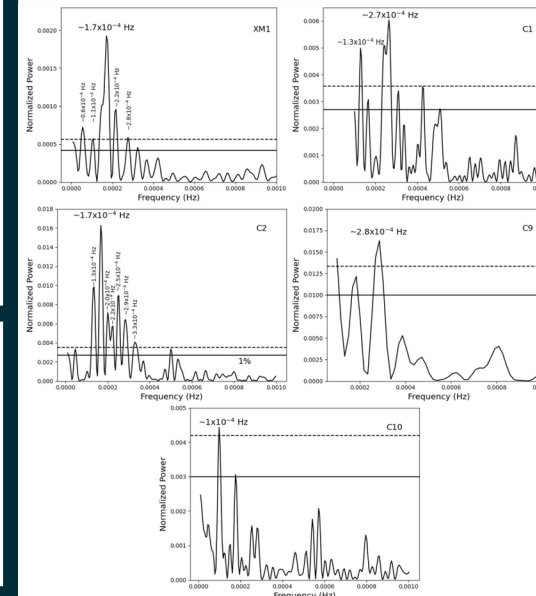
3. SONUÇLAR

ULX'in X-ışın tayfı genellikle güç-yasası modeli (XSPEC'te ρ_0) ile iyi uyum vermiştir. Foton indeks değerleri $\Gamma = 1.5 - 2.1$ aralığında hesaplanmıştır. En yüksek istatistiğe sahip gözlemden kaynağın enerji tayfı, disk karacisim modeli (XSPEC'te DISKBB) ile uyumlu bulunmuştur ($kT_{in} \sim 2.4$ keV, $\chi_{\nu}^2 = 0.92$). Modelde p parametresi 0.5 olarak hesaplanmıştır. Bu değer ULX'teki yığılma diskinin slim disc özelliği taşıdığını ve yığılmanın süper-Eddington oranında gerçekleştiğini göstermektedir.

DISKBB modelinden elde edilen normalizasyon parametresi ile hesaplanan kütle aralığı, ULX'teki sıkı cismin 5 – 28 M_{\odot} bir karadelik olabileceğine işaret etmektedir.

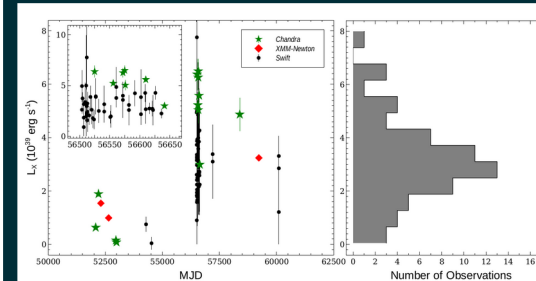
Kaynağın kısa dönemli ışık eğrilerinde, Lomb-Scargle yöntemi kullanılarak $f = (1 - 4) \times 10^{-4}$ Hz aralığında yarı-periyodik salınımlar belirlenmiştir. Bu aralık, ULX ie ilgili yapılan daha önceki çalışmalarda farklı yöntemlerle belirlenen frekans değerleri ile uyum içindedir⁵. Elde edilen Lomb-Scargle periyodogramları Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekilde, kesikli ve düz çizgiler sırasıyla Blueu⁶ ve bootstrap yöntemi ile hesaplanan 3-sigma sınırı temsil etmektedir.

- 4- Pinto, C., ve diğ., 2016, *Nature*, 533, 64
- 5- Liu, J.-F., ve diğ., 2005, *Astrophysical Journal*, 621, L17
- 6- Blueu, R. V., 2008, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 385, 1279
- 7- Gürpide, A., ve diğ., 2021, *Astronomy & Astrophysics*, 649, A104



Şekil 1. Kaynağın *XMM-Newton* ve *Chandra* ışık eğrilerinden Lomb-Scargle yöntemi ile elde edilmiş periyodogramları.

ULX'in yaklaşık 22 yılı kapsayan uzun dönemli ışık eğrisinde, ~200 kat değişim görülmektedir. Kaynağın uzun dönemli ışık eğrisi ve ışıma gücü değerlerinin histogramı Şekil 2'de gösterilmektedir. Işık eğrisindeki ışıma gücü değerleri 0.3 – 10 keV enerji aralığında hesaplanmıştır. Genelde nötron yıldızı içeren kaynakların histogramlarında karşılaşılan bimodal açı dağılımı, kaynağımızın ışıma gücü histogramında görülmemiştir.

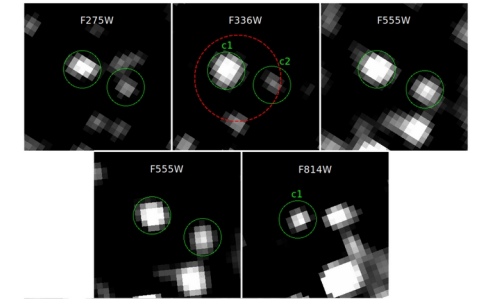


Şekil 2. Kaynağın uzun dönemli ışık eğrisi (solda) ve ışıma gücü değerlerinin histogramı (sağda).

Kaynağın tayfsal durum geçişlerini, diğer çalışılmış ULX'ler ile kıyaslamak için sertlik-akı grafiği de elde edilmiştir (Şekil 3). Kaynağın tayfsal geçişleri ve uzun dönemli değişimi, nötron yıldızı içeren NGC 1313 X-2 ile benzerlik göstermektedir ve sıkı cismin nötron yıldızı da olabileceği ihtimalini akla getirmektedir⁷.

Şekil 3. Kaynağın sertlik-akı grafiği.

Chandra ve HST görüntüleri arasında yapılan astrometrik düzeltme sonrası, hata yarıçapı içerisinde iki tane optik karşılık adayı (c1 ve c2) belirlenmiştir. HST/WFC3 görüntüleri üzerinde ULX'in düzeltilmiş pozisyonu ve karşılık adayları Şekil 4'te gösterilmektedir. Kaynakların fotometrik sonuçları Tablo 1'de verilmektedir.



Şekil 4. ULX'in düzeltilmiş pozisyonunun HST/WFC3 görüntüleri. Kırmızı kesikli daire, kaynağın düzeltilmiş pozisyonunu belirtmekte ve 0.3 açı saniyesi (astrometrik belirsizlik) yarıçapa sahiptir. Yeşil daireler optik karşılık adaylarını göstermektedir.

Tablo 1. Optik karşılık adaylarının kızıma çıkarılmış parlaklık değerleri.

Obs.	VEGAmag	M_V		
	c1	c2	c1	c2
H1	24.568 ± 0.165	25.000 ± 0.255	...	...
H2	24.761 ± 0.159	25.470 ± 0.285	...	...
H3	25.772 ± 0.089	26.272 ± 0.139	-4.16	-3.67
H4	26.090 ± 0.117	26.480 ± 0.150	-3.85	-3.45
H5	25.159 ± 0.117	...	...	...
H6	26.122 ± 0.121	26.455 ± 0.155	-3.81	-3.48
H7	25.690 ± 0.206	...	...	...
H8	26.340 ± 0.164	26.880 ± 0.533	-3.59	-3.05
H9	25.883 ± 0.216	...	...	...

ULX'in gelecekteki X-ışın gözlemleri, sistemdeki sıkı cismin gerçek doğasını ortaya çıkarabilir. Özellikle, yüksek istatistiğe sahip daha yüksek enerjilerde gerçekleştirilecek gözlemler, kaynağın X-ışın yayılımını daha ayrıntılı bir şekilde incelememize yardımcı olacaktır.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik (TÜBİTAK) Araştırma Kurumu tarafından 122C042 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Çalışmamız *Astronomy & Astrophysics* dergisinde kabul edilmiştir. DOI: [10.1051/aa/202300000](https://doi.org/10.1051/aa/202300000) arxiv.org