

Nötron Yıldızı ve Karadelik İçeren Düşük Kütleli X-ışın Çiftlerinin Düşük Işımagücü Bölgesindeki Davranışlarının Karakterizasyonu

Yakup Genç¹   , Eda Sonbaş¹ 

¹ Adıyaman Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 02040, Adıyaman

Accepted: December 1, 2022. Revised: December 1, 2022. Received: November 1, 2022.

Özet

X-ışın çiftlerinin taç bölgesinin doğası ve Compton saçılmasının kritik bileşeni olan düşük enerjili fotoların temelini oluşturan geometrik yapısı ile ilgili araştırmalar son yıllarda büyük ivme kazanmıştır. Bu nedenle bileşenlerinden biri Nötron Yıldız (NY) veya Kara delik (KD) olan sistemlerin özellikle düşük ışımagücü ($\lesssim 10^{35}$ erg s⁻¹) bölgesindeki benzerlik ve farklılıklarının araştırılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada, LMXB'lerde tayfsal indis ve X-ışın ışımagücü arasında olduğu bilinen ilişki geniş ışımagücü aralığında farklı KD (2S 0921-63, 4U 1957+11) ve NY (4U 1608-52, MAXI J1807+132) sistemleri için *NICER*, *SWIFT*, ve *XMM-Newton* uydu verileri kullanılarak incelenmiştir. KD ve NY sistemleri için genel olarak gözlenen ilişkinin incelenen kaynak özelliklerini uzun dönemli gözlemler için de temsil ettiği görülmüştür.

Abstract

Studies of the nature and geometrical profile of the corona, thought to be the site of Compton scattering, continues to be of considerable interest in both the high and low-luminosity X-ray scattering. In this work, we study the behavior of neutron star (NS) and black hole (BH) LMXB systems in the low-luminosity region ($\lesssim 10^{35}$ erg s⁻¹). In particular, we investigate the relationship between the spectral index and the X-ray luminosity of four different BH (2S 0921-63, 4U 1957+11) and NS (4U 1608-52, MAXI J1807+132) systems using *NICER*, *SWIFT*, and *XMM-Newton* data. Our analysis suggests that the generic correlation survives for these individual sources in their long-term behavior.

Anahtar Kelimeler: Power law, Black holes, Neutron stars, LMXB

1 Giriş

Çift yıldızların özel bir sınıfı olan X-ışını çiftleri, Galaksimizdeki en parlak X-ışını kaynaklarıdır. X-ışını çiftleri, normal bir yıldız ve evriminin son aşamasına gelmiş olan kompakt bir yıldızdan (beyaz cüce, nötron yıldızı veya kara delik) oluşur. Bu sistemlerde, yıldızlar birbirine yeterince yakınsa, yoğun olan kompakt yıldızın kütle çekimi ile, veya normal yıldızın yıldız rüzgarları ile madde transferi gerçekleşir ve X-ışınları üretilir. Normal yıldızdan akan madde bir yığılma diski vasıtasıyla kompakt yıldızın etrafına birikir. Yığılma diskinin kompakt yıldızın üzerine düştüğü iç bölgesinden yoğun X-ışını yayınımlı salınır. X-ışınları, biriken maddenin çok yüksek sıcaklıklara (bir milyon derecenin üzerinde) ulaştığı kompakt yıldızın çevresindeki alandan gelir (bkz. [Cesar Projesi](#)). X-ışını çift sistemleri donör yıldızın kütlelerine göre düşük kütleli (LMXB) ve büyük kütleli X-ışını çiftleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. LMXB'lerde eş yıldız, düşük kütleli A tipinde bir yıldızdır ve gözlemlenen X-ışın yayınımlı oluşturmaya yetecek kadar güçlü yıldız rüzgarları oluşturamazlar. Bunun yerine LMXB'lerdeki madde transferi, düşük kütleli yıldızın Roche lobunu doldurması ve kompakt nesne etrafında bir yığılma diski oluşturması ile gerçekleşir.

LMXB'ler ilk olarak 1960'ların sonlarında keşfedildiğinden bu yana özellikle $L=10^{36}$ erg s⁻¹ üzerindeki ışımagüçlerinde gözlemsel özellikleri mevcut tüm X-ışını uydularından elde

edilen veriler kullanılarak yoğun bir şekilde çalışılmış ve karakterize edilmiştir ([Lin ve diğ. 2007](#); [Remillard & McClintock 2006](#)). Son yıllarda detektörlerin daha düşük ışınma güçlerindeki hassasiyetlerinin artması ve buna bağlı olarak artan veri miktarına rağmen LMXB'lerin $L=10^{34}$ - 10^{36} erg s⁻¹ ışımagüçlerindeki davranışları henüz tam anlamıyla anlaşılmemiştir ([Wijnands ve diğ. 2015](#)).

Yapılan gözlemler, LMXB'lerin 0.5–10 keV enerji aralığında X-ışını foton indeksi (Γ) ile X-ışını ışımagücü ($L_{0.5-10}$) arasında bir antikorelasyon olduğunu göstermektedir. Sistem durgun haldeki ışımagücü seviyesine ($L \simeq 10^{34}$ erg s⁻¹) azalırken NY-LMXB'lerin tayflarında bir yumuşama gözlemlenirken çoğu KD-LMXB'lerin tayflarında ise sertleşme olduğu yapılan çalışmalarda bir çok kez gözlenmiştir. $L=10^{35}$ erg s⁻¹ ışımagücü değerinin üzerinde NY ve KD çiftleri arasındaki bu ayrım net değildir ([Wijnands ve diğ. 2015](#); [Sonbas ve diğ. 2018](#); [Qiao & Liu 2020](#)).

LMXB'ler ile ilgili yapılan birçok çalışma 0.5–10 keV enerji aralığında tayflarında hem termal hem de termal olmayan bileşenlerin bir arada bulunduğunu göstermektedir ([Barnard ve diğ. 2014](#); [Barret ve diğ. 2000](#)). Termal bileşenin yığılma diskinin iç kısımları ile ilişkili olduğu ve karacisim modeli ile temsil edilebileceği düşünülürken termal olmayan bileşen tayfın sert ($\Gamma < 2$) veya yumuşak ($\Gamma > 2$) olup olmadığı konusunda bilgi edinilmesini mümkün kılan ve $N(E) \propto E^{-\Gamma}$ şeklinde tanımlanabilen güç kanunu (powerlaw; PL) ile ifade edilmektedir ([Lin & Wu 2009](#)). Literatürde yaygın olarak kullanılan bu model, merkezden saçılan düşük enerjili

* yakupyong@gmail.com

fotonların kompakt cismin etrafındaki sıcak taç bölgesi (korona) elektronları tarafından ters Compton saçılması ile yüksek enerjilere taşınması şeklinde yorumlanır. Koronanın doğası ve yığılma diskinin geometrik yapısı hakkında bilinenler yeterli olmadığından LMXB'ler ile ilgili araştırmalar yapmak yüksek enerji astrofizik alanında geniş ilgi uyandırmaktadır (Remillard & McClintock 2006).

Wijnands ve diğ. (2015) tarafından $L=10^{34}-10^{36}$ erg s^{-1} aralığında ışımagücüne sahip NY ve KD içeren az sayıda LMXB için yapılan çalışma kaynakların ışımagücü azalırken PL indisinin arttığını göstermektedir. Daha önce yapılan çalışmalar bu durumu kaynakların kendilerine özgü olarak gösterdikleri bir özellik olarak öngörürken Wijnands ve diğ. (2015), düşük yığılma diskinde sahip farklı NY-LMXB grubu için bu özelliğin evrensel olabileceğini öngörmüştür (Armas Padilla ve diğ. 2011; Plotkin ve diğ. 2013).

Çalışma daha sonra Sonbas ve diğ. (2018) tarafında daha büyük bir LMXB seti için daha düşük ışım güçlerine (yani, $L=\text{birkaç} \times 10^{30}$ erg s^{-1}) genişletilmiştir. Wijnands ve diğ. (2015)'den farklı olarak $L=10^{32}$ ile $L=10^{30}$ erg s^{-1} ışımagücü aralığında NY çiftleri için elde edilen Γ ve ışımagücü arasında görülen anti-korelasyon $\Gamma = a \log L_x + b$ fonksiyonu ile fit edildiğinde tayfsal indisin -2.12 ± 0.63 eğim değerinde olduğu görülmüştür. Çalışmada ayrıca NY ve KD çiftleri arasındaki bu farklılık optik olarak ince bir sıcak korona ile optik olarak kalın düşük enerjili foton kaynağı arasında bir geri bildirim mekanizması olduğunu varsayan Comptonization modeli açısından da incelenmiştir. NY-KD arasında olduğu düşünülen farklılık, korona sıcaklıkları, Compton-y parametreleri ve Komptonization amplifikasyon faktörleri karşılaştırarak da ölçülmüştür. Sonuçta, NY'ler için elde edilen ortalama sıcaklığın, KD'ler için elde edilen eşdeğer sıcaklıktan önemli ölçüde daha düşük olduğu bulunmuştur. Ayrıca çalışma kapsamında elde edilen Compton-y parametresinin Γ ile teorik olarak öngörülen ilişkiyi takip ettiği bulunmuştur.

Qiao & Liu (2020) tarafından yapılan çalışmada 0.5—10 keV ışımagücü ve Γ arasında görülen anti-korelasyon manyetik alanı zayıf olan NY etrafındaki baskın madde akış durumu (Advection-dominated accretion flow; ADAF) için çözümlenmiştir. ADAF modelinde anahtar parametre olan f_{th} , NY yüzeyindeki ADAF enerji salınımının bir kesrinin ADAF'da saçılan termal yayını olduğunu tanımlar. Qiao & Liu (2020) çalışmalarında bu parametrenin ışımagücü ve Γ arasında görülen antikorelasyon üzerine etkisini araştırmışlar ve bu parametrenin sözkonusu antikorelasyon üzerine büyük etkisi olduğunu bulmuşlardır.

Bu çalışmada, seçilen dört KD ve NY-LMXB sisteminin ağırlıklı olarak NICER, SWIFT ve ek olarak XMM-Newton uydu verilerinin analizlerinden elde edilen tayfsal indis ve X-ışın ışımagücü arasında $L \sim 10^{30}-10^{36}$ erg s^{-1} 'lik ışımagücü bölgesindeki davranışları sunulmaktadır. Bildirinin §2'de veri ve analiz yöntemleri detaylandırılmış, §3'de PL + kara cisim modellerinin kullanımı ile elde edilen sonuçlar tartışılmış ve son olarak da §4'te ana bulguların bir özeti sunulmuştur.

2 Veri ve Analiz Yöntemleri

Çalışma kapsamında incelenen kaynaklar NICER X-ışın Zamanlama Uydusu (X-ray Timing Instrument; XTI, (Gendreau ve diğ. 2016)) verilerinin analizleri HEASOFT v6.30 altında çalışan NICERDAS ve ilgili NICER kalibrasyon dosyaları kullanılarak analiz edilmiştir. Kalibre edilmiş,

filtrelenmemiş, tüm Ölçüm/Güç Birimi (Measurement/Power Unit – MPU) birleştirilmiş dosyalar (ufa) NICERL2 komutu kullanılarak oluşturulmuştur. Sonuçta oluşan event (olay) dosyalarından XSELECT kullanılarak tüm enerji aralığında her bir gözlem için kaynağın tayfi elde edilmiştir. Dedektörün yanıt (response) dosyaları (Redistribution matrix files: RMFs ve Ancillary response files: ARFs) NICERARF ve NICERRMF komutları kullanılarak oluşturulmuştur. Kaynağın ardalan dosyası NIBKGESTIMATOR komutu kullanılarak elde edilmiştir.

XMM verileri, XMM-Newton Science Analysis System'in standart prosedürleri kullanılarak analiz edilmiştir. Her gözlem için, ilgilenilen X-ışını kaynağına civarında kaynağın boyutuna bağlı olarak farklı dairesel bölgeler kullanılarak tayflar elde edilmiştir. Ardalan elde etmek için, kaynağın yakınında veya çevresinde bulunan kaynaksız bölgeler seçilmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen kaynakların SWIFT/XRT (Neil Gehrels SWIFT Uydusu/X-ışın Teleskopu) verileri HEASOFT v6.30 altında çalışan XRTPIPELINE komutu kullanılarak işlenmiştir. Tayf analizleri için gerekli dosyalar XRTPRODUCTS komutu kullanılarak elde edilmiştir. Kaynak tayfi ilgilenilen X-ışını kaynağı civarında kaynağın boyutuna bağlı olarak ve ardalan tayfi farklı kaynağın yakınında veya çevresinde bulunan kaynaksız dairesel bölgeler kullanılarak elde edilmiştir. Dedektörün yanıt dosyaları kalibrasyon veri tabanının (CALDB) en son sürümü kullanılarak oluşturulmuştur.

Elde edilen tayflar GRPPHA komutu kullanılarak NICER verileri için kanal başına minimum 20 sayı SWIFT için kaynağın foton sayım oranına bağlı olacak şekilde 2 ile 20 sayı ile binlenmiştir. Tüm tayfsal modellemeler XSPEC'in en son versiyonu kullanılarak (Arnaud 1996) PL, DISKBB, BBODY, BBODYRAD, NTHCOMP, COMPPS ve galaktik ve kaynağa özgü sönmlemeleri hesaplamak için uygun modeller kullanılarak betimlenmiştir.

3 Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, LMXB'lerde düşük enerji bölgesinde tayfsal indis ve X-ışın ışımagücü arasında olduğu bilinen ilişki iki KD (2S 0921-63, 4U 1957+11) ve iki NY (4U 1608-52, MAXI J1807+132) -LMXB kaynağının tayfsal analizleri ile incelenmiştir.

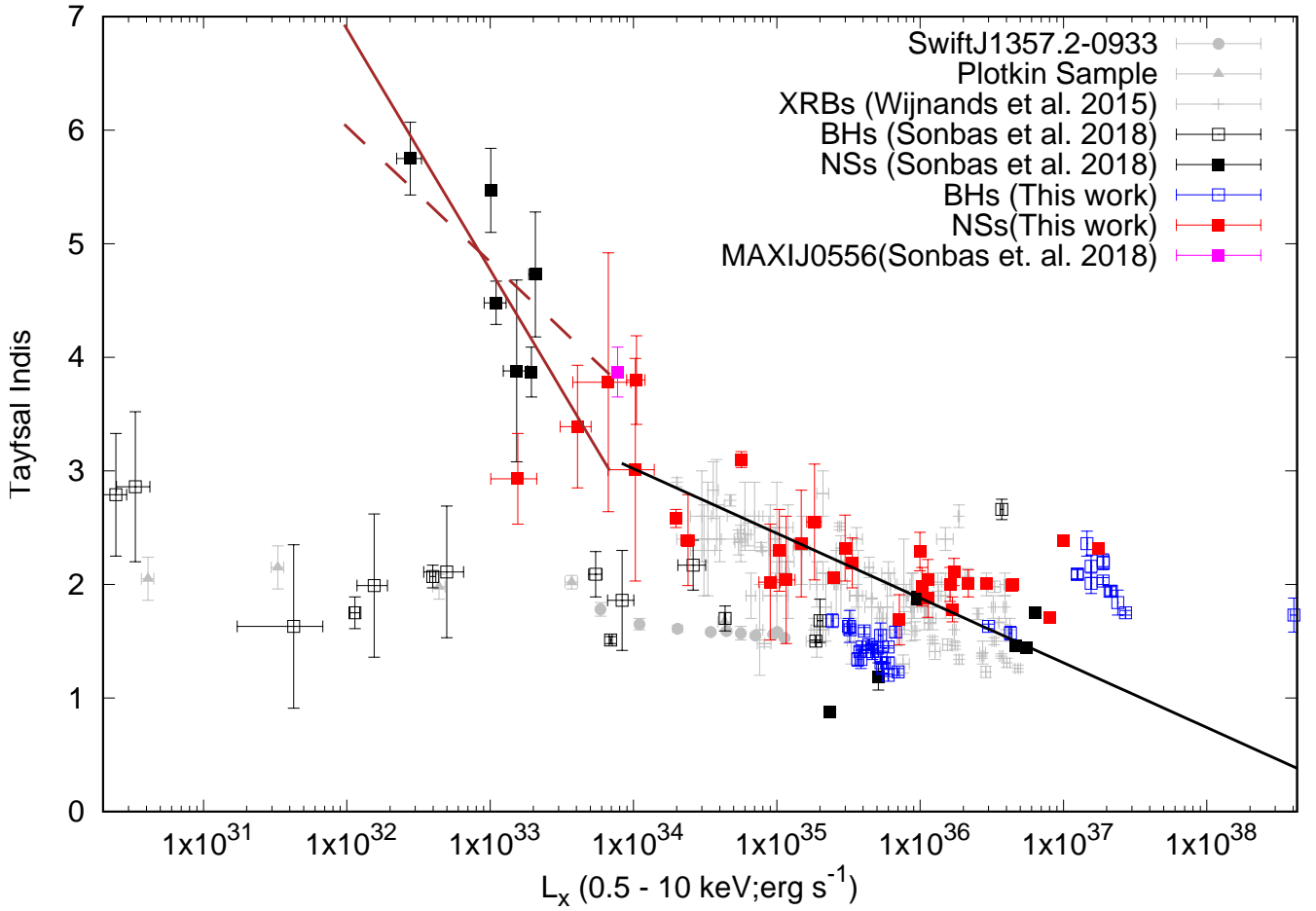
Öncelikli olarak termal, fenomenolojik güç yasası (PL) ve Comptonization gibi tekli modeller kullanılarak kabul edilebilir uyumlar elde edilmeye çalışılmıştır. Gerektiği durumlarda minimum model kombinasyonu kullanılmıştır. Özellikle NICER verilerinin düşük enerjilerdeki yüksek çözünürlükleri dolayısıyla bu enerji bölgesindeki termal yayını bileşenlerinin varlığı daha detaylı incelenbilmiştir. Termal bileşen, çok renkli bir disk veya standart bir kara cisim modelleri (bbbody, diskbb ve bbbodyrad) ile incelenmiştir. Sıradan bir güç yasasına, PL'a, ek olarak, Comptonization (nthCOMP) modelleri kullanılmış ve PL benzeri bir bileşen elde edilmiştir.

İncelediğimiz dört tane LMXB kaynağının Γ 'ya karşı 0.5–10 keV enerji aralığındaki ışımagücü davranışı (KD: siyah ve NS: kırmızı) Wijnands ve diğ. (2015) ve Sonbas ve diğ. (2018) ile birlikte Şekil 1'de sunulmaktadır. Siyah ile yüksek parlaklık verileri için ve kahverengi ile düşük parlaklık değerleri için gösterilen fitler Sonbas ve diğ. (2018)'den alınmıştır ve bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlarla uyum içindedir. Fit'lerden elde edilen değerler Çizelge 1'de verilmektedir.

Şekil 1'de görüldüğü üzere seçilen KD kaynaklarının $L \lesssim 10^{35}$ erg s^{-1} 'den daha düşük ışım gücünde verisi bulunmamıştır. NY kaynaklarının ışımagücü dağılımları bu

Çizelge 1. Analizleri yapılan kaynakların model fitlerinden elde edilen parametrelerden bir örneklem. Çizelge'de verilen kolonlar şu şekilde tanımlanmıştır: ID: Gözlem ID'si (N:Nicer, X:X-MM, S:Swift), d : Uzaklık (kpc), L : 0.5-10 keV aralığında ışınım gücü (erg s^{-1}).

Kaynak	ID	d	L	Model	Γ	$T_{\text{in}}/kT_{\text{bb}}$ (keV)	χ^2/dof
2S0921-63	1050460101(N)	7	$5.48 \pm 0.10 \times 10^{35}$	PL	1.26 ± 0.04	-	479/525
	1050460108(N)	-	$3.22 \pm 0.13 \times 10^{35}$	PL	1.63 ± 0.14	-	93/88
	1050460116(N)	-	$2.44 \pm 0.04 \times 10^{35}$	PL	1.68 ± 0.06	-	424/316
	1050460122(N)	-	$3.24 \pm 0.03 \times 10^{35}$	PL	1.59 ± 0.03	-	702/521
	51590101(X)	-	$4.10 \pm 0.01 \times 10^{35}$	BBODY+PL	1.59 ± 0.03	1.80 ± 0.03	1809/1534
4U1957+11	51590201(X)	-	$3.16 \pm 0.03 \times 10^{35}$	BBODY+PL	1.63 ± 0.07	1.43 ± 0.08	3143/3233
	2542010101(N)	-	$1.25 \pm 0.02 \times 10^{37}$	DISKBB+PL	2.09 ± 0.04	1.44 ± 0.01	1944/883
	2542010501(N)	-	$1.89 \pm 0.01 \times 10^{37}$	DISKBB+PL	2.03 ± 0.03	1.67 ± 0.01	4511/946
	206320101(X)	-	$3.00 \pm 0.01 \times 10^{36}$	BBODY+PL	1.63 ± 0.02	0.97 ± 0.02	2028/1789
	00030959006(S)	-	$4.27 \pm 0.09 \times 10^{36}$	PL	1.57 ± 0.06	-	220/214
4U1608-52	2050070127(N)	5.8	$1.03 \pm 0.37 \times 10^{34}$	PL	3.01 ± 0.98	-	66/58
	2050070115(N)	-	$1.83 \pm 0.21 \times 10^{35}$	PL	2.55 ± 0.51	-	86/76
	1050070120(N)	-	$1.05 \pm 0.15 \times 10^{34}$	PL	3.80 ± 0.39	-	64/32
	0050070108(S)	-	$2.88 \pm 0.02 \times 10^{36}$	PL	1.88 ± 0.17	-	369/488
	00030791130(S)	-	$1.48 \pm 0.16 \times 10^{35}$	PL	2.36 ± 0.47	-	81/126
MAXIJ1807+132	2200840101(N)	5	$1.48 \pm 0.01 \times 10^{36}$	BBODYRAD+PL	2.06 ± 0.02	0.11 ± 0.01	893/705
	2200840118(N)	-	$5.65 \pm 0.05 \times 10^{34}$	BBODYRAD+PL	3.10 ± 0.07	0.50 ± 0.01	504/393
	00010037017(S)	-	$2.40 \pm 0.26 \times 10^{34}$	PL	2.39 ± 0.40	-	87/117
	00010037009(S)	-	$4.07 \pm 0.99 \times 10^{33}$	PL	3.39 ± 0.54	-	10/20
	00010037021(S)	-	$1.56 \pm 0.55 \times 10^{33}$	PL	2.93 ± 0.40	-	15/10



Şekil 1. KD çiftleri (mavi) ve NY çiftleri (kırmızı) için tayfsal indekse karşı 0.5-10 keV'de X-ışını parlaklığı. Wijnands ve diğ. (2015) çalışması gri ile Sonbas ve diğ. (2018) siyah ile gösterilmiştir. Fit'ler Sonbas ve diğ. (2018)'den alınmış ve bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlarla uyum içindedir.

kaynak seti için KD'lere göre daha geniş ışımaya gücüne dağılmıştır. Bu durum kaynakların bulunduğu tayfsal evrelere ile ilgilidir. Daha önceki çalışmalarda belirtildiği üzere biz bu çalışmada mümkün olduğu kadar gözlemlerin her biri için en düşük parlaklık ölçeğine, yani LHS'de bulunan veya sessiz evreye yaklaşan kaynaklara ve mümkün olduğunca en basit tayfsal modelin kullanımına odaklandık. Şekil 1'in düşük parlaklık bölgesine dayalı olarak, NY çiftleri için indeksin parlaklık ile ters orantılı olduğu önerisini destekler niteliktedir. İncelenen veri seti için tayfsal indis parlaklık azaldıkça dik bir artış gösterir yani LHS ile ilişkilendirilebilecek parlaklık aralığında çok daha yumuşak spektrumlara işaret eder ancak şekilden de görüldüğü üzere hata barları nispeten yüksektir.

NY çiftleri için ışımagücü eşliğinin ($L=10^{34}$ erg s⁻¹) altında kaynakların tayfsal durumun karmaşık hale geldiği, yani bazı sistemlerin çok büyük tayfsal indekslere yol açan termal bileşen tarafından tamamen domine edilmiş olabileceği bu çalışma kapsamında incelenen kaynaklar için de elde edilmiştir (Rutledge ve diğ. 2001, 2002; Tomsick ve diğ. 2004; Campana ve diğ. 2002; Wijnands ve diğ. 2005, 2015; Heinke ve diğ. 2009; Degenaar ve diğ. 2012; Sonbas ve diğ. 2018). Gözlemlenen büyük termal bileşenin Wijnands ve diğ. (2015) tarafından önerildiği gibi, NY yüzeyinin varlığının bir sonucu olarak ortaya çıkması fikri daha sonraki çalışmalar ve teorik modellemelerle farklı kaynaklar için araştırılmaya açıktır. Bunun için, son zamanlarda yapılan çalışmalara (Wijnands ve diğ. 2004; Cackett ve diğ. 2008; Trigo ve diğ. 2011; Fridriksson ve diğ. 2011; Homan ve diğ. 2014; Degenaar ve diğ. 2015; Merritt ve diğ. 2016; Waterhouse ve diğ. 2016) ek olarak sessiz evrede geçici bir LMXB için etkin NY yüzey sıcaklık profillerinin NICER gibi uydulardan alınan yüksek çözünürlüklü verilerle belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, Qiao & Liu (2020) tarafından teorik olarak elde edilen f_{th} değerinin ADAF'ın yapısını ve elde edilen tayfi önemli ölçüde etkileyebileceği sonucu da göz ardı edilmemelidir. Soğuma profillerinin elde edilebileceği ve tüm bu önerilerin incelenbilmesi ancak çok sayıda kaynak için yüksek çözünürlükte verilerle mümkün olabilecektir.

4 Sonuç ve Yorum

İki KD (2S 0921-63, 4U 1957+11) ve iki NY (4U 1608-52, MAXI J1807+132) LMXB kaynağının tayfsal analizleri ile düşük ışımagücü ($L\sim 10^{30}-10^{36}$ erg s⁻¹) bölgesindeki davranışları bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Gerçekleştirilen analizler ile tayfların fenomenolojik bir PL modeli ile betimlenmesi yapılmıştır. Sonuç olarak, $L\lesssim 10^{34}$ erg s⁻¹ parlaklığında Γ ve L_x arasında Sonbas ve diğ. (2018) tarafından elde edilen anti-korelasyon bu çalışma kapsamında ele alınan X-ışın çiftleri için de elde edilmiştir. Çalışılan X-ışın ışımagücü aralığında KD X-ışın çiftleri için elde edilen sonuçlar yine önceki çalışmalarla uyum içindedir (Wijnands ve diğ. 2015; Sonbas ve diğ. 2018; Qiao & Liu 2020, 2021). Hem düşük hem de yüksek parlaklık için elde edilen uyum Sonbas ve diğ. (2018) ile tutarlıdır.

Teşekkür

E.S, 117F334 nolu TÜBİTAK projesine desteklerinden dolayı teşekkür eder.

Kaynaklar

Armas Padilla M., Degenaar N., Patruno A., Russell D., Linares M., Maccarone T., Homan J., Wijnands R., 2011, Monthly Notices

- of the Royal Astronomical Society, 417, 659
 Arnaud K., 1996, in *Astronomical Data Analysis Software and Systems V*. p. 17
 Barnard R., Garcia M. R., Primi F., Murray S. S., 2014, *The Astrophysical Journal*, 791, 33
 Barret D., Olive J., Boirin L., Done C., Skinner G., Grindlay J., 2000, *The Astrophysical Journal*, 533, 329
 Cackett E. M., Wijnands R., Miller J. M., Brown E. F., Degenaar N., 2008, *The Astrophysical Journal*, 687, L87
 Campana S., ve diğ., 2002, *The Astrophysical Journal*, 575, L15
 Degenaar N., Patruno A., Wijnands R., 2012, *The Astrophysical Journal*, 756, 148
 Degenaar N., ve diğ., 2015, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 451, 2071
 Fridriksson J. K., ve diğ., 2011, *The Astrophysical Journal*, 736, 162
 Gendreau K. C., ve diğ., 2016, in *Space telescopes and instrumentation 2016: Ultraviolet to gamma ray*. pp 420–435
 Heinke C., Jonker P., Wijnands R., Deloye C., Taam R., 2009, *The Astrophysical Journal*, 691, 1035
 Homan J., Fridriksson J. K., Wijnands R., Cackett E. M., Degenaar N., Linares M., Lin D., Remillard R. A., 2014, *The Astrophysical Journal*, 795, 131
 Lin F.-L., Wu S.-Y., 2009, *Physics Letters B*, 679, 65
 Lin D., Remillard R. A., Homan J., 2007, *The Astrophysical Journal*, 667, 1073
 Merritt R. L., ve diğ., 2016, *The Astrophysical Journal*, 833, 186
 Plotkin R. M., Gallo E., Jonker P. G., 2013, *The Astrophysical Journal*, 773, 59
 Qiao E., Liu B., 2020, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 496, 2704
 Qiao E., Liu B., 2021, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 502, 3870
 Remillard R. A., McClintock J. E., 2006, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 44, 49
 Rutledge R. E., Bildsten L., Brown E. F., Pavlov G. G., Zavlin V. E., 2001, *The Astrophysical Journal*, 551, 921
 Rutledge R. E., Bildsten L., Brown E. F., Pavlov G. G., Zavlin V. E., 2002, *The Astrophysical Journal*, 577, 346
 Sonbas E., Dhuga K., Göğüş E., 2018, *The Astrophysical Journal*, 853, 150
 Tomsick J. A., Gelino D. M., Halpern J. P., Kaaret P., 2004, *The Astrophysical Journal*, 610, 933
 Trigo M. D., Boirin L., Costantini E., Méndez M., Parmar A., 2011, *Astronomy & Astrophysics*, 528, A150
 Waterhouse A., Degenaar N., Wijnands R., Brown E., Miller J., Altamirano D., Linares M., 2016, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 456, 4001
 Wijnands R., Homan J., Miller J. M., Lewin W. H., 2004, *The Astrophysical Journal*, 606, L61
 Wijnands R., Heinke C. O., Pooley D., Edmonds P. D., Lewin W. H., Grindlay J. E., Jonker P. G., Miller J. M., 2005, *The Astrophysical Journal*, 618, 883
 Wijnands R., Degenaar N., Armas Padilla M., Altamirano D., Cavecchi Y., Linares M., Bahramian A., Heinke C., 2015, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 454, 1371

Access:

M23-0313: [Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.](#)