

Düşük Kütleli X-Işın Çiftlerinin Durum Geçişlerinin Zamansal Ölçek Kullanılarak Belirlenmesi

E. Sonbaş^{1,2}  , K. Mohamed³ , K.S. Dhuga² , E. Göğüş⁴ 

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

² George Washington Üniversitesi, Fizik Bölümü, Washington DC, USA

³ Sogah Üniversitesi, Fizik Bölümü, Sogah, Mısır

⁴ Sabancı Üniversitesi, Fizik Bölümü, Orhanlı-Tuzla, İstanbul, Türkiye

Accepted: November 7, 2022. Revised: November 7, 2022. Received: November 5, 2022.

Özet

Bileşenlerinden biri Kara delik (KD) olan Düşük kütleli X-ışın çiftlerinin (LMXB'lerin), ani parlamalara uğradıklarında sergiledikleri farklı yığılma süreçleri ile ilişkili tayfsal evreler ve geçişler gösterdikleri yaygın olarak kabul edilmektedir. Kompakt bileşeni bir nötron yıldızı (NY) olan LMXB'lerin de, KD-LMXB'lere benzer tayfsal evre geçişleri sergiledikleri bilinmektedir. Bu çalışmada, parlama profili q-eğri yapısı gösteren 9 tane KD ve NY-LMXB'nin zamansal analiz sonuçları sunulmaktadır. Çalışma kapsamında RXTE arşiv verileri kullanılarak kaynakların tayfsal evreleri ile ilişkili olan minimal zaman ölçeği (MTS) elde edilmiştir. KD ve NY kaynaklarında meydana gelen tayfsal değişimleri izlemeye MTS'nin öneminin ileri boyutta araştırılması için kaynakların evre geçişlerine özgü diğer parametreler olan ışınma şiddeti, RMS değişkenliği ve sertlik oranları ile karşılaştırılmıştır.

Abstract

Black hole (BH) binaries are known to undergo spectral transitions that form q-shaped tracks on a hardness intensity diagram (HID). Binaries hosting a neutron star (NS) are also known to undergo occasional outbursts exhibiting transitions between high and low-luminosity spectral states. In this study, the results of a temporal analysis of observations for nine BH and NS low-mass X-ray binaries (LMXBs) are presented. A wavelet transform of the data (taken with the Proportional Counter Array (PCA) on board RXTE), is deployed to construct high-resolution lightcurves. From these lightcurves, we extract a minimal time scale (MTS) associated with the spectral state of the sources. The MTS, together with the fractional root-mean-square (RMS) and hardness ratios, is used to construct RMS-MTS and hardness-MTS diagrams that enable a direct comparison of the evolution of spectral transitions in the target sources.

Anahtar Kelimeler: neutron star – black hole – X-ray binaries – MTS

1 Giriş

Bileşenlerinden biri Kara delik (KD) olan Düşük kütleli X-ışın çiftleri (Low Mass X-Ray Binaries, LMXBs) farklı tayfsal evreler ve bu evreler ile ilişkili geçişler sergilemektedir. Bu evreler ve ilişkili tayfsal geçişler sertlik ışınma gücü diyagramında (hardness-intensity diagram; HID) tipik olarak bir q-eğrisi yapısı göstermektedir ve bu kaynaklar üzerine yapılan çalışmalarda oldukça kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır (Remillard & McClintock 2006; Belloni 2010). HID, yığılma hızı ve yığılma diskinin olası yönelimi arasındaki eşleşme derecesini ile ilgili bilgi sağlayan ve tipik olarak tayfsal durumlar arasındaki geçişleri izlemek için kullanılan bir şemadır.

Karadelik çiftlerinde gözlemlenen tayfsal ve zamansal özelliklerinin çoğunluğunu belirleyen temel yayılım bileşenlerinin temelinde yatan nedenlerin kaynağın konfigürasyonu ile dinamiği arasındaki etkileşim olduğu düşünüldüğünden, yığılma hızına ek olarak disk ve koronanın öneminin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Kaynak bir evre değişime girdiğinde, diskin belirli bölgeleri ile kaynağın farklı evrelerinin birbirleri arasında bir dinamiği olduğu varsayılmaktadır. Teoride bu varsayım kabul edilse de disk

boyutunun hangi kapsamda değiştiği ve bu değişimin korona boyutuyla ya da kaynağın tayfsal evreleri ile dinamik ilişkisini destekleyen sadece birkaç örnek literatürde bulunmaktadır (Tomsick ve diğ. 2009; Plant ve diğ. 2014). Bazı çalışmalarda diskin LHS'de kesilmeyebileceği öne sürülmektedir (Reis ve diğ. 2009; Reynolds ve diğ. 2010; Reynolds & Miller 2013). Kaynaklar farklı tayfsal evrelerden geçerken disk/korona konfigürasyonunun kapsamını ve değişimini belirleyebilmek için, geniş bir parlaklık aralığında HID aracılığıyla elde edilenin ötesine geçen çok daha kesin ve sistematik zamansal ve tayfsal özelliklerin bilinmesi gereklidir.

Geçici nötron yıldızı X-ışını çiftlerinde (NY-LMXB'ler) yığılmadan dolayı tekrarlayan parlamalar görülmektedir. Bu parlama dönemleri arasında yığılma önemli ölçüde azaldığında uzun sessizlik dönemleri yaşadıkları bilinmektedir. Kaynakların sergilediği bu değişimler hem yoğun nesnelere özelliklerini hem de yığılma sürecini araştırmak için eşsiz bir fırsat sağlar. Karadelik çiftlerinde görülen sert, orta ve yumuşak evre dahil olmak üzere farklı tayfsal evreler NY-LMXB'lerle de ilişkilendirilebilir (KD'ler: Fender ve diğ. 2004; Belloni ve diğ. 2005; van der Klis 2006). NY-LMXB'ler $Z (L_x > 0.5 L_{\text{Edd}})$ ve Atol kaynakları ($0.01 L_{\text{Edd}} < L_x < 0.5 L_{\text{Edd}}$) olmak üzere iki alt sınıfa ayrılır. Bu sınıflandırma kaynakların sertlik ya da yumuşaklığının renk-renk (color-color diagram – CCD)

* edasonbas@gmail.com

diyagramındaki değişimine göre yapılmaktadır (*Hasinger & van der Klis 1989*). Diğer yandan bazı çalışmalar (*Gierliński & Done 2002; Munro ve diğ. 2002*), bu iki alt grubun evrim süreçlerinin çok benzer olduğunu ve bu nedenle CCD'de görülen farklılığın sorgulanması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Bununla birlikte hem HID hem de CCD'deki tayfsal değişimler üzerine yapılan çalışmalarda ister KD ister NY barındırsınlar, LMXB'lerin çoğu için histerezis benzeri döngü yapılarını gösterdiği görülmüştür (bkz. *Dunn ve diğ. 2010; Homan ve diğ. 2001; Belloni ve diğ. 2006*). Kaynaklarda gözlenen bu döngü yapıları her bir parlamada sergilenen yoğunluklarına bağlı olarak HID'ler üzerinde kaynaktan kaynağa farklılık gösteren bant yapısı şeklinde bir dağılım sergilerler.

HID'deki sertlik oranına ek olarak literatürde yoğun olarak kullanılan diğer bir parametre RMS değişkenlik ölçeğidir. Bu parametre verilen bir frekans aralığında normalize edilmiş kuvveti temsil eder ve tayfsal güç yoğunluğundan elde edilir (power spectral density – PSD: *Leahy ve diğ. 1983; Lewin ve diğ. 1988; van der Klis 1989; Belloni & Hasinger 1990; Miyamoto ve diğ. 1992*). Oldukça fazla sayıda NY-LMXB için Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE) verileri kullanılarak yapılan sistematik bir çalışma, *Muñoz-Darias ve diğ. (2014)*, tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada NY-LMXB'lerin, sert ve yumuşak evre arasında KD-LMXB'lerde gözlemlenenlere benzer (*Miyamoto ve diğ. 1995*) histerezis benzeri yapılar sergilediği kaynakların HID ve RMS-Şiddet diyagramları (RMS intensity diagram – RID) oluşturularak gösterilmiştir. Sert evrede koronadaki enerjili elektronların baskın bir şekilde Kompton saçması yaptığı düşünülürken, yumuşak evrenin, yığılma diskinden gelen ısıl yayılım ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda NY-*XRb*'lerde yüksek yığılma durumunda histerezis yapısının görülmediği gözlenmiştir. Daha yüksek yığılma hızlarında, NY çiftleri, parlama ve hızlı renk değişimleri ile karakterize edilen ısıl olarak baskın bir evrede kalırlar.

Sonbaş ve diğ. (2020) tarafından literatürde ilk defa düşük kütleli X-ışın çiftlerinin farklı tayfsal evreleri için kaynağın sayım oranlarını "minimal zaman ölçeği" (MTS)'nin fonksiyonu olarak haritalayan şiddet-değişkenlik diyagramı (IVD) aracılığıyla tayfsal geçişleri izlemek için zamansal bir özellik olan "minimal zaman ölçeği" wavelet (dalgaçık) tekniği kullanılarak hesaplanmıştır. MTS, bir ışık eğrisindeki en kısa süreli zamansal özellik ile ilişkili olan zaman ölçeğini veya bir PSD'de poissonian gürültüsünün üzerindeki sinyalin eşdeğer olarak en yüksek frekans bileşenini temsil eder (*Mohamed ve diğ. 2021*). Çalışmada, GX 339-4 kaynağının 2002-2003 yıllarında görülen parlaması için RXTE veri tabanındaki arşiv verileri kullanılarak elde edilen şiddet-değişkenlik diyagramlarının HID (ve RID) diyagramına eşdeğer bir değişim olduğu ilk defa literatürde gösterilmiştir. Ek olarak, RMS ile MTS arasında da belirgin pozitif bir korelasyon olduğu da gösterilmiştir. Başka bir çalışmada (bkz. *Mohamed ve diğ. 2021*), 4U 1605-68 ve Aql X1 adlı iki NY X-ışın çiftinin analizleri sonucunda RMS ve MTS arasında bir anti-korelasyon olduğu bulunmuştur. Bu iki sınıf arasında görülen bu farklılığın karadeliklerden farklı olarak nötron yıldızlarında bulunan sert yüzeyin varlığından kaynaklanabileceği üzerine yoğunlaşmıştır (*Done & Gierliński 2003*).

Bu çalışmada, bir grup KD ve NY (Atoll ve Z-tipi kaynaklar) çiftlerinde meydana gelen tayfsal değişimleri inceleyen IVD'nin rolünün daha ayrıntılı araştırmak ve bu kaynakların RMS-MTS düzlemindeki davranışını incelemek ve

farklı sınıflar arasındaki bir ilişkinin varlığı belirlemek için bu kaynak grupları birlikte değerlendirilmiştir.

2 Veri Analiz Yöntemi

Öncelikli olarak belirlediğimiz bütün kaynakların verileri RXTE arşivlerinden indirilmiş ve parlama (outburst) profillerinin hangi dönemlerde q-eğrisi yapısı gösterip göstermediği öncelikli olarak incelenmiştir. Parlama profili q-eğrisi yapısı gösteren 9 LMXB (5'i bir nötron yıldızı (4U1608-52, Aql X-1, 4U1705-44, GX17+2 ve Cyg X-2) 4'ü karadelik (GX339-4, XTE J1859+226, H1743-322; MAXI J1659-152) barındıran) zamanlama analizleri için belirlenmiştir.

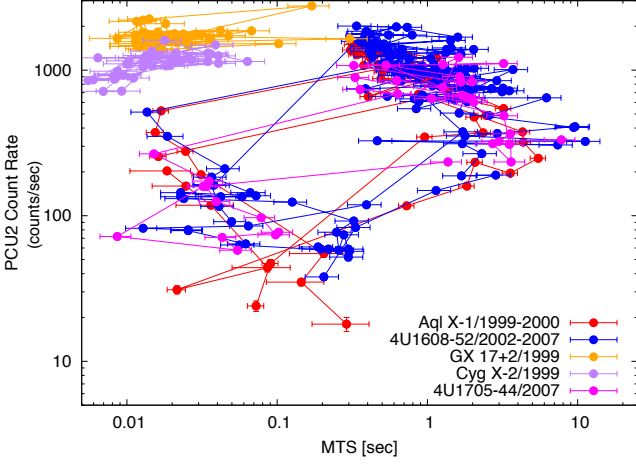
Analizler RXTE uydusu için HEASOFT-V.6.26'da oluşturulan en güncel yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde, yüksek çözünürlüklü farklı PCA veri modları kullanılmıştır. Bu veriler farklı kanallar için farklı zaman çözünürlüklerini içeren Good-Xenon veya tam enerji bandını kapsayan Event veri modları veya tam enerji bandını kapsayacak şekilde Tek Bit ve Event veri modlarının birleşimini içermektedir. Tüm enerji bandının kullanmanın en önemli nedeni, yüksek enerji bantlarında görülmesi muhtemel olan ardalan gürültüsünü elde etmektir. Sonuç olarak bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar için 2^{-12} s (yani $\sim 244 \mu s$) çözünürlüğüne sahip ışık eğrileri standart teknikler kullanılarak ve aktif olan bütün PCU dedektörleri kullanılarak elde edilmiştir. Her bir gözlem için FTOOL'da bulunan pccbackest özelliği kullanarak bir ardalan modeli oluşturulmuş ve oluşturulan bu ardalan modeli PSD (Power Density Spectrum)'lerin normalizasyonu için kullanılmıştır.

RMS değişkenlik ölçeği, verilen bir frekans aralığında normalize edilmiş kuvveti temsil eder ve tayfsal güç yoğunluğundan elde edilir (power spectral density; PSD). RMS değişkenlik ölçeğinin hesaplanması için kaynağın ışık eğrisinin yeteri kadar uzun süreli bölünmüş olması gerekmektedir. Bu nedenle, PDS'ler ışık eğrilerinin 16 s süreli segmentlere bölünerek ve 2048 Hz'lik Nyquist frekansı için Powspec 1.0'ı (Xronos5.22) programı ile *Nowak (2000); Pottschmidt ve diğ. (2003); Belloni ve diğ. (2005)* tarafından belirtilen yöntem takip edilerek tek tek oluşturulmuştur.

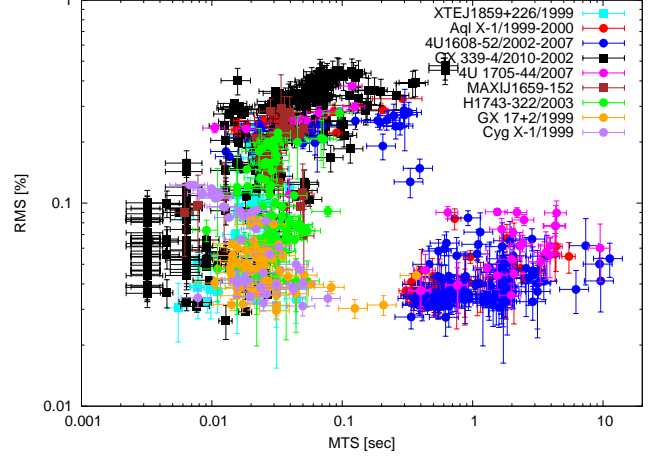
Yüksek zaman çözünürlüğüne sahip ışık eğrilerinden elde edilen MTS, Wavelet (dalgaçık) dönüşümü adı verilen yöntem ile ışık eğrilerinin dalga dönüşümünü yapmak ve dolayısıyla sistemde var olan birden fazla süreç olması durumunda bir sürecin baskın olduğu dalga sabitinin değişim katsayısının istatistiksel ölçümü elde edilmektedir (ayrıntılı bilgi için bkz. *MacLachlan ve diğ. 2013; Sonbaş ve diğ. 2020; Mohamed ve diğ. 2021*).

3 Bulgular ve Tartışma

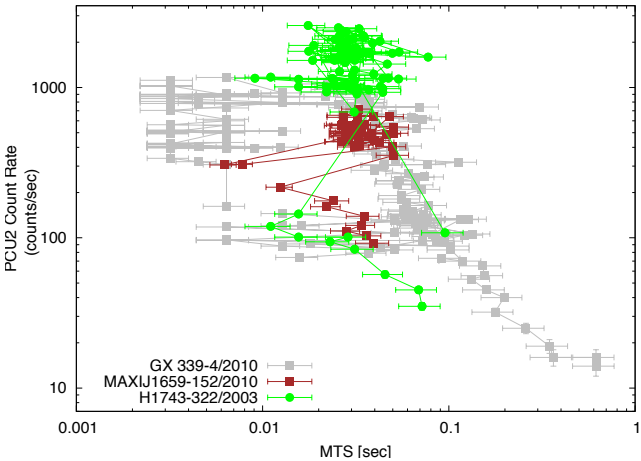
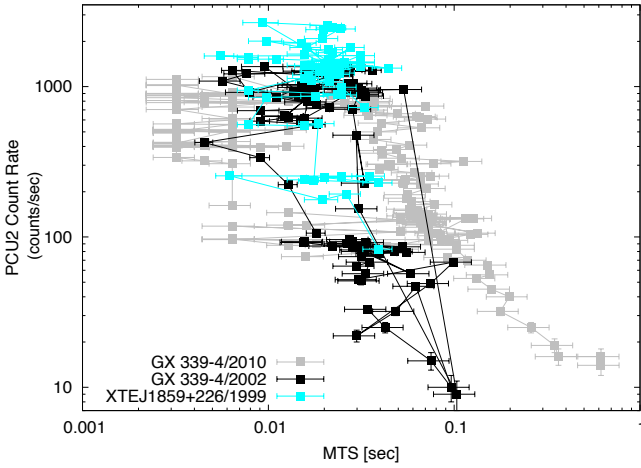
Çalışma kapsamında *Muñoz-Darias ve diğ. (2014)* çalışmasından yola çıkarak histerezis yapısı gösteren 5 tane NY-*XRb* (4U1608-52, Aql X-1, 4U1705-44, GX17+2 ve Cyg X-2) ve karşılaştırmak amacıyla 4 tane KD-*XRb* (GX339-4, XTE J1859+226, H1743-322 ve MAXI J1659-152) kaynağının MTS'e karşı sertlik oranı ve RMS değişimleri incelenmiştir. Kaynakların sertlik oranı her kaynak için tutarlı olması amacıyla 6-15 keV ve 2-6 keV bantlarındaki foton sayı oranları dikkate alınarak elde edilmiştir. Hem NY hem de KD kaynakları için tüm evreleri içeren şiddet-MTS grafikleri Şekil 1 ve Şekil 2 üst ve alt panellerde gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere Atoll kaynakları iki farklı evre için MTS



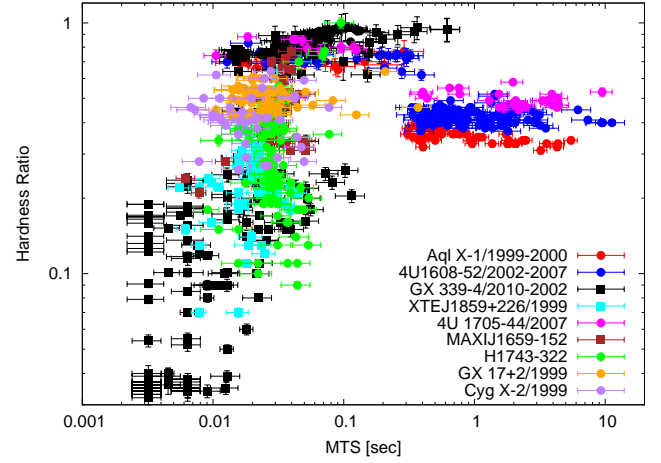
Şekil 1. Histerezis döngüsü gösteren NY kaynakları için foton sayı oranı (PCU2) ile MTS karşılaştırması. Z kaynakları çok küçük MTS değerleri ile Atoll kaynaklarından ayrı bir küme oluşturmaktadır.



Şekil 3. NY ve KD kaynakları için RMS ve MTS değişimi. Yüksek RMS değerlerinde KD ve NY kaynakları ortak bir bölgede kümelenmektedir. Düşük RMS değerlerinde kaynaklar MTS düzleminde belirgin bir ayrım sergilemektedir.



Şekil 2. q benzeri yapı gösteren KD kaynakları için foton sayı oranı (PCU2) ile MTS karşılaştırması. Üst panel: GX 339-4 ve XTE J1859+226 kaynaklarının sırasıyla 2002-2003, 2010 ve 1999 patlaması. Alt panel: GX 339-4'ün 2010 parlaması, MAXI J1659-152 ve H1743-322'nin 2003 parlaması.



Şekil 4. NY ve KD kaynakları için sertlik oranına karşı MTS değişimi. KD ve NY kaynakları RMS'de de görüldüğü gibi KD'ler için LHS evresinde ortak bir bölgede kümelenmektedir.

düzleminde net bir şekilde ayrım sergilemektedir. Ayrıca, yine aynı şekilde, küçük MTS ve nispeten yüksek foton sayı oranlarında ek bir kümelenme göze çarpmaktadır. Bu kümeyi oluşturan Z-tipi kaynaklar (GX17+2; Cyg X-2) foton sayı oranı-MTS düzleminde Atoll kaynaklarından ayrı bir davranış sergilemektedir. Karadelik kaynakları için Şekil 2 üst panelde GX339-4 kaynağının hem 2002 hem de 2010 parlamalarının tüm evreleri için q benzeri yapılar gösterdiği görülmektedir. Şekil 2'nin alt panelde verilen XTE J1859+226, H1743-322 ve MAXI J1659-152 kaynakları, daha az gözlem içerdikleri için kısmi q yapısı sergilemektedir.

Sonbas ve diğ. (2020)'den yola çıkarak GX339-4 kaynağı için RMS ve MTS arasında görülen bağıntı Karadelik ve Nötron Yıldız kaynaklarının direk karşılaştırmasını yapmak ve aralarındaki belirgin farklılığı araştırmak için bu çalışma kapsamında ele alınan kaynaklar için incelenmiştir. Elde edilen RMS, MTS ve sertlik oranlarının sonuçları Şekil 3 ve 4'de sunulmaktadır. Her iki grafikten de açıkça görüldüğü gibi NY

ve KD kaynakları RMS-MTS ve Sertlik-MTS düzlemlerinde farklılık göstermektedir. Hem KD hem de NY kaynaklarının bulunduğu bir ortak bölge de bulunmaktadır. KD'ler ve Z tipi NY kaynaklarının yer aldığı ortak bir bölge bulunmaktadır. Ayrıca Atoll ve KD'lerin yer aldığı iki farklı bölge bulunmaktadır. RMS-MTS grafiğinden görüldüğü üzere, düşük RMS ve MTS açık bir şekilde küçük MTS Z-tipi kaynaklara ve büyük MTS Atoll'lere karşılık gelecek şekilde Atoll ve Z-tipi kaynakları ayırmaktadır. Bu ayırımın nedeni olarak akla ilk gelen olasılık yığılma oranıyla ilgilidir; Atoll'lerde parlaklık, Eddington'ın tipik olarak %10'unun bir kesri iken, Z-tipi kaynaklarda parlaklık tipik olarak Eddington'ın %50'sinden fazladır. Parlaklıktaki bu büyük farkın her bir kaynak türlerindeki yığılma hızının bir yansımaya olması muhtemeldir, yani yığılma hızının Z tipi kaynaklarda en az beş kat daha büyük olması beklenir. Bir diğer etki, Z-tipi kaynaklarda büyük bir koronal yoğunluk (optik olarak kalın bir yığılma akışı) olmasıdır denilebilir. Atoll'lerde Z-tipi kaynakların aksine yığılma hızının çok daha düşük olması ve dolayısıyla daha düşük bir koronal yoğunluğun (optik olarak ince bir yığılma akışı) olması beklenir. Bu da Atoll kaynakların daha büyük etkileşim mesafeleri yani daha büyük zaman ölçeklerine sahip olması anlamına gelmektedir. Göz önünde bulundurulabilecek bir diğer faktör, Atoll ve Z-tipi kaynakların sahip olduğu manyetik alan şiddetidir. Yeterince güçlü bir alan (10^{10} Gauss seviyesinde) yığılma akışını kutup bölgelerine yeniden yönlendirebilir, böylece yığılma diski etkin bir şekilde kesilime uğrar ve yığılmanın geometrisini ve tohum fotonlarını önemli ölçüde değiştirir. Bu çalışma kapsamında ele alınan Atoll ve Z-tipi kaynakların ortalama alan kuvveti yaklaşık 10^8 Gauss olduğundan, iki tür kaynak arasında gözlemlenen MTS'deki farkı yaratmış olması muhtemel değildir.

Şekil 4'de görülen Sertlik-MTS grafiği yalnızca KD kaynakları olduğunu göstermektedir. Görünüşe göre, NY kaynakları bu çok düşük sertliğe ulaşamamaktadır (NY kaynaklarında sert yüzeyin nedeniyle olduğu bilinen bir özellik, bkz. [Done & Gierliński 2003](#)). KD'ler ve Z-tipi kaynaklar Şekil 4'de görüleceği üzere bir bölgeyi paylaşırlar fakat KD ve NY kaynakları, çok düşük sertlik ve düşük MTS bölgesinde ayrılmaktadırlar. Yukarıda verilen bu grafikte [Done & Gierliński \(2003\)](#) ve [Gardenier & Uttley \(2018\)](#) çalışmasıyla mükemmel bir uyum içindedir.

4 Sonuç

Çalışma kapsamında 9 LMXB'nin RXTE/PCA arşiv verilerinin analizleri yapılmıştır. Bu kaynaklardan 5'i nötron yıldız (4U1608-52, Aql X-1, 4U1705-44, GX17+2 ve Cyg X-2) ve 4'ü karadelik (GX 339-4, XTE J1859+226, H1743-322 ve MAXI J1659-152) düşük kütleli X- ışın çiftidir. NY grubu 3 Atoll ve 2 Z tipi kaynak içermektedir. Sonuçta, Bütün KD kaynakları için IVD'ler HID grafiklerinde görülen q-yapısı gösteren histerezis benzeri döngü sergilediği görülmüştür. Buna karşılık, Atoll-NY kaynakları için IVD, eşdeğer HID'nin "ayna" görüntüsü gibi görünmektedir. Z tipi kaynaklar, düşük MTS bölgesinde ayrı bir küme oluşturur. IVD, RMS-MTS ve sertlik-MTS grafiklerinin tümü, NY evre geçişlerinin iki temel evre yani sert bir evre ve görece yumuşak evre ile tanımlandığını gösterir. NY'ler sert evrede, her üç diyagramda da KD ile aynı bölgede yer almaktadır. Bu nedenle NY'lerin bu evrelerinin KD kaynaklarının düşük/sert evresi ile eşdeğer olduğu fikrini öne çıkarır. Sert evrenin aksine, NY kaynaklarındaki yumuşak evre, hem RMS-MTS hem de sertlik-MTS grafiklerinde belirgin şekilde farklılık gösterir ve

bu evre ile ilişkili yayını için farklı bir süreç olduğunu gösterir. Düşük RMS değerlerinde, Atoll kaynaklar Z-tipi ve KD kaynaklarından MTS düzleminde farklılaşır. Sertlik-MTS grafiğinde, KD kaynakları çok düşük sertlik ve karşılık gelen düşük MTS değerlerine sahip tek kaynaklar gibi görünmektedir. Bu özellik, LMXB'lerde bileşenleri KD ve NY olan kaynaklar arasında ayırım yapmamızı sağlar. NY kaynakları için bu bölgede gözlemlenen yayınının olmaması, olasılıklar bu kaynaklardaki sert yüzeyin varlığından kaynaklanmaktadır.

Acknowledgment

Bu çalışma 117F334 nolu TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Belloni T. M., 2010, in Belloni T., ed., , Vol. 794, Lecture Notes in Physics, Berlin Springer Verlag. Springer Verlag, p. 53, doi:10.1007/978-3-540-76937-8_3
- Belloni T., Hasinger G., 1990, *A&A*, 230, 103, [ADS](#)
- Belloni T., Homan J., Casella P., van der Klis M., Nespoli E., Lewin W. H. G., Miller J. M., Méndez M., 2005, *A&A*, 440, 207
- Belloni T., ve diğ., 2006, *MNRAS*, 367, 1113
- Done C., Gierliński M., 2003, *MNRAS*, 342, 1041
- Dunn R. J. H., Fender R. P., Körding E. G., Belloni T., Cabanac C., 2010, *MNRAS*, 403, 61
- Fender R. P., Belloni T. M., Gallo E., 2004, *MNRAS*, 355, 1105
- Gardenier D. W., Uttley P., 2018, *MNRAS*, 481, 3761
- Gierliński M., Done C., 2002, *MNRAS*, 337, 1373
- Hasinger G., van der Klis M., 1989, *A&A*, 225, 79, [ADS](#)
- Homan J., Wijnands R., van der Klis M., Belloni T., van Paradijs J., Klein-Wolt M., Fender R., Méndez M., 2001, *ApJS*, 132, 377
- Leahy D. A., Darbro W., Elsner R. F., Weisskopf M. C., Sutherland P. G., Kahn S., Grindlay J. E., 1983, *ApJ*, 266, 160
- Lewin W. H. G., van Paradijs J., van der Klis M., 1988, *Space Sci. Rev.*, 46, 273
- MacLachlan G. A., ve diğ., 2013, *MNRAS*, 432, 857
- Miyamoto S., Kitamoto S., Iga S., Negoro H., Terada K., 1992, *ApJ*, 391, L21
- Miyamoto S., Kitamoto S., Hayashida K., Egoshi W., 1995, *ApJ*, 442, L13
- Mohamed K., Sonbaş E., Dhuga K. S., Göğüş E., Tuncer A., Abd Allah N. N., Ibrahim A., 2021, *MNRAS*, 502, L72
- Muñoz-Darias T., Fender R. P., Motta S. E., Belloni T. M., 2014, *MNRAS*, 443, 3270
- Muno M. P., Remillard R. A., Chakrabarty D., 2002, *ApJ*, 568, L35
- Nowak M. A., 2000, *MNRAS*, 318, 361
- Plant D. S., Fender R. P., Ponti G., Muñoz-Darias T., Coriat M., 2014, *MNRAS*, 442, 1767
- Pottschmidt K., ve diğ., 2003, *A&A*, 407, 1039
- Reis R. C., Miller J. M., Fabian A. C., 2009, *MNRAS*, 395, L52
- Remillard R. A., McClintock J. E., 2006, *ARA&A*, 44, 49
- Reynolds M. T., Miller J. M., 2013, *ApJ*, 769, 16
- Reynolds M. T., Miller J. M., Homan J., Miniutti G., 2010, *ApJ*, 709, 358
- Sonbaş E., Mohamed K., Dhuga K. S., Tuncer A., Göğüş E., 2020, *MNRAS*, 499, 2513
- Tomsick J. A., Yamaoka K., Corbel S., Kaaret P., Kalemci E., Migliari S., 2009, *ApJ*, 707, L87
- van der Klis M., 1989, *ARA&A*, 27, 517
- van der Klis M., 2006, in , Vol. 39, Compact stellar X-ray sources. Cambridge University Press, pp 39–112

Access:

M23-0324: [Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.](#)