



**T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DÜŞÜK KÜTLELİ X-IŞIN ÇİFTLERİNİN ZAMAN ANALİZİ İLE  
TAYFSAL EVRELERİNİN İNCELENMESİ**

**Aslı TUNCER**

**Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı**

**Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Tolga GÜVER**

**II. DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Eda SONBAŞ**

**Aralık, 2020**

**İSTANBUL**

Bu alışma 27.01.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı Astronomi ve Uzay Bilimleri Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

### **Tez Jürisi**

Prof. Dr. Tolga GÜVER (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Ersin GÖĞÜş  
Sabancı Üniversitesi  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

Prof. Dr. Yavuz EKşİ  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Fen Edebiyat Fakültesi

- **İntihal Programı Beyanı**

20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

- **Proje Destekleri**

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 1001 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez 177F334 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

- **Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri**

[Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 499, 2513]

## ÖNSÖZ

Attığım adımlar için bana cesaret ve güç veren, hem tezimin hem de kariyer hedeflerimin arkasındaki isim, desteğini esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerini paylaşarak bana ışık olan sevgili hocam Prof. Dr. Tolga GÜVER, size yürekten teşekkür ederim.

Prof. Dr. Eda SONBAŞ, bana kazandırdıklarınız için size minnettarım, sizinle çalışmak bir onurdu. Bilginizi, desteğinizi esirgemediğiniz ve tüm bu süreçteki anlayışınız, hoşgörünüz, tavrınız için sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmamdaki analizlerin matematiksel altyapısının anlaşılmasında bilgilerini aktaran Prof. Dr. Ersin GÖĞÜŞ, sabrınız ve desteğiniz için içten teşekkürlerimi sunarım.

Lisansüstü eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen tüm lisansüstü arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Lisansüstü tez çalışmamı destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

En zor dönemlerimde hep yanımda bulduğum, tezimi bitirebilmem için gereken ruhsal desteği veren, yardımlarını esirgemeyen canım dostum Kübra ÇELİK, bu kadar cömert ve içten olduğun için sana çok teşekkür ederim.

Ve son olarak tüm kararlarımı saygıyla karşılayan, maddi manevi desteğini bir an olsun eksik etmeyen canım ailem, siz olmadan imkansızdı. Bana inandığınız, desteğinizi esirgemediğiniz ve sonsuz emek verdiğiniz için teşekkür ederim.

Aralık, 2020

Aslı TUNCER

# İÇİNDEKİLER

|                                                         | Sayfa No |
|---------------------------------------------------------|----------|
| ÖNSÖZ .....                                             | iv       |
| İÇİNDEKİLER .....                                       | vi       |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                     | viii     |
| TABLO LİSTESİ .....                                     | ix       |
| SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....                         | xi       |
| ÖZET .....                                              | xiii     |
| SUMMARY .....                                           | xv       |
| 1. GİRİŞ .....                                          | 1        |
| 2. GENEL KISIMLAR .....                                 | 5        |
| 2.1. X-IŞIN ÇİFTLERİ .....                              | 5        |
| 2.1.1. Büyük Kütleli X-Işın Çiftleri .....              | 7        |
| 2.1.2. Düşük Kütleli X-Işın Çiftleri .....              | 8        |
| 2.1.3. Düşük Kütleli X-ışın Çiftlerinin Türleri .....   | 9        |
| 2.1.3.1. Nötron Yıldızı DKXÇ' ler .....                 | 9        |
| 2.1.3.2. Kara Delik DKXÇ' ler .....                     | 10       |
| 2.2. YIĞILMA DİSKİNİN YAPISI .....                      | 11       |
| 2.2.1. Standart Disk Modeli .....                       | 11       |
| 2.2.2. Disk Kararsızlığı Modeli .....                   | 12       |
| 2.2.2.1. Termal Kararsızlık .....                       | 13       |
| 2.2.2.2. Manyeto-Dönme Kararsızlığı .....               | 15       |
| 2.3. ANİ PARLAMA MEKANİZMASI .....                      | 16       |
| 2.4. X-IŞIN EVRELERİ .....                              | 16       |
| 2.4.1. Nötron Yıldızı DKXÇ' lerde X-Işın Evreleri ..... | 20       |
| 3. MALZEME VE YÖNTEM .....                              | 23       |
| 3.1. RXTE (ROSSI X-RAY TIMING EXPLORER) .....           | 23       |
| 3.2. ZAMAN ANALİZİ .....                                | 24       |

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.1. RMS Değişkenliği .....                                                         | 24        |
| 3.2.2. Fourier Analizi .....                                                          | 25        |
| 3.2.3. Güç Yoğunluğu Tayfı (Power Density Spectrum, PSD) .....                        | 26        |
| 3.2.4. Normalizasyon .....                                                            | 27        |
| 3.2.5. Fourier Temelli Zaman Analizi .....                                            | 28        |
| 3.2.6. Minimum Değişkenlik Zaman Ölçeği; MTS .....                                    | 29        |
| 3.2.7. Dalgacık ( <i>Wavelet</i> ) Analizi .....                                      | 30        |
| 3.3. TAYFSAL ANALİZ VE MODELLER .....                                                 | 32        |
| <b>4. BULGULAR .....</b>                                                              | <b>35</b> |
| 4.1. LOG-SKALA DİYAGRAMI .....                                                        | 35        |
| 4.2. MTS' İN IŞIMA GÜCÜNE BAĞLI DEĞİŞİMİ .....                                        | 37        |
| 4.3. $\sigma$ (RMS) - AKI İLİŞKİSİ (RID; RMS INTENSITY DIAGRAM) .....                 | 40        |
| 4.4. MTS-RMS İLİŞKİSİ .....                                                           | 41        |
| 4.5. MTS- KIRILIM (BREAK) FREKANSI İLİŞKİSİ .....                                     | 44        |
| 4.6. 4U 1608-52 VE AQL X-1' İN MTS' İN KESİLİM FREKANSI VE SERTLİK İLE İLİŞKİSİ ..... | 52        |
| 4.7. GX 339-4 İÇİN TAYFSAL ANALİZLER .....                                            | 59        |
| <b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>                                                     | <b>63</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                | <b>66</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                 | <b>71</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Page No

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.1:</b> Temsili bir x-ışın çifti resmi ( <a href="https://www.oulu.fi/astronomy/BachelorTopics/">https://www.oulu.fi/astronomy/BachelorTopics/</a> , 24.08.2020) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 6  |
| <b>Şekil 2.2:</b> Temsili bir düşük kütleli x-ışın çiftinin sahip olduğu roche geometrisi ve lagrange noktaları. $m_1$ ; yoldaş yıldızın kütlesi, $m_2$ ; birincil yıldızın kütlesi ve $L_1$ , $L_2$ , $L_3$ , $L_4$ , $L_5$ sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci Lagrange noktalarıdır. ( <a href="https://www.emis.de/journals/LRG/Articles/lrr-2013-4/fig_10.html">https://www.emis.de/journals/LRG/Articles/lrr-2013-4/fig_10.html</a> ) ..... | 7  |
| <b>Şekil 2.3:</b> DKXÇ (içi boş daireler) ve BKXÇ' lerinin (içi dolu daireler) galaksimizdeki dağılımları (Grimm ve diğ., (2002)).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 9  |
| <b>Şekil 2.4:</b> Yığılma disklerindeki sıcaklık ile yüzey yoğunlu arasındaki ilişkiyi gösteren ısısal çevrim eğrisi ( $\Sigma$ ; diskin yüzey yoğunluğu, $T$ ; Sıcaklık) ( <a href="https://jila.colorado.edu/~pja/araa/thermal_instability.pdf">https://jila.colorado.edu/~pja/araa/thermal_instability.pdf</a> ).....                                                                                                                                           | 14 |
| <b>Şekil 2.5:</b> GX 339-4 kaynağının 2002/2003 parlamasının evrelerinin ayrı ayrı belirtilmiş HID diyagramı(T. Belloni ve diğ., 2005) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 19 |
| <b>Şekil 2.6:</b> Atoll (A), parlak atol (BA) ve Z kaynakların rms-şiddet diyagramındaki konum ve davranışları (T. Muñoz-Darias ve Diğ., 2014). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 21 |
| <b>Şekil 3.1:</b> RXTE uydusunun üç ana bilimsel aracıyla birlikte şematik görünümü. ( <a href="https://cass.ucsd.edu/hexte/hexte/tour/rxte_spacecraft.html">https://cass.ucsd.edu/hexte/hexte/tour/rxte_spacecraft.html</a> ).....                                                                                                                                                                                                                                | 24 |
| <b>Şekil 3.2:</b> GX 339-4 kaynağına ait bir PSD' nin güç kanunu ve Lorentzian ile modellenmesi. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 29 |
| <b>Şekil 4.1:</b> 70110-01-08-00 numaralı gözlem için Varyans' ın minimum zaman ölçeğine, $j$ (oktav biriminde), karşı değişimi. Kırmızı gürültü (eğimli) ve beyaz gürültü (düz) bölgeler belirgin olduğu görülmektedir. İki bölgenin kesim noktası minimum değişkenli zaman ölçeği (MTS)' dir.....                                                                                                                                                                | 36 |
| <b>Şekil 4.2:</b> 4U 1608-52 kaynağının 93408-01-25-09 numaralı gözlemi için log-skala diyagramı. Kırmızı gürültünün (eğimli çizgi) ve beyaz gürültünün (düz kısım) kesişimi minimum değişkenli zaman ölçeğini (MTS) verir. ....                                                                                                                                                                                                                                   | 36 |
| <b>Şekil 4.3:</b> GX 339-4 kaynağının 2002-2003 parlamasına ait sayım oranının minimum değişkenlik zaman ölçeğine (MTS) karşı değişimi.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 38 |
| <b>Şekil 4.4:</b> GX 339-4 kaynağının 2010 yılındaki parlamaya PCU2 ait sayımın oranının minimum değişkenlik zaman ölçeğine (MTS) karşı grafiği. Renkler ve semboller şekil 4.3' dekiyle aynı şekilde kullanılmıştır. ....                                                                                                                                                                                                                                         | 38 |
| <b>Şekil 4.5:</b> Aql X-1 ve 4U 1608-52 kaynaklarının parlamalarına ait PCU2 sayım oranına bağlı MTS değerindeki değişimi. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 39 |

|                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.6:</b> GX 339-4 kaynağının 2002-2003 ve 2010 (gri) parlamaları için sertliğin sayım oranı karşısındaki değişimi.....                                                                                                                               | 39 |
| <b>Şekil 4.7:</b> Aql X-1 ve 4U 1608-52 kaynaklarının farklı parlamaları için sertliğinin sayım oranı karşısındaki değişimi.....                                                                                                                              | 40 |
| <b>Şekil 4.8:</b> GX 339-4 kaynağının 2002-2003 parlaması için tayfsal evrelerinin akıya karşı $\sigma$ (rms) değişimi. ....                                                                                                                                  | 41 |
| <b>Şekil 4.9:</b> GX 339-4' ün 2002-2003 ve 2010 parlamaları (sırasıyla üst ve alt paneller) için RMS'e bağlı MTS değerindeki değişim. Burada siyah çizgi (2002-2003 parlaması) ve gri çizgi (2010 parlaması) verilerle en iyi uyumu gösteren fitlerdir. .... | 42 |
| <b>Şekil 4.10:</b> GX 339-4' ün 2002-2003 parlamasının çeşitli tayfsal evreleri için RMS (üst panel) ve MTS' e (alt panel) bağlı sertliğin değişimi. Semboller ve renklerin kullanımı önceki şekillerdekiler ile aynı biçimde kullanılmıştır. ....            | 43 |
| <b>Şekil 4.11:</b> GX 339-4' ün 2010 parlamasının çeşitli tayfsal evreleri için RMS (üst panel) ve MTS' e (alt panel) bağlı sertliğin değişimi. ....                                                                                                          | 43 |
| <b>Şekil 4.12:</b> GX 339-4 kaynağının 2002/2003 (siyah noktalar) ve 2010 (gri noktalar) parlamalarının LHS VE HIMS evreleri için MTS - kırılma frekansı grafiği.....                                                                                         | 45 |
| <b>Şekil 4.13:</b> Kesilim (cutoff) frekansına karşı MTS' in değişimi. Pembe çizgi veri ile en iyi uyumu temsil etmektedir. ....                                                                                                                              | 53 |
| <b>Şekil 4.14:</b> Birkaç histerezis döngüsü için MTS - Sertlik oranı: sert ve yumuşak evreler iyi ayrılmıştır. ....                                                                                                                                          | 53 |
| <b>Şekil 4.15:</b> 4U 1608-52 kaynağının 70058-01-17-01 gözlemi için elde edilmiş PSD' nin BPL ile modellenmesi. ....                                                                                                                                         | 54 |
| <b>Şekil 4.16:</b> GX 339-4 için kTe parametresinin Compton-y parametresine bağlı değişimi. ....                                                                                                                                                              | 60 |
| <b>Şekil 4.17:</b> GX 339-4 için MTS parametresinin Compton-y parametresine bağlı değişimi. ....                                                                                                                                                              | 60 |
| <b>Şekil 4.18:</b> GX 339-4 için tayfsal indisin Compton-y parametresinin bağlı değişimi. ....                                                                                                                                                                | 61 |
| <b>Şekil 4.19:</b> GX 339-4 için kTe' nin MTS' e bağlı değişimi.....                                                                                                                                                                                          | 61 |
| <b>Şekil 4.20:</b> GX 339-4 için Tau-y parametresinin kTe' ye bağlı değişimi. ....                                                                                                                                                                            | 62 |
| <b>Şekil 4.21:</b> GX 339-4 için Tau-y parametresinin MTS' e bağlı değişimi. ....                                                                                                                                                                             | 62 |
| <b>Şekil 4.22:</b> KD (mavi), NY (kırmızı) çiftleri ve GX 339-4 (KD X-ışın çifti) için tayfsal indis karşısında X-ışını ışıma gücünün değişimi. ....                                                                                                          | 63 |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                               | Page No |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Tablo 4.1:</b> GX 339-4' ün 2002-2003 parlamasının tayfsal evreleri için RMS, MTS, kırılma frekansı ve sayım oranı değerleri tablosu. .... | 45      |
| <b>Tablo 4.2:</b> GX 339-4' ün 2010 parlamasının tayfsal evreleri için RMS, MTS, kırılma frekansı ve sayım oranı değerleri tablosu. ....      | 48      |
| <b>Tablo 4.3:</b> 4U 1608-52 kaynağının 2002 ve 2007 parlamasının kesilim frekansı (cutoff) ve MTS değerler tablosu .....                     | 54      |
| <b>Tablo 4.4:</b> Aql X-1' in 1999 ve 2000 parlamaları için kesilim frekansı (Cutoff) ve MTS değerleri tablosu.....                           | 58      |

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

| Simgeler | Açıklama |
|----------|----------|
|----------|----------|

|             |                  |
|-------------|------------------|
| $M_{\odot}$ | : Güneş Kütlesi  |
| $\Gamma$    | : Foton İndeksi  |
| $\tau$      | : Optik Derinlik |
| $\sigma$    | : RMS            |

| Kısaltmalar | Açıklama |
|-------------|----------|
|-------------|----------|

|                     |                                              |
|---------------------|----------------------------------------------|
| <b><i>LMXB</i></b>  | : Low Mass X-Ray Binarie                     |
| <b><i>DKXÇ</i></b>  | : Düşük Kütleli X-ışın Çifti                 |
| <b><i>BKXÇ</i></b>  | : Büyük Kütleli X-ışın Çifti                 |
| <b><i>LHS</i></b>   | : Low Hard State                             |
| <b><i>HIMS</i></b>  | : Hard Intermediate State                    |
| <b><i>SIMS</i></b>  | : Soft Intermediate State                    |
| <b><i>HSS</i></b>   | : High Soft State                            |
| <b><i>HID</i></b>   | : Hardness-Intensity Diagram                 |
| <b><i>RID</i></b>   | : RMS-Intensity Diagram                      |
| <b><i>IVD</i></b>   | : Intensity-Variability Diagram              |
| <b><i>HRD</i></b>   | : Hardness-RMS Diagram                       |
| <b><i>RMS</i></b>   | : Root Mean Square                           |
| <b><i>MTS</i></b>   | : Minimum Timescale                          |
| <b><i>PSD</i></b>   | : Power Spectral Density                     |
| <b><i>LVD</i></b>   | : Luminosity-Variability Diagram             |
| <b><i>RXTE</i></b>  | : Rossi X-Ray Timing Explorer                |
| <b><i>NICER</i></b> | : Neutron star Interior Composition Explorer |
| <b><i>IDL</i></b>   | : Interactive Data Language                  |
| <b><i>XSPEC</i></b> | : X-Ray Spectral Fitting Package             |
| <b><i>QPO</i></b>   | : Quasi-Periodic Oscillation                 |
| <b><i>ASM</i></b>   | : All Sky Monitor                            |
| <b><i>PCA</i></b>   | : Proportional Counter Array                 |
| <b><i>HEXTE</i></b> | : High Energy Timing Experiment              |

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| <b><i>SSC</i></b>           | : Scanning Shadow Cameras   |
| <b><i>CPU</i></b>           | : Proportional Counter Unit |
| <b><i>keV</i></b>           | : Kilo Elektronvolt         |
| <b><i>BPL</i></b>           | : Broken Power Law          |
| <b><i>FWHM</i></b>          | : Full Width Half Maximum   |
| <b><i>kTe</i></b>           | : Elektron Sıcaklığı        |
| <b><i>L<sub>x</sub></i></b> | : X-ışınlarında Işıma Gücü  |



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### DÜŞÜK KÜTLELİ X-IŞIN ÇİFTLERİNİN ZAMAN ANALİZİ İLE TAYFSAL EVRELERİNİN İNCELENMESİ

Ash TUNCER

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Tolga GÜVER

II. Danışman: Prof. Dr. Eda SONBAŞ

Kara delik X-ışın çiftlerinde görülen parlamaların sertlik - ışıma gücü diyagramında çeşitli tayfsal evrelerden geçerek "q-eğrisi" benzeri bir yapı gösterdikleri bilinmektedir. Kara delik barındıran düşükkütleli x-ışın çiftlerindeki tayfsal evre geçişlerine benzer yapı sergileyen ve "histerezis" olarak bilinen tayfsal evre geçişleri nötron yıldızı sistemlerinde de görülmektedir. Bu tez çalışmasında kara delik barındıran düşük kütleli x-ışın çifti GX 339-4' ün 2002/2003-2010 parlaması, nötron yıldızı barındıran düşük kütleli x-ışın çifti olan 4U 1608-52 ve Aql X-1' in sırasıyla 2002-2007 ve 1999-2000 parlamaları incelenmiştir. Kaynakların Rossi X-Ray Timing Explorer uydusu arşiv verileri kullanılarak yapılan analizleri sonucunda minimal zaman ölçekleri (MTS) elde edilmiştir. Her bir parlama için minimal zaman ölçeği - ışıma gücü diyagramları oluşturulmuştur. Bu diyagramlar geleneksel sertlik - ışıma gücü diyagramları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca MTS ile güç tayflarından elde edilen ve değişkenliğin bir ölçüsü olan karelerin ortalamasının karekökü ile arasındaki ilişki incelenmiştir. Minimal zaman ölçeği ile güç tayflarından elde edilen kırılma frekansları arasındaki ilişkiye de ek olarak bakılmıştır. GX 339-4 kaynağının farklı evrelerde zamansal ve tayfsal olarak nasıl davranış gösterdiğinin anlaşılması için kaynağın tayfsal analizlerinden Compton-y parametresi hesaplanmıştır ve diğer parametrelerle arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında ilk kez oluşturulan minimal zaman ölçeği - ışıma gücü diyagramları ile geleneksel sertlik - ışıma gücü diyagramları karşılaştırılmış ve aralarında benzerlik bulunmuştur. 4U 1608-52 ve Aql X-1 kaynaklarının farklı parlamaları için minimal zaman ölçeği ile kesilim frekansı arasında güçlü bir pozitif korelasyon görülmüştür. Kaynakların incelenen her parlaması için histerezis çevrimleri, sertlik - minimal

zaman ölçeği ilişkisinde farklılıklar gözlenirken minimal zaman ölçeği - kesilim frekansı korelasyonunun evrensel olduğu görölmüşdür.

Aralık 2020, 86 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Kara Delik-Nötron Yıldızı düşük kütleli X-ışın çifti, Parlamalar, Tayfsal Evreler



## **SUMMARY**

### **M.Sc. THESIS**

#### **PROBING SPECTRAL STATES OF LOW MASS X- RAY BINARIES THROUGH TIMING ANALYSIS**

**Ash TUNCER**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Science and Engineering**

**Department of Astronomy and Space Sciences**

**Supervisor: Prof. Dr. Tolga GÜVER**

**Co-Supervisor: Prof. Dr. Eda SONBAŞ**

It is known that the outbursts observed from black hole X-ray binaries pass through various spectral states in the hardness-intensity diagram and show a structure similar to the "q-curve". Spectral state transitions known as "hysteresis", which exhibit a structure similar to spectral state transitions in low mass x-ray binaries that contain black holes, are also seen in neutron star systems. In this thesis, the 2002 / 2003-2010 outbursts of the black hole low-mass x-ray binary GX 339-4, and the 2002-2007 and 1999-2000 outbursts of neutron star low-mass X-ray binaries 4U 1608-52 and Aql X-1 were studied. Minimal time scales (MTS) were obtained as a result of the analysis of the sources using the archival Rossi X-Ray Timing Explorer data. Minimal time scale - radiant power diagrams were created for each flare. These diagrams are compared with traditional hardness - radiant power diagrams. In addition, the relationship between MTS and the root mean square of squares, which is a measure of variability, obtained from power spectra was investigated. The relationship between the minimal time scale and the refractive frequencies obtained from the power spectra was also examined. In order to understand how the GX 339-4 behaves temporally and spectrally in different stages, the Compton-y parameter was calculated from the spectral analysis of the source and its relationship with other parameters was investigated. In this thesis, the minimal time scale - intensity diagrams created for the first time and were compared with traditional hardness - intensity diagrams and similarities were found between them. A strong positive correlation was observed between the minimal time scale and the cutoff frequency for different outbursts of 4U 1608-52 and Aql X-1. While differences were observed in the relationship between hysteresis cycles, hardness - minimal time scale for

each outburst of the sources examined, it was observed that the correlation of minimal time scale - cutoff frequency was universal.

December 2020, 86 pages.

**Keywords:** Black hole-neutron star Low Mass X-Ray Binaries, Outbursts, Spectral States



## 1. GİRİŞ

Kütlesi Güneş kütlesinin en az 8–10 katı yıldızlar ömrünün sonunda sergilediği süpernova parlamaları sonrasında yerlerinde iki tür nesneden birini bırakır: nötron yıldızı (NY) veya kara delik (KD). Nötron yıldızları maddenin gözlenebilen en yoğun halde bulunduğu ortamlar olup, hızlı dönmeleri ve yüksek manyetik alanların etkisi ile muazzam olaylar sergilerler. Kara delikler ise maddenin evrende en yoğun halde bulunduğu durumdadırlar. X-ışını çift sistemleri, kütleçekimsel etkiyle birbirlerinin etrafında dönen bir kara delik veya nötron yıldızı ve normal bir yıldızdan oluşan sistemlerdir. Bu sistemdeki cisimler arasındaki ayırıklık, kabaca yoldaş yıldızın çapına göre küçük olduğunda, yoldaş yıldızın yüzeyinden ayrılan madde kompakt cisimin etrafında birikir. Açısal momentum korunumu nedeniyle, yoldaş yıldızdan kompakt nesneye doğru akan madde doğrudan kompakt nesnenin üzerine düşmez, onun etrafındaki yörüngeye girer. Yoldaş yıldızdan akan madde viskozitenin neden olduğu açısal momentumun dışa doğru aktarılması nedeniyle maddenin yavaşça içe doğru kıvrıldığı bir yığılma diski oluşturur ve bu sürecin bir sonucu olarak, yığılan maddenin kütleçekimsel potansiyel enerjisinin önemli bir kısmı, yığılma diskini ısıtmak için kullanılır. Yığılma diskinden yayılan ışıma ile X-ışın çift sistemlerini inceleyebilmekteyiz.

Bileşenleri nötron yıldızı veya kara delik olan düşük kütleli X-ışın çiftlerinin (DKXÇ) zamansal ve tayfsal özelliklerinin temelinde yığılma süreçleri, yani baskın madde akısının (advection dominated flow (ADAF); Narayan ve diğ. (1998), Narayan ve Yi (1995)) olduğu yaygın kabul görmektedir. Ayrıca optik olarak kalın bir yığılma diski içinde viskoziteye bağlı akışın, yığılma oranının kendisini ve yoğun nesnenin doğasını içerdiği de bilinmektedir (Abramowicz ve Fragile, 2013). Bu tür sistemler yığılma mekanizmasının yanı sıra, ısısal ve ısısal olmayan süreçlerin ayrı ayrı veya bir arada işleyerek meydana getirdiği yayınım özelliklerini incelememize olanak sağlar. Bunlara ek olarak, merkezdeki yoğun nesnenin karakteristik özellikleri, NY veya KD içeren olmak üzere iki sınıf arasında görülebilecek olası farklılıkları anlamamıza yardımcı olur.

Düşük kütleli x-ışın çiftlerinin tayfsal analizleri, bu cisimlerin termal ve termal olmayan ışıyım yapan bileşenlerinin varlığına işaret etmektedir. Isısal ve ısısal olmayan ışıyım sırasıyla yumuşak ve sert tayfsal durum olarak da nitelendirilir. Isısal bileşenin optik olarak

kalın geometrik olarak ince yığılma diskiyle (Shakura ve Sunyaev (1973)) ilişkilendirilip tek veya çok renkli karacisim modeli ile modellenir. Isısal olmayan bileşen ise ışıma tayfin yüksek enerji bölgesinde sert x-ışını şeklinde katkıda bulunup güç yasası (Power Law; PL) ( $N(E) = E^{-\Gamma}$ ,  $\Gamma$  ;foton indeksi) ile modellenir (Syunyaev ve diğ., (1991); Tanaka ve Shibazaki (1996); Ibragimov ve diğ. (2005); Gilfanov (2010)). PL benzeri bir davranış sergileyen komptonizasyon süreci; sıcak elektronların daha düşük enerjili fotonlarla enerji aktarımı yaptığı verimli bir soğutma mekanizmasıdır. Bu mekanizmanın etkin olduğu ortamdan çıkan spektrum, ortamı besleyen foton miktarı ve sıcaklığına bağlıdır. Termal olmayan bileşenin tam olarak yayınım yapısı bilinmemektedir ancak gözlenen foton indeksi  $\Gamma$ ,  $kT_e$  elektron sıcaklığına ve  $\tau$  optik derinliğine sahip elektron bulutu ile çekirdek fotonlarının komptonizasyonundan kaynaklanan emisyon ile tutarlıdır (Sunyaev ve Titarchuk, 1980). Bir diğer önemli parametre, bir foton popülasyonunun sonlu bir ortamda seyahat ederken yaşayacağı ortalama enerji değişiminin bir ölçüsü olan **compton-y** parametresidir. Ani parlama boyunca tüm evre (state) ve evre geçişlerinde komptonizasyon sürecini anlayabilmek için COMPPS modeli kullanılmaktadır (Poutanen ve Svensson (1996)).

Bu kaynakların tanımlanması için önemli bir diğer faktör kaynağın tayfsal evreleri ile ilişkilidir. Düşük kütleli x-ışın çiftleri üzerine yapılan çalışmalar özellikle bileşenlerinden biri Karadelik (KD) olan DKXÇ' lerin farklı tayfsal evreler ve bu evreler ile ilişkili geçişler sergilediğini göstermektedir. Bu evreler ve onlarla ilişkili olan geçişler sertlik - şiddet diyagramında (hardness-intensity diagram; HID) tipik olarak bir q-eğrisi yapısı göstermektedir. Bir çok modelin temelini oluşturan bu yapı (Liu ve diğ.(2002), Meyer ve diğ.(2007), Church ve Balucinska-Church (1995), Fender ve diğ.(2004)) DKXÇ' lerde gözlenen tayfsal özellikleri, yığılma diski ve taç bölgesinin etkileşmesini temel alarak açıklayabilmektedir (Remillard ve McClintock (2006), Belloni (2010)). Yapılan çalışmalarda kaynaklara özgü çok sayıda evre ve dönemsel geçişler tartışılmıştır, ancak öne çıkan iki temel evre vardır. Bunlar, düşük/sert (Low Hard State; LHS) ve yüksek/yumuşak (High Soft State; HSS) evre olarak bilinmektedir. Sert/Orta evre (Hard Intermediate State; HIMS) ve yumuşak/orta evre (Soft Intermediate State; SIMS) gibi diğer evreler de tanımlanmıştır (Done ve diğ., (2007), Homan ve Belloni (2005); Dunn ve diğ.,(2010)). HID'deki sertlik oranının yanı sıra kullanışlı olduğu kanıtlanmış bir diğer parametre güç tayfsal yoğunluğunun (Power Spectral Density; PSD) belirli bir frekans aralığında integre

edilmesiyle belirlenen geleneksel değişkenlik ölçüsü olan karelerin ortalamasının karekökü olarak bilinen RMS (Root Mean Square)'dir (Leahy ve diğ.,(1983); Lewin ve diğ.,(1988); van der Klis (1989a); Belloni ve Hasinger (1990); Miyamoto ve diğ.,(1992)).

RMS değişkenlik ölçeği, verilen bir frekans aralığında normalize edilmiş kuvveti temsil eder ve tayfsal güç yoğunluğundan elde edilir (power spectral density;PSD) (Nowak (2000), Pottschmidt ve diğ.,(2003), Vaughan ve diğ.,(2003), Belloni ve diğ.,(2005)). RMS değişkenlik ölçeğinin hesaplanması için kaynağın ışık eğrisinin yeteri kadar uzun sürelerle bölünmüş olması gerekmektedir. Bu nedenle, kaynakların farklı evreleri için Nowak (2000) and Pottschmidt ve diğ.,(2003)' de belirtilen yöntem literatürde sıklıkla takip edilmektedir. Bu yöntemle göre, elde edilen ışık eğrilerinden belirlenen zaman çözünürlüğüne bağlı frekans aralığında tek tek PSD' ler oluşturulmuştur. RMS değişkenliği iki ayrı yöntemle elde edilmiştir. Bunlardan birincisi PSD' lerin PL ve lorentzian bileşenlerle modellenmesi, ikincisi PSD' lerin doğrudan integrasyonudur. RMS değerlerinin PSD' nin doğrudan integrasyonundan elde edilebilmesi için Miyamoto normalizasyonu (Miyamoto ve diğ. (1992)) uygulanmıştır.

Tayfsal evrelerin ve geçişlerin takibini sağlamak için zamansal bir özelliğe dayalı farklı bir parametre olan ve doğrudan ışık eğrilerinden elde edilebilen ve tayfsal geçişleri HID'ye benzer bir şekilde izlemek için kullanılabilecek minimum zaman ölçeği (Minimum Timescale; MTS) DKXÇ' lerin durum geçişlerinin tanımlanması için literatürde ilk defa Sonbas ve diğ.,(2020) tarafından önerilmiştir. Bu parametre, ışık eğrisindeki Poisson gürültü seviyesinin üzerindeki en küçük zamansal özelliği yani gürültü eşiğinde veya hemen üzerindeki en yüksek frekans bileşenini ifade etmektedir. Dalgacık dönüşümü, sinyal işleme için kullanılan en önemli ve en güçlü araçlardan biridir ve durağan olmayan zaman serilerinin çoklu çözünürlük analizleri ve sinyal tanımları için kullanılmaktadır (Flandrin (1989), Flandrin (1992), Mallat (1989)). Sinyal-gürültü eşiğinin farklı evreler için farklı olduğunu varsayarsak, önerilen zaman ölçeği her durum ve ilişkili geçişler için bir zamansal özelliği ifade eder, böylece dinamik gelişimlerini izlemek için kullanılabilecek bir araç sağlar.

Bu tez çalışmasında incelenen kaynaklar için RXTE uydu verileri kullanılarak elde edilen yüksek çözünürlüklü ışık eğrilerinden wavelet tekniği ile elde edilen değişkenlik zaman ölçeği parametresi kullanılarak, yayınım bölgelerinin boyutundaki değişimin (yığılma diski + taç bölgeli) ayrıntılı çalışılmasına olanak sağlayacak olan, ışıma gücü – değişkenlik

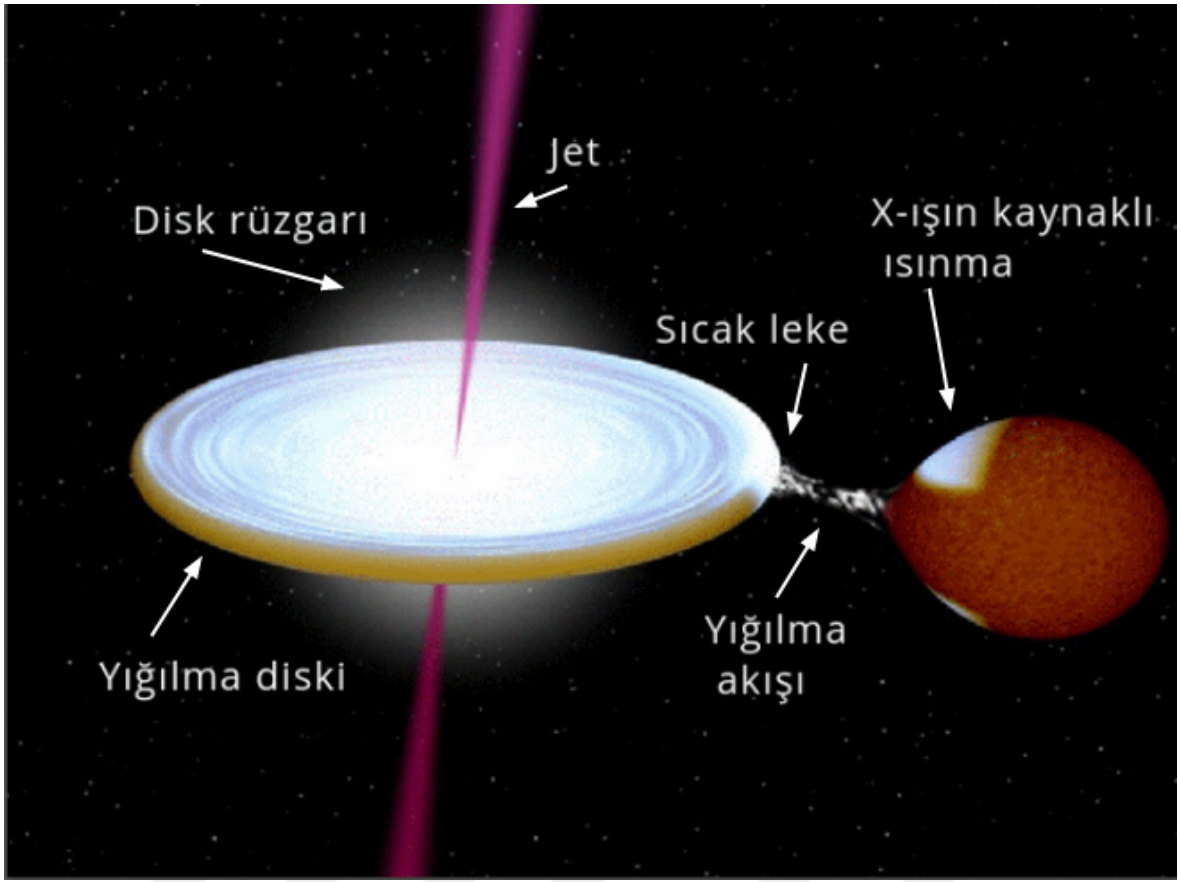
(luminosity-variability; LVD) diyagramları oluşturulmuştur. Dalgacık tekniği ile elde edilen minimum değişkenlik zaman ölçeği parametresi literatürde kullanılan RMS gibi farklı zaman ölçekleri ile karşılaştırılmıştır. Oluşturulan ışıma gücü - değişkenlik (MTS) grafiği ile sertlik-ışıma gücü diyagramı (HID) karşılaştırılıp tartışılmıştır. Düşük/sert – durgun evrede veya bu dönemlere giriş yapan GX 339-4 kara delik X-ışın çiftinin termal (diskbb) ve PL gibi modellerin yanısıra COMPPS modelleri kullanılarak XSPEC’ de (Arnaud, 1996) detaylı tayfsal analizlerinden elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak kaynakların farklı evrelerinde nasıl davranış gösterdiğinin anlaşılması için tayfsal indis ve X-ışın ışıma güçleri, tayfsal indis - compton-y parametresi,  $kT_e$  ve Compton-y parametresi, Compton-y ve MTS, tayfsal indis ve Compton-y,  $kT_e$  ve MTS, tau-y parametresi ve MTS, tau-y parametresi ve  $kT_e$  arasındaki ilişkiye bakılmıştır.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. X-IŞIN ÇİFTLERİ

X-ışın çiftleri, baş yıldızın bir kompakt cisim olduğu ve bir anakol yıldızı olan yoldaş yıldızdan madde aktarımı yapan sistemlerdir. Anakol yıldızları evrimlerinin son aşamalarına doğru başlangıç kütlelerine bağlı olarak gezegenimsi bulutsu olur veya süpernova parlaması geçirip geride bir beyaz cüce, nötron yıldızı ya da bir karadelik bırakırlar. X-ışın çiftleri baş yıldızın (veya birincil yıldız) beyaz cüce, nötron yıldızı veya karadelik gibi kompakt cisimlerin oluşturduğu, ikincil yıldızın ise bir anakol yıldızı olup kompakt cisme madde aktardığı sistemlerdir. Şekil 2.1’de temsili bir x-ışın çifti resmi görülmektedir. X-ışını çiftlerinde gözlemlenen yığılmalar nötron yıldızı ve karadelik gibi kompakt nesnelerin fiziğinin anlaşılabilmesi için ideal ortam sağlarlar. Bu sistemlerin ayrıntılı çalışılması dinamik kütle ölçümleri ile yıldız kütleli karadeliklerin varlığının anlaşılmasının yanı sıra yığılma fiziğini araştırmak için de olanak sağlar. X-ışını çiftleri, yığılmaların fiziksel mekanizmalarını ve kompakt nesnenin doğasını anlamada laboratuvar olarak hizmet ettikleri için son derece önemli nesnelerdir.

Bu kaynaklardan gelen yoğun X-ışınlarının başlıca sebebi yoldaş yıldızdan kompakt yıldızın yüzeyine madde yığılmasıdır. X-ışın çiftleri, X-ışın salınımı yapan özel bir çift sınıfıdır. Kompakt cisim olan birincil yıldız madde akışı Roche lobunu doldurmuş yıldızdan veya kuvvetli yıldız rüzgarları ile yoldaş yıldızdan taşınan madde ile gerçekleşir. Roche lobu, bir yıldızın kendi kütle çekimi altında tutabileceği maksimum maddenin oluşturduğu hacim olarak tanımlanır. Aynı zamanda bunlara eş potansiyel yüzeyler de denir. Yoldaş yıldızdan yığılan madde, kütleçekim potansiyelinin etkisi altında kompakt yıldızın akar. Akın madde gözlemsel olarak X-ışın ışık eğrilerinde parlamalarla ya da yarı periyodik salınımlarla temsil edilir. Bu sistemlerde X-ışın salınımının başlıca sebeplerinden biri çekimsel etki ile birincil yıldızın çevresine yığılmış olan maddenin ısınmasıdır. Diğer sebepler ise yoldaş yıldızdan gelen maddenin birincil yıldızın manyetik alanı ile etkileşmesi ve kompakt cismin yüzeyine düşen maddeden kaynaklanması olarak bilinmektedir. Akın madde içindeki parçacıkların şiddetli çarpışmaları sonucunda yığılma diskinin sıcaklığı yaklaşık  $10^7 - 10^8$

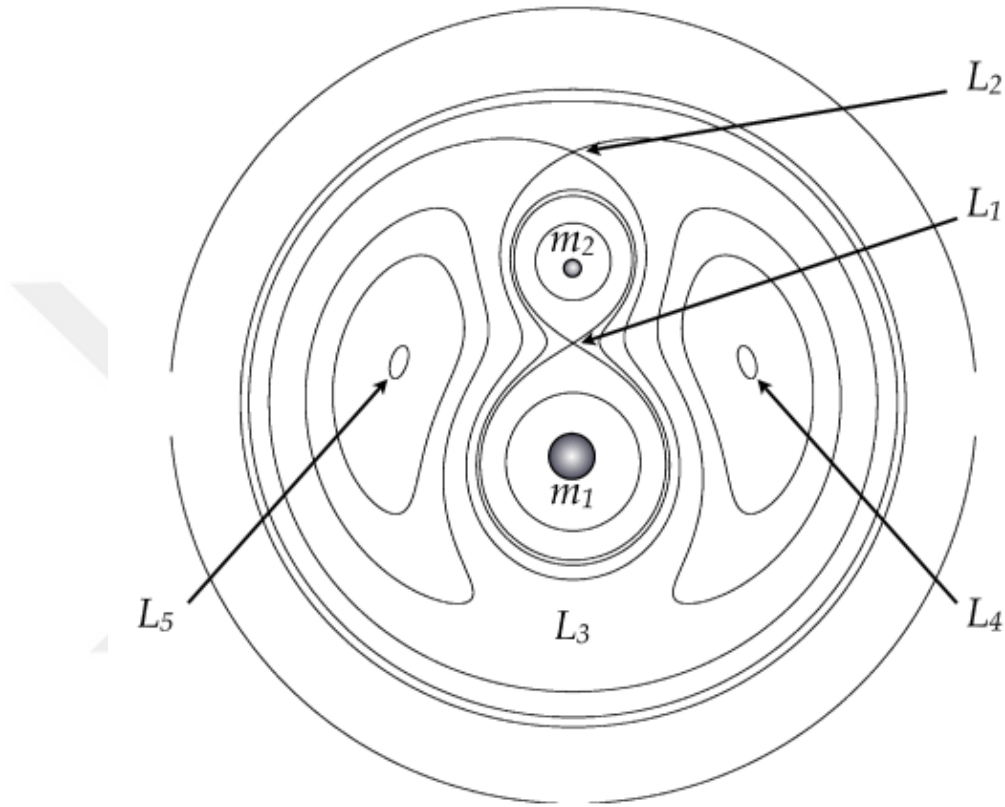


**Şekil 2.1:** Temsili bir x-ışın çifti resmi (<https://www.oulu.fi/astronomy/BachelorTopics/>, 24.08.2020)

K sıcaklığına kadar ısıtılır. Bu süreçte, akan maddenin kütleçekim potansiyel enerjisi kinetik enerjiye ve nihayetinde X-ışınları formunda yayınıma dönüşür. İkili sistemlerin, kütlelerinin normal bir yıldızdan yörüngedeki kompakt nesnesine aktarılabilceği iki temel form olduğu bilinmektedir. Bunlar;

- Büyük kütleli X-ışını çiftleri (BKXÇ); bu sistemlerde kompakt nesneye aktarılan madde erken tip, büyük bir yıldızdan güçlü bir yıldız rüzgarı ile sağlanır. Çok parlak olduğu için optik olarak sadece erken tip bir yıldız gözlemlenir.
- Düşük kütleli X-ışını ikili çiftleri (DKXÇ); BKXÇ'lerle aynı ısınım mekanizmasına sahip değildir çünkü kütle kaybeden yıldız düşük kütleyle sahiptir ve dolayısı ile kuvvetli bir yıldız rüzgarı oluşması beklenmemektedir. Bu nedenle DKXÇ'lerde yoldaş yıldız Roche lobunu doldurmak için evrimleşmiştir ve maddeyi iç Lagrangian noktası olan L1'den kompakt cisme aktarmaktadır. Şekil 2.1'de DKXÇ'lerdeki Roche geometrisi ve Lagrange noktalarının temsili bir şeması sunulmuştur. Bu tür kütle

transferi sadece yoldaş yıldız kompakt cisimden daha az kütleli olduğunda sabittir. Nötron yıldız sistemleri için bu, yoldaş yıldızların Güneş'ten daha az kütleli olması gerektiği ve dolayısıyla DKXÇ'lerin optik olarak zayıf olacağı ve yoldaş yıldızın genellikle tespit edilemediği anlamına gelir.



**Şekil 2.2:** Temsili bir düşük kütleli x-ışın çiftinin sahip olduğu roche geometrisi ve lagrange noktaları.  $m_1$ ; yoldaş yıldızın kütlesi,  $m_2$ ; birincil yıldızın kütlesi ve  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$ ,  $L_5$  sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci Lagrange noktalarıdır. ([https://www.emis.de/journals/LRG/Articles/lrr-2013-4/fig\\_10.html](https://www.emis.de/journals/LRG/Articles/lrr-2013-4/fig_10.html))

### 2.1.1. Büyük Kütleli X-Işın Çiftleri

Birincil yıldızın bir nötron yıldızı veya kara delik olduğu ve yoldaş yıldızın büyük kütleli ( $M > M_{\odot}$ ) erken spektral tip bir O/B yıldızı olduğu X-ışın sistemlerine büyük kütleli X-ışın çiftleri (BKXÇ) denir. BKXÇ'de madde aktarımı düşük kütleli X-ışın çiftlerinde bilinen yığılma diskinden farklı olarak güçlü yıldız rüzgarları ile gerçekleşir. Büyük kütleli x-ışın çift sistemlerinin ömürleri yoldaş yıldızın hızlı evrimleşmesinden dolayı kısa olup daha çok galaksi diskinde yıldız oluşum bölgeleri civarında yoğunlaşmıştır.

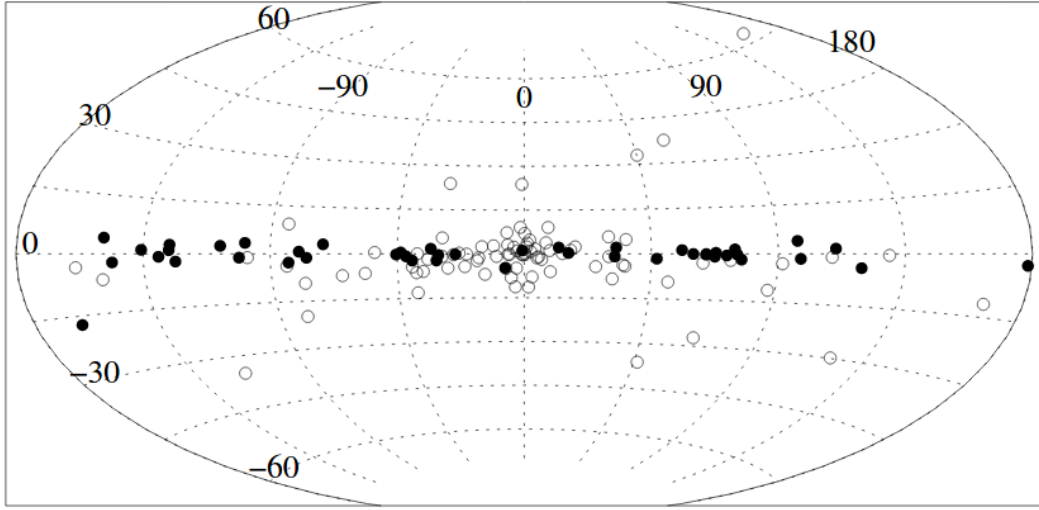
### 2.1.2. Düşük Kütleli X-Işın Çiftleri

DKXÇ' lerin araştırılması Güneş sistemi dışında gökyüzündeki en parlak, sürekli X-ışın kaynağı olan Scorpio X-1' in keşfi ile birlikte 1962'de başlamıştır (Giacconi ve diğ. (1962)). X-ışın çiftlerinin sistematik popülasyon çalışmaları, Uhuru uydusunun toplamda  $\sim 400$  X-ışın kaynağını içeren (büyük ölçüde Galaktik X-ışını çiftlerinin tespit ettiği) tüm gökyüzündeki X-ışın taraması gerçekleştirmesi ile 1970'lerde mümkün hale gelmiştir. Bu çalışma X-ışın çiftleri hakkındaki bilgilerimizin önemli ölçüde artmasını sağlamıştır.

Düşük kütleli X-ışın çiftleri, birincil yıldızın kompakt bir cisim (nötron yıldızı veya kara delik) olduğu ikincil yıldızın ise Güneş kütesinden az bir anakol yıldızı olduğu ortak bir kütle merkezi etrafında dolanan çift sistemlerdir. Bu sistemlerin yaydıkları ışınımın temel kaynağı yoldaş yıldızdan kompakt cisme aktarılan maddenin kütle çekimsel potansiyel enerjisinin X-ışın akısına dönüşmesidir. Yığılan maddenin  $10^7$  K gibi yüksek sıcaklıklara kadar ısıtıldığı bir yığılma diski aracılığıyla X-ışın yayınının gerçekleştiği düşünülmektedir (Shakura ve Sunyaev, 1973). Düşük kütleli X-ışın çiftlerinde küçük kütleyle sahip olan yoldaş yıldız evrimi gereği eşpotansiyel yüzeyini doldurup, Lagrange 1 noktasından kompakt cisme doğru madde aktarır. Kütle aktarımı yapan yıldızın hem kendi etrafında dönmesi hem de kütle merkezi etrafında dolanması sonucu akan madde kompakt cisim etrafında bir yığılma diski oluşturur (Muñoz-Darias ve diğ., 2014).

DKXÇ' ler uzun dönemli davranışlarına göre iki ayrı gruba ayrılabilirler. Bunlardan ilki sürekli kaynaklardır ve her zaman aktif olup X-ışın parlaklıkları tipik olarak  $L_x \sim 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$  in üzerindedir. Diğeri ise geçici kaynaklardır ve sürekli kaynakların aksine yaşamlarının büyük bir kısmını sakın durumunda diğeri bir ifadeyle küçük parlaklık seviyelerinde ( $L_x \sim 10^{30-34} \text{ erg s}^{-1}$ ) geçirirler. Periyodik olmayan, sakın durumlarına geri dönmeleri aylardan on yıllara kadar sürebilen ani parlamalar gösteren geçici kaynakların X-ışını ışıma güçlerinde belirgin artışlar görülmektedir. Yapılan çalışmalarda bu kaynaklarda gözlemlenen tekrarlayan ani parlamalar boyunca benzer bir evrim izlediği ve yığılma bölgelerine bağlı olarak farklı X-ışını durumları gösterdikleri belirlenmiştir. Birkaç istisna dışında KD-DKXÇ' ler ikinci gruba aittir (Remillard ve McClintock (2005)).

Galaksi düzleminde yıldız oluşum bölgelerinde bulunan büyük kütleli x-ışın çiftlerinin



**Şekil 2.3:** DKXC (içi boş daireler) ve BKXC' lerinin (içi dolu daireler) galaksimizdeki dağılımları (Grimm ve diğ., (2002))

aksine düşük kütleli x-ışın çiftleri genellikle Galaksi merkezi yönünde bulunurlar. Bunun için bu sistemlere "Galaktik Bulge Source" da denir. BKXC' leri ve DKXC' lerinin galaksimizdeki dağılımları Şekil 2.3' de gösterilmektedir. Galaksimizin en eski sistemler arasında olan şişkin bölge kaynaklarının üyeleri olan küresel kümelerin DKXC oluşumunu desteklediği bulunmuştur (Katz (1975)). Bu kümelerde kütlesi yaklaşık  $1 M_{\odot}$ 'den daha büyük olan tüm yıldızlar anakolda ve dev kolunda evrimini tamamladıkları yıldız kümeleri Galaksinin kütlesinin  $10^{-4}$  ünü içermesine rağmen küresel kümelerde bilinen DKXC sayısı 13'tür bu da bilinen tüm DKXC' lerin %7'sidir (Liu ve diğ., (2007)). Bu yüzden oldukça yaşlı ( $\geq 10^9$  yıl) sistemler olduğu söylenebilir.

### 2.1.3. Düşük Kütleli X-ışın Çiftlerinin Türleri

#### 2.1.3.1. Nötron Yıldızı DKXC' ler

Kompakt nesnenin bir NY olarak tanımlanması iki ana yöntemle yapılabilir:

- Termonükleer X-ışını patlamaları: patlama sırasında, NY' leri barındıran DKXC' ler, X-ışını parlaklığında çok ani yükselişler ve ardından tekrarlayan yaklaşık saatlik zaman dilimleri ile karakteristik bir soğutma bozulma aşaması sergileyebilir. Bunlara, yüzlerce saniye süren ve NY kabuğunda biriken maddenin tutuşturulmasıyla meydana gelen termonükleer patlamalar denir (Galloway ve diğ., 2008). Parlamanın şekli, yoğunluğu ve süresi birkaç parametreye bağlı olarak değişir. Özellikle, NY yüzeyine kütle yığılma oranı, helyum veya hidrojen füzyonunun kararsız olup olmadığını

belirler, bu da bir patlama meydana getirir (Fujimoto ve diğ., (1981)). Helyum patlamaları, hidrojen tarafından tetiklenenlerden daha hızlı ve daha parlaktır. Son olarak, NY yüzeyinde karbon yandığında, normal parlamaların özelliklerinden daha uzun (3 – 14 saat) ve daha sık tekrarlama sürelerine ( $\sim 1$  yıl) sahip bir süper parlama meydana gelir (Cornelisse ve diğ., 2000).

- X-ışını pulsarları: Güçlü manyetik alanlara sahip NY'leri barındıran DKXÇ' ler, belirli bir iç yarıçapta (tipik olarak Alfvén yarıçapının yarısı) yığılma disklerine sahiptir. Bu yarıçapa ulaşıldığında, malzeme akışı manyetik kutuplara doğru yönlendirilir. Bu, kutupların NY'nin dönme eksenini ile yanlış hizalanması durumunda, X-ışını akı titreşimleri verir.

Şimdiye kadar çoğunluğu NY (nötron yıldızı) bulunduran sistemlerle birlikte toplam 200 DKXÇ bulunmuştur (Liu ve diğ., 2007).

#### **2.1.3.2. Kara Delik DKXÇ' ler**

Yaşamı boyunca dışa doğru radyasyon kuvveti içe doğru kütleçekim kuvveti ile denge halinde olan normal bir yıldızda radyasyonun temel kaynağı merkezindeki nükleer füzyondur. Yıldızın nükleer yakıtı bittiğinde içe doğru olan çekim kuvveti ile radyasyon kuvveti arasındaki dengeden artık söz edilemez ve yıldız kütleçekime karşı bir denge sağlayana kadar çöker. Bu çökme, üç tür tıkHz cisimden birinin varlığı ile sonuçlanır. Bunlar; beyaz cüceler (BC), nötron yıldızları (NY) ve kara deliklerdir (KD). Kara delikler kütleçekimine karşı herhangi bir direnç sağlayamayan tamamen çökmüş yıldızlardır. X-ışın çiftlerindeki tıkHz cisim beyaz cüce, nötron yıldızı veya kara delik olabilir. Bu sistemlerde tıkHz cismin kara delik olduğunu küçük boyutları ve büyük mesafeleri nedeniyle doğrudan gözlemleyerek ortaya koymak mümkün değildir. Bu sebeple dolaylı yöntemlerle bu cismin kara delik olup olmadığı belirlenir.

DKXÇ' lerin gözlemsel özelliklerine bağlı olarak, literatürde kullanılan birkaç sınıflandırma şeması vardır. Bunların içinde NY-DKXÇ' lerinden KD-DKXÇ' lerini birbirinden ayırabileceğimiz bir sınıflandırma olan aynı zamanda bir kara deliği tanımlamamıza yardımcı olan kütle fonksiyonudur. Yoldaş yıldız yeterince parlak olduğunda optik tayfındaki soğurma çizgilerini belirlemek mümkündür ve yoldaş yıldız tıkHz cismin etrafında döndüğünden bu soğurma çizgileri bir Doppler kayması gösterir. Bu Doppler kayması yoldaş

yıldızın radyal hızını verir. Sistemin radyal hızı ve ikili periyodu biliniyorsa, çift sistemin kütle fonksiyonunu aşağıdaki kütle fonksiyonu denklemi ile hesaplanabilir.

$$f(M_1, M_2, i) = \frac{M_2^3 \sin^3 i}{(M_1 + M_2)^2} = \frac{P_{orb} v_1^3}{2\pi G} \quad (2.1)$$

Burada,  $P_{orb}$ ; sistemin yörünge periyodu,  $v_1$ , yoldaş yıldızın radyal hızıdır,  $i$ ; sistemin görüş doğrultusuna göre eğim açısıdır,  $M_2$  tıkız cismin kütlesi ve  $M_1$ ; yoldaş yıldız kütlesidir. Kütle fonksiyonunda  $M_1 = 0$  ve  $i = 0$  değerleri verilerek tıkız cismin kütlesi için bir alt limit elde edilir.

Mevcut teoriye göre yaklaşık  $3 M_{\odot}$  'den daha büyük bir nötron yıldızı stabil olarak var olamaz ve çöker. Bu nedenle  $3 M_{\odot}$  'i aşan kompakt bir nesnenin kütlesinin alt sınırının bir kara delik için güvenilir olduğu düşünülmektedir (Lewin ve diğ., 1997).

## 2.2. YIĞILMA DİSKİNİN YAPISI

### 2.2.1. Standart Disk Modeli

Standart disk modeli ya da  $\alpha$  disk modeli olarak bilinen yığılma diski modeli Shakura ve Sunyaev tarafından 1973 yılında bir yığılma diski modeli olarak önerilmiştir ve bu modelde merkezi nesneden çok daha düşük toplam kütleyle sahip olan ince bir disk tanımlanır. Böylece diskin kütlesi önemsiz sayılabilir. Bu modelde kompakt cisim etrafında geometrik olarak ince optik olarak kalın Kepler açısal hızıyla dönen bir yığılma diski temsili önerilmektedir. Yığılma disklerinde açısal momentumu dışarıya doğru taşıyan ve maddenin bir diskte içe doğru sarılmasını mümkün kılan temel akış mekanizması olarak tanımlanan "viskozite" nedeniyle diskteki madde yavaş yavaş içeriye doğru hareket eder. Diskteki madde bu modelde türbülanslıdır ve türbülanslı viskoz stress tensörü  $\tau_{\alpha p}$ , P disk basıncıyla  $\alpha$ -parametresinin çarpımı olarak aşağıdaki denklem ile gösterilir.

$$\tau_{\alpha p} = \alpha \rho c_s^2 = \alpha P \quad (2.2)$$

Viskozite ise;

$$v = \alpha c_s^2 H \quad (2.3)$$

Burada  $\rho$  diskin yoğunluğu,  $c_s$  ses hızı,  $H$  diskin yükseklik ölçeği,  $\alpha$  açısai momentumun taşındığı yerel hızı belirleyen boyutsuz parametredir. Optik olarak kalın geometrik olarak ince bir diskten gelen ışınlm çok renkli bir karacisim ile ifade edilir (Mitsuda ve diğ., 1984). Diskin her halkası  $T \sim r^{-3/4}$  sıcaklık dağılımı ile karacisim ışınlmı olarak yayınlanır ve diskin sıcaklığı merkezdeki cisme doğru artar. Diskin dışından içeriye doğru incelediğimizde en dışta karacisim fonksiyonu Rayleigh Jeans formunu alır ve akı frekansın ikinci kuvvetiyle artar ( $F_\nu \propto \nu^2$ ). Bu ışınlm diskin dış kısmından gelir. Diskin orta kısımlarından gelen akının frekans ile ilişkisi  $F_\nu \propto \nu^{1/3}$  şeklinde verilmektedir. Diskin iç kısımlarında karacisim fonksiyonu Wien formunu alır ve akının frekans ile ilişkisi  $F_\nu \propto \nu^3$  ile ifade edilir. Bu durumda diskin en sıcak bölgesi en iç kısmına karşılık gelir.

### 2.2.2. Disk Kararsızlığı Modeli

Disk kararsızlık modelinden bahsetmeden önce viskoziteden bahsetmek gerekir. Yığılma disklerinde açısai momentumu dışarıya doğru taşıyan ve maddenin bir diskte içe doğru sarılmasına izin veren temel akış mekanizması ‘viskozite’ olarak adlandırılır. Maddedeki herhangi bir viskozite, kayma hareketine karşı gelir ve bitişik halkayı birlikte dönmeye zorlar. İç halka yavaşlarken dış halka hızlandırılır; dolayısıyla viskozite, açısai momentumun dışa doğru hareketine neden olur. Maddenin içeriye doğru olan hareketiyle kütleçekim enerjisini serbest bırakılır, ancak maddenin bir kısmının açısai momentumu taşımak için dışarıya doğru yayılması gerekir. Bir yığılma diskinin çalışması için viskozite gerekli olsa da viskozitenin tam olarak fiziksel kaynağı belirsizdir.

Disk kararsızlık modeline göre yoldaş yıldızdan kompakt cisme sabit oranda kütle aktarıldıysa ve bu kütle yığılma oranı diskte viskoz etkileşimlerle taşınabilecek olandan daha yüksekse, maddenin diskte biriktiği düşünülmüştür. Ve böylece yığılma, diskin kararsız hale gelmesine, viskoziteyi artırmasına, açısai momentum taşınmasını büyük ölçüde artırmasına ve bunun sonucunda fazla maddenin hem içeriye hem de dışarıya doğru yayılmasına neden olabilir. Merkezi cisim üzerine artan yığılma sonucunda ani bir parlama ile hem sistemin parlaklığını artırır hem de disk maddesini boşaltılır. Sistem, ani parlama sonrasında diskteki maddenin boşalmasıyla düşük viskoziteli sakin durumuna geri döner ve devam eden kütle aktarım akışıyla yavaş yavaş yeniden diski doldurulur. Yığılma disklerindeki kararsızlığın parlamalara sebep olabileceği Osaki (1974) tarafından önerilmiştir.

Uzun yıllar Osaki'nin disk kararsızlığı modeli ile yoldaş yıldızdaki kararsızlığa dayalı alternatif arasında bir tartışma yaşanmıştır. Goeff Baht tarafından geliştirilen bu model, yoldaş yıldızdan gelen kütle transferinin parlama (outburst) formunda dışarı çıkması ile disk içine dolarak sıcaklık ve ışımagücünde artışa neden olması fikrine dayanmaktadır. Görüş iki nedenden ötürü disk kararsızlık modeli lehine olmuştur: birincisi gözlemsel sonuçların disk kararsızlık modelini desteklemesidir ve ikincisi, 1980'lerde kararsızlık için geliştirilen yeni teorik model olmuştur.

Kütle transferi parlama modeli için esas problem parlak noktanın parlaklığının parlama sırasında kabaca sabit kaldığının gözlemlenmesi idi, oysa parlaklığın büyük ölçüde artan kütle akışıyla orantılı olarak artması beklenirdi. Bir diğer problem ise parlama döngüsü boyunca yığılma diskinin yarıçapındaki değişimlerle ilgilidir. Disk kararsızlığı modelinde, artan viskozite diskteki maddeyi hem dışarı hem de içeri doğru yayar ve disk parlama başlangıcında genişler. Sakin evre sırasında ise viskoz akıştan daha fazla madde yoldaştan aktarıldığı için diskin bir sonraki parlama meydana gelene kadar kademeli olarak küçülmesine neden olur. Bunun nedeni, akan maddenin, disk kenarındaki özgül açısall momentumdan daha az olan daireselleşme yarıçapına uygun özel açısall momentuma sahip olmasıdır ve daha düşük açısall momentuma sahip maddenin eklenmesi diskin küçülmesine neden olur. Bu sebepten ötürü kütle transfer parlama modelinde, maddenin daireselleşme yarıçapında yığılması diskin parlama başlangıcında büzülmesine neden olacaktır. Sakin evrede madde viskoz bir şekilde yayılarak diski yavaş yavaş genişletir. Gözlemler, diskin sakin evre sırasında genişlediğini açıkça göstermektedir (Hellier (2001)).

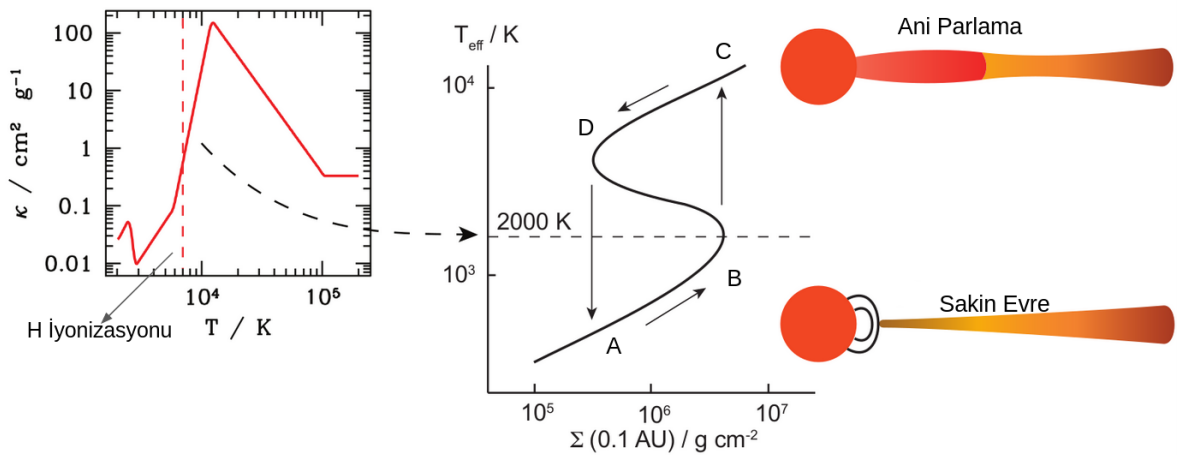
#### **2.2.2.1. Termal Kararsızlık**

Disk sıcak ve soğuk evreler arasındaki çevirimini sağlayan bir mekanizma ani parlamaya neden olabilir. Diğer bir ifadeyle, bu mekanizma nötr atomlardan iyonize plazmaya geçişten kaynaklanmaktadır. Fotonlar elektromanyetik ışıyım paketleridir; yüklü parçacıklarla güçlü bir şekilde ve nötr atomlarla yalnızca zayıf bir şekilde etkileşime girerler. Soğuk, iyonize olmamış madde radyasyona karşı düşük bir opaklığa sahiptir.

Bununla birlikte, hidrojen 7000 K'ye ısıtıldığında, bazı elektronlar atomlarından ayrılır ve gaz kısmen iyonize olarak opaklığı artırır. Gaz daha fazla ısıtıldığında sıcaklıktaki küçük bir artış iyonizasyonda büyük bir artışa neden olur. Genel etki olarak kısmen iyonize olmuş bir hidrojen gazında opaklığın sıcaklığa son derece duyarlı olmasıdır. Meyer ve

Meyer-Hofmeister (1981) öncülüğünde yapılan bir çalışmayla, bunun disklerin kararsız olmasına neden olabileceği anlaşılmıştır. Opaklık ile ilgili bir yaklaşım yapabilmek için yığılma diskinin kararlılığının tartışılması gerekir. Bir diskin bir kısmındaki sıcaklığının artışa bağlı çok az dalgalandığını varsayıldığında bu parçacıklarının rastgele hareketini artıracak ve dolayısıyla viskoziteyi artıracaktır; artan viskozite, maddenin içeri akışını arttırarak bölgenin boşalmasına sebep olur. Yoğunluğun düşmesiyle birlikte viskoz ısınmayı azaltır ve buna bağlı olarak sıcaklık normale döner. Sonrasında bölge yeniden dolar ve böylece çevrim tamamlanır.

Hidrojen kısmen iyonize olduğunda dalgalanmayı düşünürsek; sıcaklıktaki artış, opaklıkta büyük bir artışa neden olur: opaklık, viskoz etkileşimin yarattığı ısıyı hapseder ve böylece sıcaklık daha da artar. Yükselen viskoziteyle, bölge boşalır ve böylece viskoz etkileşimler tarafından üretilen ısı miktarı azalır, ancak bu azalma, disk içindeki enerjinin hapsolmesiyle çok daha ağır basar. Böylece, hidrojen tamamen iyonize olana kadar sıcaklık yükselmeye devam eder. Bu noktada opaklık, sıcaklığa karşı aşırı hassasiyetini kaybeder ve disk, çok daha yüksek bir sıcaklıkta yeni bir denge durumuna geçer. Yüksek viskoziteli sıcak durumda, maddenin diskten içeri doğru akışı, diske kütle aktarım ile gelen madde transfer miktarını aştığı için yeni sıcak durum uzun süre sürdürülemeyeceği için ani parlama meydana gelir ve sistem baştaki sakin evreye geri döner.



**Şekil 2.4:** Yığılma disklerindeki sıcaklık ile yüzey yoğunluğu arasındaki ilişkiyi gösteren ısısal çevrim eğrisi ( $\Sigma$ ; diskin yüzey yoğunluğu,  $T$ ; Sıcaklık) ([https://jila.colorado.edu/~pja/araa/thermal\\_instability.pdf](https://jila.colorado.edu/~pja/araa/thermal_instability.pdf))

Yukarıda anlatılan süreç, diskin yüzey yoğunluğuna karşı yüzey sıcaklığının bir grafiği üzerinde bir döngü olarak düşünülebilir. Bu sistemlerdeki ani parlamalar, “S” biçimli ısısal denge eğrisi olarak bilinen ısısal sınır çevrim kararsızlığı ile açıklanabilmektedir. S biçimli ısısal denge eğrisi Şekil 2.4’ de gösterilmektedir. Sakin evrede sistem, diskin kararlı olduğu A noktasının yakınındadır. Yoldaş yıldızdan kütle transferinin, düşük viskoziteli diskteki akıştan daha büyük olduğunu varsayarsak disk, yüzey yoğunluğunu kademeli olarak artırarak dolacaktır. Daha kütleli hale gelen diskin fazla viskoz ısınması, sıcaklığını yükseltir ve disk, sıcaklık-yoğunluk grafiğinde B’ye doğru hareket eder. İyonizasyonun başladığı B’de yüzey yoğunluğundaki herhangi bir artış sıcaklıkta fazladan bir artışa neden olur. Yüzey yoğunluğu hidrojen tamamen iyonize olana kadar sıcaklık arttıkça kabaca sabit kalır ve bu da sıcaklık-yoğunluk grafiğinde C noktasına karşılık gelir. Yüksek sıcaklıktan dolayı artan parlaklığın, iyonize halin daha yüksek viskozitesinden kaynaklanan çok daha yüksek içeri doğru madde akışı ile sürdürüldüğü yeni bir denge kurulur. Bu viskoz akış yoldaş yıldız tarafından karşılanandan daha büyüktür. Bu nedenle yüzey yoğunluğu ve sıcaklık düşerek D noktasına varılır. Sıcaklık düşer, iyonlar yeniden birleşir, viskozite düşer ve disk soğuk, sakin evreye geri döner.

#### 2.2.2.2. *Manyeto-Dönme Kararsızlığı*

Yüklü parçacıklar içeren madde var olan manyetik alandan etkilenir. Basınç ve kütleçekim gibi kuvvetlere ek olarak manyetik alana maruz kalmış maddede etkisini gösteren diğer kuvvet Lorentz kuvvetidir ve  $J \times B$  ile gösterilir ( $J$ ; akım yoğunluğu,  $B$ ; manyetik alan). Lorentz kuvveti, manyetik alanın çok zayıf olduğu durumlarda bile güçlü olabilir. Özellikle, dönme açısal hızı  $\Omega$ , radyal mesafe  $R$  ile azaldığında hareket kararsızlaşır ve dairesel hareket ile küçük bir yer değiştirmeye maruz kalan madde, yer değiştirmeye orantılı olarak artan bir kararsızlaştırıcı kuvvet yaşar. Bu sürece Manyeto-Dönme Kararsızlığı denir ve aynı zamanda Balbus-Hawley kararsızlığı olarak da bilinir. Balbus-Hawley kararsızlığı, manyetik alan ile disk maddesi arasında güçlü bir etkileşime bağlıdır (Balbus ve Hawley, 1991). Bu kararsızlık, disk çok sayıda serbest elektron içeren sıcak ve iyonize olduğunda meydana gelir. Ancak soğuk bir diskte elektronlar, elektriksel olarak nötr atomlar oluşturmak için çekirdeklerle birleşir ve madde manyetik alana bağlanamaz dolayısıyla Balbus-Hawley kararsızlığı geçersiz olur.

### 2.3. ANİ PARLAMA MEKANİZMASI

Sürekli ve geçici DKXÇ' leri ara sıra X-ışın aktivitesi gösterirler. Belirli dönemler meydana gelen bu yoğunluk artışları ile kaynağın ani parlamada olup olmadığının eşleştirilmesi için daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden ani parlama olarak tanımlanabilmeleri için Tanaka ve Shibazaki (1996) kriterleri kullanılır. Bu kriterler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- X-ışını akısı birkaç gün içinde artış gösterir.
- Akı onlarca günden ile yüz günden fazla zaman ölçeğindeki artıştan sonra ani parlama öncesi seviyesine geri döner. Bu ani parlamalara ait çeşitli ışık eğrileri vardır: Bazıları oldukça monoton bir düşüş gösterirler. Bazı durumlarda, kaynaklar parlama başlangıcında ve parlamadan sonra bir yıl veya daha uzun süre kalıcı olarak gözlenebilir kalır.
- Tekrarlayan geçici durumlarda, bir ani parlamanın süresi "sakin"(ani parlamanın öncesi veya sonrası) döneminden daha kısadır.
- Ani parlamaların sabit bir periyodikliği yoktur.

Ani parlamaların kompakt nesneye kütle yığılma hızındaki ani bir artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir. Parlamaların fiziksel sürecini daha iyi açıklayabilmek için iki model önerilmiştir. Bunlar; Disk Kararsızlığı Modeli (Osaki (1974); Mineshige ve Osaki (1983)) ve Kütle Kararsızlığı Transfer Modelidir (Hameury ve diğ., 1990). Disk Kararsızlık Modelinde, yığılma diskindeki termal kararsızlığın parlamayı tetiklediği öne sürülmüştür. Kütle Kararsızlığı Transfer Modeli ise kompakt cisim üzerindeki yığılma diskinin dış bölgesinden gelen kütle akışı aniden artarak bir parlamaya yol açtığını söyler. Bu modeller bölüm 2.2' de detaylı olarak anlatılmıştır.

### 2.4. X-IŞIN EVRELERİ

DKXÇ' lerde tayfsal evrelerin varlığı ilk olarak Tananbaum ve diğ., (1972)'de Cygnus X-1'in yumuşak X-ışını akısının (2-6 keV) azaldığının, sert X-ışını aksının (10-20 keV) artığının gözlemlenmesi ile ortaya çıkmıştır. O zamandan bu yana benzer X-ışını geçişleri gösteren birçok kaynak keşfedilmiştir.

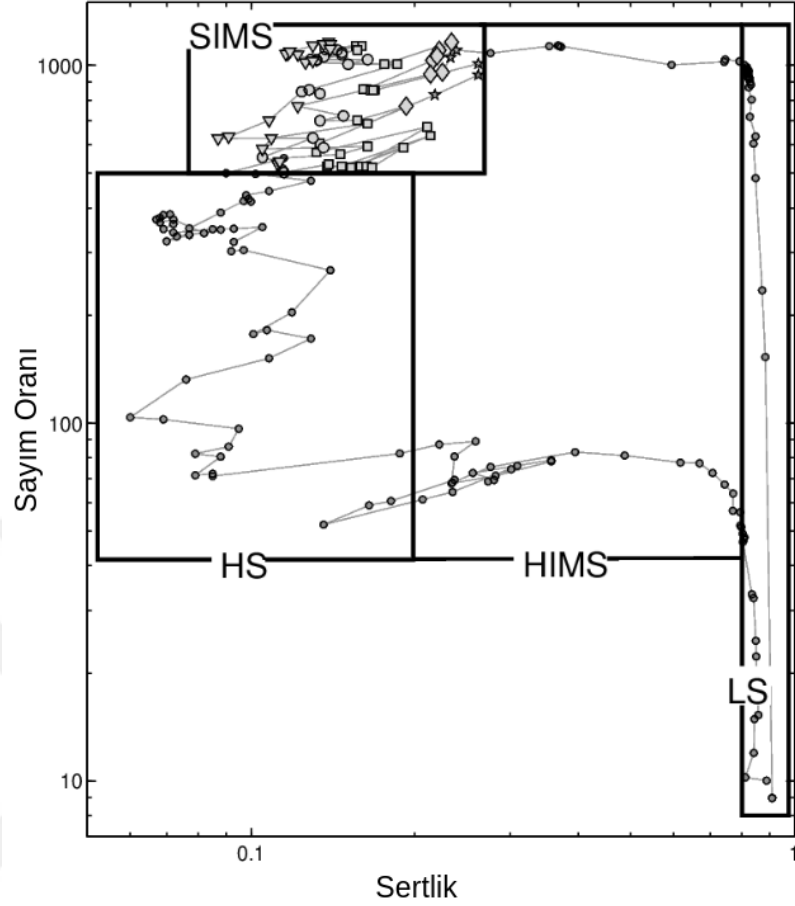
Kara delik X-ışını çiftleri için, kaynağın zamanlamasına ve tayfsal özelliklerine bağlı olarak yumuşak evre ve sert evre olmak üzere iki temel evre vardır (Remillard ve McClintock (2006)). Termal ışıınım süreçlerinin hakim olduğu yığılma diskinin iç kısmıyla ilişkili olduğu düşünülen yumuşak evrede optik olarak kalın ve geometrik olarak ince bir yığılma diski gözlenir (Shakura ve Sunyaev, 1973). Bu bileşen genellikle yaklaşık 1 keV sıcaklıkta termal emisyon olarak tanımlanır ve tek veya farklı sıcaklık içeren karacisim modeli ile temsil edilir (Mitsuta ve diğ. (1984)). Termal olmayan bileşen ise yaklaşık 10 keV üzerindeki enerjilerde tespit edilip tayfin sert veya yumuşak olup olmadığı konusunda bilgi edinilmesine olanak sağlayan ve  $N(E) \propto E^{-\Gamma}$  şeklinde tanımlanabilen ve tayfin yumuşak ( $\Gamma > 2$ ) ya da sert ( $\Gamma < 2$ ) olup olmadığının bir göstergesi olan güç kanunu modeli ile ifade edilmektedir (Lin ve diğ., 2009). Güç kanunu ile ifade edilen termal olmayan bileşenin, merkezden saçılan düşük enerjili fotonların yoğun cismin etrafındaki optik olarak ince, sıcak taç bölgesi (korona) elektronları tarafından ters Compton saçılması ile yüksek enerjilere taşınması şeklinde yorumlanır. Çekirdek fotonların sıcak taç bölgesi elektronları etrafında bulunan yığılma diskinden geldiği düşünüldüğünde daha önce yığılma diski etrafında soğurulan fotonlar yukarı saçılarak bulundukları yerdeki sıcaklığın artışına dolayısıyla çekirdek foton sayısının artışına neden olduğu bilinmektedir. Çekirdek fotonlarının yığılma diskinden kaynaklandığına inanılan bir sıcak elektron plazmasındaki düşük enerjili çekirdek fotonlarının termal Komptonizasyonu tarafından modellenebilir.

Yukarıda anlatılan süreçler nötron yıldızı X-ışın çiftleri için de geçerlidir ancak yüzeye veya sınır katmana sahip olan NY için ek bir bileşen daha olması gerekir (Syunyaev ve Shakura (1986); Inogamov ve Sunyaev (1999)). Bu sınır tabakası, diskteki hızla dönen gaz yavaş yavaş/dönmeyen biriktirme NY'ye ulaştığında oluşur. Bu işlem sırasında, kütleçekim potansiyel enerjisinin bir kısmı diskteki gaz tarafından yayılır ve enerjinin geri kalanı sınır tabakasında salınır. Bu enerji NY yakınındaki küçük bir bölgeden geldiğinden, sınır tabakası diskten daha sıcaktır ve bu da daha sert radyasyona neden olur.

Sertlik-şiddet (HID) ve sertlik-rms (HRD) diyagramları geçişlerin genel davranışını karakterize etmeye yardımcı olan iki önemli araçtır (Belloni, 2010). Dört tayfsal evre Şekil 2.5'de grafiksel bir şekilde gösterilmiştir. Bu temel evreler geçişlerde düzenli olarak gözlenir. Sert evredeki artan akı ile başlar, HIMS ve SIMS ara evrelerini geçer ve yumuşak evreye ulaşır. Yumuşak durumda biraz zaman geçirdikten sonra akı azalmaya başlar. Bir noktada ters bir geçiş gerçekleşir. Parlamamanın ilk evresine, sert evreye ve sonrasında sakin

durumuna döner. HID diyagramı üzerinde zamansal olarak bu geçiş saat yönünün tersini takip ederek bir "q" eğrisi olarak karşımıza çıkar. Ani parlama bozunmalarının çoğunluğu bu standart evrimi takip ederken, bir dizi parlama bozunmasının yumuşak evreye ulaşmadan sakin duruma geri döndüğü görölmüştür. Bu ani parlamalara “başarısız” parlama denir. HID’deki bir döngünün süresi RXTE/PCA’nın tespit sınırları dahilinde yaklaşık aylar ila yıllar arasındadır ve kaynaktan kaynağa ve ayrıca ani parlamadan ani parlamaya kadar değişir. Ani parlamaların HID diyagramı üzerinde ayrı ayrı bakmak gerekirse:





**Şekil 2.5:** GX 339-4 kaynağının 2002/2003 parlamasının evrelerinin ayrı ayrı belirtilmiş HID diyagramı(T. Belloni ve diğ., 2005)

**Sert Evre (LHS):** Bu evre ani parlamanın erken ve geç safhaları ile ilişkilendirilir ve HID'in en sağındaki dikey bölüme karşılık gelir. Bu erken evre parlamanın başlangıcı olarak tarif edilir ve "yükselme (rise)" olarak da kullanılır. Parlamaların geç safhaları ise parlamanın sonunda kaynak tekrar düşük/sert evreye geri dönmesinden dolayı bu evre de "bozunma (decay)" olarak bilinmektedir. 2-20 keV aralığındaki enerji spektrumunda foton indeksi 1.6-1.7 olan güç kanunu modeli ile karakterize edilir. Sert evrede disk sıcaklığının dikkate değer bir katkısı olmadığından x-ışını tayfında termal disk bileşeni bulunmaz. Enerji spektrumu serttir ve hızlı zaman değişkenliğinde rms yaklaşık %30 dur. Bu evrede bazen düşük frekanslı yarı periyodik salınımlar da (QPO) gözlemlenebilir.

**Sert-Ara Evre(HIMS):** Parlama başladıktan sonra kaynak LHS' den ayrılmasıyla HID'de en üstte yatay yol boyunca hareket eder. Spektrumun LHS evresinden daha

yumuşak olmasının iki sebebi vardır. Birincisi 2.4-2.5 değerlerine yükselen foton indeksi, ikincisi ise termal disk bileşeninin bu evrede kendini göstermesidir. Toplam fraksiyonel rms spektrumdaki yumuşama ile birlikte %20 - %10 değerlerine düşer ve sertlikle birlikte gelişen bir C tipi QPO gösterir.

**Yumuşak-Ara Evre(SIMS):** Burada enerji spektrumu sert-ara evreye göre daha yumuşaktır ve değişkenliğin fraksiyonel rms genliği % birkaç kadar düşük değerlerdedir. A tipi veya B tipi bir QPO genellikle mevcuttur.

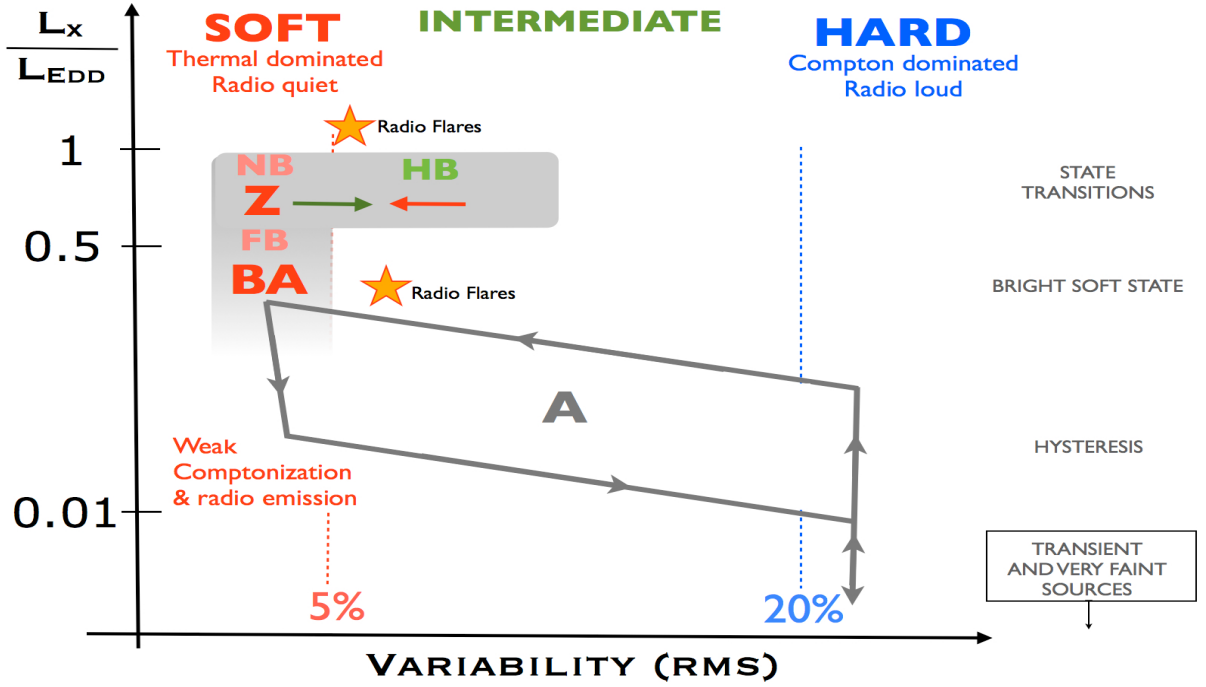
**Yumuşak Evre(HSS):** Enerji spektrumuna termal disk bileşeninin hakim olduğu ve sert bir bileşenin çok az katkısının bulunduğu bu evre oldukça yumuşaktır. Değişkenlik zayıf olup, fraksiyonel rms genliği  $\sim$  %1 civarındadır. 10-30 Hz frekans aralığında zayıf QPO'lara rastlanır.

**Sakin Evre(QS):** Düşük parlaklıkta sert durumun bir uzantısı olduğu düşünülür. Kaynaklar bu evrede uzun süre kalabilirler. Sakin evre çok düşük ışımagücüyle karakterize edilir ( $L_x \sim 10^{30.5-33.5} \text{ erg s}^{-1}$ ). Enerji tayfi genellikle bir güç kanunu modeli ile modellenir (Belloni, 2010).

#### 2.4.1. Nötron Yıldızı DKXÇ' lerde X-Işın Evreleri

NY-DKXÇ' ler KD-DKXÇ' lerdekine benzer olan x-ışını evreleri gösterirler. NY-DKXÇ' ler bulundurdıkları yüzey ve manyetik alan sebebiyle kara delik sistemlerine nazaran daha karmaşık x-ışını davranışı sergilerler. Yukarıda kara delikler için anlatılan HID diyagramı üzerindeki sistemlerin başlangıçta sert durumdan yumuşak duruma evrimleşip sonra tekrar sert duruma geri döndüğü davranışa ilk kez Miyamoto ve Diğ., (1995) çalışmasında "histerezis (hysteresis)" adı vermişlerdir. Nötron yıldızı DKXÇ kaynakları sürekli sistemlerin büyük bir çoğunluğunu oluşturur ancak bu sürekli kaynaklar elde edilen gözlemlere bağlı olarak geçici kaynaklarda olabilmektedir. Hem sürekli hem de geçici kaynakların önemli bir bölümünde histerezi gözlemlenmiştir.

Yüksek yığılma oranına sahip yani parlaklıkları fazla olan NY-DKXÇ sistemleri sertlik-şiddet ve renk-renk diyagramlarında yatay kol (HB) , normal kol (NB) ve parlama kolu (FB) bileşenlerinin bir arada "Z" şeklini oluşturmasıyla "Z" kaynakları adı verilmiştir. Daha düşük yığılma oranlarına sahip, parlaklıkları Z kaynaklarına göre daha az olan NY-DKXÇ sistemleri daha farklı x-ışın davranışları sergiler ve bu kaynaklara "Atol"



Şekil 2.6: Atoll (A), parlak atol (BA) ve Z kaynakların rms-şiddet diyagramındaki konum ve davranışları (T. Muñoz-Darias ve Diğ., 2014).

kaynaklar adı verilmiştir. Bu kaynaklar KD-DKXÇ' lerdeki tayfsal evrelere benzer olarak sert, orta ve yumuşak olmak üzere üç ana x-ışını evresini gösterirler (van der Klis, 2006). Yığılma oranı ve parlaklığı Z ve atol kaynaklar arasında olan bir diğer kaynak popülasyonu parlak atollerdir (BA) ve yumuşak evrelerde neredeyse sürekli olarak kalırlar. Genel olarak, histerez, kaynakların sürekli veya geçici kaynaklar olup olmadıklarına bakılmaksızın, düşük yığılma oranlarında atol benzeri davranış sergilediğinde meydana gelmektedir. Şekil 2.6' da rms-şiddet diyagramında (RID; rms-intensity diagram) yukarıda bahsedilen Z, parlak atol ve histerize gösteren atol kaynaklar şematik olarak gösterilmiştir.

T. Muñoz-Darias ve diğ. (2014) çalışmasında kara delik ve nötron yıldızı bulunan ikili sistemlerdeki histerizleri karşılaştırıldığında aşağıdaki özellikler dikkat çekmektedir;

- NY'lerdeki histerezin KD'lerdeki ile aynı modeli izlediğini göstermektedir. Döngüler her zaman saat yönünün tersine çalışır, sertten yumuşak evreye geçişler en parlak olanıdır.
- Her iki kaynak türünde de bir kaynağın farklı döngülerinde yumuşak-orta evrede parlaklıkları değişir, ancak yumuşaktan sert geçişler her zaman daha sönüktür ve daha

benzer parlaklıklara sahip olduğu gör÷lmüştür.

- Histerezis döngü süreleri KD'ler ve NY'ler arasında, kabaca bir ay - bir yıl aralığında tutarlıdır.



### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. RXTE (ROSSI X-RAY TIMING EXPLORER)

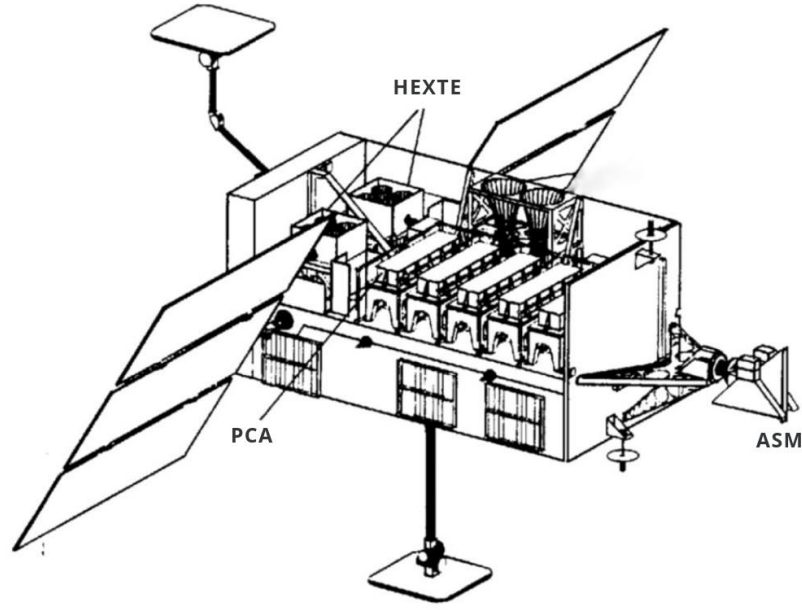
Rossi X-ışını Zamanlama Kaşifi (RXTE; Rossi X-ray Timing Explorer), NASA'ya ait Kennedy Uzay İstasyonundan 30 Aralık 1995' te fırlatılmıştır. Delta II roketiyle 580 km yükseklikte alçak dünya yörüngesine yerleştirilmiştir. Yörünge  $23^\circ$ 'lik bir eğim açısına ve yaklaşık 90 dakikalık bir periyoda sahiptir. X-ışını araştırmalarında 16 yıllık önemli bir katkıdan sonra 5 Ocak 2012' de hizmet dışı bırakılmıştır. RXTE uydusunun en önemli avantajları; seri hareket kabiliyeti ile geçici kaynaklara hızlı bir yönelebilmesi, milisaniyenin altında zamanlama yeteneği ve geniş enerji aralığı ile çok dalgaboylu gözlemler yapabilmesiydi.

Uydu üç farklı bilimsel aracın bir araya gelmesinden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Bunlar; tüm gökyüzü tarması yapabilen monitör (All Sky Monitor, ASM), orantılı sayaç (Proportional Counter Array, PCA) ve yüksek enerjili x-ışını zamanlama aracı (High Energy X-Ray Timing Experiment, HEXTE). Toplamda 2-250 keV geniş bir enerji aralığına sahip olan uydu düşük enerji bölgesini (2-60 keV) PCA ile gözlemlerken, yüksek enerji bölgesi ise (15-250 keV) HEXTE ile gözlemlemektedir. PCA ve HEXTE dedektörleri, ortak  $1^\circ$ 'lik etkin foton toplama alanlarıyla (FoV) aynı doğrultuya bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu özellikleri RXTE' yi farklı enerji aralıklarındaki fotonları algılayabildiğinden dolayı KD ve NY sistemlerini araştırmak için ideal bir araç haline getirmektedir.

Uyduda bulunan bir başka monitör, ASM (Levine ve diğ., 1996), her birinde konuma duyarlı orantılı sayaç bulunan üç adet tarama kamerası (Scanning Shadow Cameras, SSC) içerir ve 90 dakikada gökyüzünün %80' ini tarar.

PCA (Jahoda ve diğ., 1996), birbiriyle özdeş beş tane çok anotlu Xenon orantılı sayaç birimlerinden (CPU) oluşur. Zaman çözünürlüğü  $1 \mu s$  olup, 6 keV' de %16 enerji çözünürlüğüne sahiptir. Toplam etkin foton toplama alanı yaklaşık  $6500 \text{ cm}^2$  dir.

HEXTE (Rothschild ve diğ., 1998), iki ayrı kümede (küme A ve küme B) her biri dörtlü



**Şekil 3.1:** RXTE uydusunun üç ana bilimsel aracıyla birlikte şematik görünümü. ([https://cass.ucsd.edu/hexte/hexte/tour/rxte\\_spacecraft.html](https://cass.ucsd.edu/hexte/hexte/tour/rxte_spacecraft.html))

olmak üzere toplamda sekiz sintilasyon sayacı içerir. Bu dedektör 60 keV’ de %16 enerji çözünürlüğüne ve 8  $\mu$ s zaman çözünürlüğüne sahiptir. Etkin foton toplama alanı ise 1600  $cm^2$ ’ dir.

### 3.2. ZAMAN ANALİZİ

X-ışın çiftlerindeki değişkenliği anlamamızda en önemli yöntemlerden biri zamanlama analizleridir. Bu değişkenliğin daha iyi anlaşılıp yorumlanabilmesi için bu tezde Fourier ve dalgacık (*wavelet*) tekniği yardımıyla sırasıyla rms değişkenliği ve minimum zaman değişkenliği hesaplanmıştır. Bu iki parametrenin hesaplanmasındaki temel zaman analizi teknikleri olan Fourier ve dalgacık analizinin matematiksel arkaplanı bu kısımda özetlenecektir. Fourier analizi için daha detaylı bilgiler van der Klis (1989b), dalgacık analizi için ise detaylı bilgi Addison (2002)’de mevcuttur.

#### 3.2.1. RMS Değişkenliği

RMS değişkenlik ölçeği, verilen bir frekans aralığında normalize edilmiş kuvveti temsil eder ve tayfsal güç yoğunluğundan elde edilir (power spectral density (PSD)) (Nowak

(2000); Pottschmidt ve diğ., (2003); Vaughan ve diğ., (2003); Belloni ve diğ., (2005)). RMS değişkenlik ölçeğinin hesaplanması için kaynağın ışık eğrisinin yeteri kadar uzun sürelerle bölünmüş olması gerekmektedir. Bu nedenle, çalışılan kaynaklarda görülen farklı evreler için Nowak (2000) ve Pottschmidt ve diğ., (2003)' de belirtilen yöntem takip edilerek ışık eğrilerinden PSD' ler tek tek oluşturulmuştur. Işık eğrileri oluştururken seçilen zaman çözünürlüğü RMS değeri elde edilecek olan frekans aralığına göre seçilmiştir. Bu nedenle ortalama zaman çözünürlüğü elde edilmek istendiğinde binlenmiş RXTE verileri ve çok küçük zaman çözünürlükleri için de “single bit” RXTE verileri kullanılmıştır. RMS değerlerinin PSD' nin doğrudan integrasyonundan elde edilebilmesi için Miyamoto normalizasyonu (Miyamoto ve diğ., (1992)) uygulanmıştır (bkz. kısım 3.2.4). Normalizasyon değeri yüksek enerji bantlarından elde edilen ardalara seviyesine bağlı olarak değiştirilmiştir. Aynı zamanda Zhang ve diğ., (1995) ve Pottschmidt ve diğ., (2003) çalışmalarında belirtildiği gibi dead-time düzeltmeleri de yapılmıştır. Sonuçta toplam RMS değerleri hem PSD' nin 0.1 – 64 Hz aralığında integrasyonu hem de idl programı kullanarak kuvvet yasası ve Lorentz modelleri ile hesaplanmıştır.

### 3.2.2. Fourier Analizi

X-ışın yoğunluğundaki değişkenlikler genellikle  $\Delta t$  zaman uzunluğuna sahip,  $N$  sayıda eşit olarak bölünmüş zaman aralıklarından oluşan bir zaman serisi olarak ifade edilir. Her bir zaman bölmesine karşılık gelen sayım oranı  $a_k (k = 0, \dots, N - 1)$  ile ifade edilirken,  $k$  bölünmüş zaman sayısını gösterir. Bu şekilde tanımlanmış bir ışık eğrisinin frekans tabanlı Fourier dönüşümünü ( $a_j$ ) yazarsak;

$$a_j = \sum_{k=0}^{N-1} a_k e^{ijk2\pi/N} \quad j = \left(\frac{-N}{2}, \dots, \frac{N}{2} - 1\right) \quad (3.1)$$

Burada  $i = \sqrt{-1}$  kompleks sayının sanal bileşenidir. Her bir adım frekansı  $\delta f = \frac{1}{T}$  olduğu için Fourier frekansı;

$$f_j = \frac{j}{T} = \frac{j}{N\Delta t} \quad j \in \left[\frac{-N}{2}, \frac{+N}{2}\right] \quad (3.2)$$

Burada  $T$  ışık eğrisinin toplam gözlem süresini temsil eder,  $T = N\Delta t$  olarak da ifade edilebilir. Bir ışık eğrisinden elde edebileceğimiz minimum frekans ya da maksimum çözünürlüğü  $f_{min} = \frac{1}{T}$  ( $j_{min} = 1$ ) dir. Erişilebilir maksimum frekans ise bölünmüş  $\Delta t$  zaman uzunluğu ile belirlenir;  $f_{Nyq} = \frac{1}{2\Delta t}$  ( $j_{maks} = \frac{N}{2}$ ). Bu frekansa Nyquist Frekansı denir.

X-ışın kaynaklarında kaynağa ait sinyallerle birlikte gürültü bileşenlerinin de (Poisson gürültüsü) varlığı söz konusudur. Kaynağın kendisine ait sayım oranı  $S_k$  ile gürültü bileşeni olan  $N_k$ 'nin toplamı, toplam sayım oranını  $X_k$  verir ve Fourier dönüşümü ile şu şekilde tekrar ele alınır.

$$X_j = S_j + N_j \quad (3.3)$$

Burada,  $S_j$  ve  $N_j$ ,  $f_j$  frekansındaki  $S_k$  ile  $N_k$  'nın Fourier dönüşümünün sonucudur.

### 3.2.3. Güç Yoğunluğu Tayfı (Power Density Spectrum, PSD)

Güç spektrumunun ( $P_j$ ), zaman serileri ( $a_k$ ) bu sinyale sebep olan frekans bileşenlerinin dağılımını tanımlar. PSD için Parseval'ın teoremine bakarsak;

$$\sum_{k=0}^{N-1} |X_k|^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} |a_j|^2 \quad (3.4)$$

Bu, Fourier genliklerinin toplanmış kare modülü ile verilerin toplam varyansı arasında bir ilişki olduğu anlamına gelir;

$$Var(X_k) \equiv \sum_k (X_k - \bar{X})^2 = \sum_k X_k^2 - \frac{1}{N} (\sum_k X_k)^2 = \frac{1}{N} \sum_j |a_j|^2 - \frac{1}{N} a_o^2 \quad (3.5)$$

Buradan;

$$Var(X_k) = \frac{1}{N} \sum_{j=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} |a_j|^2 \quad (3.6)$$

PSD, fourier dönüşümü ve onun karmaşık eşleniğinin çarpılmasıyla elde edilir. Diğer bir ifadeyle PSD, karmaşık Fourier dönüşümünün kare büyüklüğündedir.

$$P_j = X_j * X_j = |X_j|^2 \quad (3.7)$$

PSD,  $f_j$  frekansı ile karakterize edilen değişkenliklerden kaynaklanan ışık eğrisinin varyansının karşılığı olarak ifade edilir.

### 3.2.4. Normalizasyon

Güç tayfını normalize etmenin bir kaç yöntemi vardır. Normalize edilmiş güç tayfı "A" normalizasyon katsayısıyla çarpımından bulunur

$$\langle P_{norm} \rangle = A \langle P \rangle. \quad (3.8)$$

A normalizasyon katsayısı için önerilen en yaygın normalizasyon çeşitleri şu şekildedir;

$$A = \begin{cases} 0, & \text{Normalizasyon yok} \\ \frac{2}{TR}, & \text{Leahy Normalizasyonu} \\ \frac{2}{TRR_{sin}}, & \text{Miyamoto ve Kitamoto Normalizasyonu.} \end{cases} \quad (3.9)$$

Burada  $T$  gözlem süresi,  $R$  toplam zamandaki ortalama sayım oranı ve  $R_{sin}$  ise sinyal sayım oranıdır.  $R_{sin}$ , ortalama sayım oranı olan  $R$ 'den ışık eğrisinin arkaplan gürültüsü olan

$R_{bkg}$ 'nin çıkarılmasıyla bulunur

$$R_{sin} = R - R_{bkg}. \quad (3.10)$$

Bu normalizasyonların genel özelliklerinden kısaca bahsedecek olursak; Leahy normalizasyonunda PSD, ışık eğrisi varyansını veya frekans aralığı başına karekök ortalama kare değişkenliğini verir ( $rms^2$ ) ve Poisson sayma gürültü seviyesi ortalama 2 dir. Miyamoto normalizasyonunda PSD birimi  $(rms/R_{sin})^2/Hz$  dir.

### 3.2.5. Fourier Temelli Zaman Analizi

Bir sinyalin zaman analizi yapabilmek için istenen enerji bandında ve istenen zaman çözünürlüğünde bir ışık eğrisi elde etmek gerekir. Işık eğrisinin zaman çözünürlüğü ve enerji aralığı seçimi analizin amacına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Daha sonra Fourier dönüşümü ile normalize edilmiş güç tayfları hesaplanır. İlk çalışmalarda PSD'ler, yeterli sayıda kırık güç kanunu ve dar Lorentziyanların bir kombinasyonu ile modellenmiştir (Nowak ve diğ., (1999); Tomsick ve Kaaret (2000)). Son çalışmalar, kara delik x-ışın çiftleri ve nötron yıldızı x-ışın çiftlerinin PSD'lerinin yalnızca güç kanunu, geniş ve dar Lorentzianlar kullanılarak başarılı bir şekilde modellenebileceğini göstermektedir (van Straaten ve diğ., (2002); Belloni ve diğ., (2002); Pottschmidt ve diğ., (2003)). Bu tezde rms değişkenliği ölçeği iki ayrı yöntemle hesaplanmıştır. Bunlardan ilki Miyamoto normalizasyonu uygulanmış PSD'lerin doğrudan integrasyonudur. Diğerisi ise Leahy normalizasyonu yapılmış PSD'lerin güç kanunu ve Lorentzian bileşenlerle modellenmesi yöntemidir.

Lorentzian modellerin formu şu şekildedir;

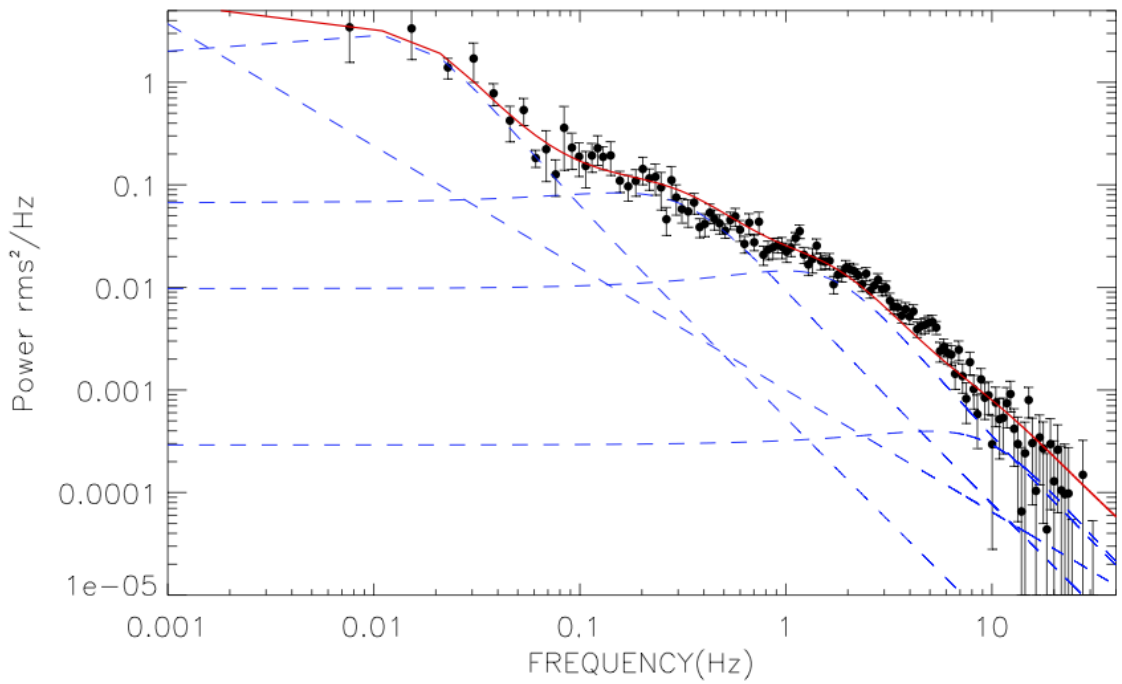
$$L_i(f) = \pi^{-1} \frac{2R_i^2 Q_i f_i}{f_i^2 + 4Q_i^2 (f - f_i)^2}. \quad (3.11)$$

Buradaki alt simge olan  $i$  modeldeki her Lorentzian bileşenini belirtir.  $f_i$ ; rezonans frekansı,  $R$ ; rms genliği,  $Q$ ; kalite fonksiyonu ( $\approx f_i/\Delta f_{i,FWHM}$ ,  $\Delta f_{i,FWHM}$  Lorentzian bileşeninin yarı yükseklikteki tam genişliğidir (full width half maximum, FWHM)).

Lorentzian modelindeki parametrelerden yola çıkılarak her bir PSD için rms değerleri şuna göre hesaplanır (Pottschmidt ve diğ., 2003);

$$\text{rms}_i = R_i \sqrt{\left( \frac{1}{2} - \frac{\tan^{-1}(-2Q_i)}{\pi} \right)}. \quad (3.12)$$

Şekil 3.2' de lorentzler ile modellenmiş PSD'lerin bir örneği görülebilir.



Şekil 3.2: GX 339-4 kaynağına ait bir PSD' nin güç kanunu ve Lorentzian ile modellenmesi.

### 3.2.6. Minimum Değişkenlik Zaman Ölçeği; MTS

Bir sistemde birden fazla süreç (örneğin termal ve termal olmayan) mevcut olduğunda bir süreç belirli zaman ölçeklerinde diğerlerinden baskın durumda iken aynı süreçler farklı zaman ölçeklerinde de baskınlık gösterebilirler. Bu durumda Wavelet dönüşümü sinyal işleme için en önemli ve güçlü araçlardan biridir ve durağan olmayan zaman serilerinin çoklu çözünürlük analizleri ve sinyal tanımları için kullanılır (Flandrin (1989); Flandrin (1992); Mallat (1989)). Wavelet analizleri birçok açıdan Fourier analizlerine benzerdir. Fakat Fourier temel fonksiyonları daha genel iken Wavelet fonksiyonları daha net belirlenmektedir. MTS, logaritmik-ölçek diyagramında beyaz gürültü bileşeni ile kırmızı gürültü bileşeninin kesişimi

olarak tanımlanır ve buradan iki gürültü bileşenini temsil eden frekanslar arasında ayırım yapılmasına mümkün kılan bir zaman ölçeği çıkarılmaktadır. Tüm bu süreç dalgacık tekniği kullanılarak hesaplanmaktadır. Buradaki logaritmik-ölçek diyagramı, varyansın logaritmik ölçüsünün ışık eğrisini karakterize eden oktav cinsinden hesaplanan frekansa ( $j$ ) karşı çizimidir. Sonuç olarak MTS'in belirlenmesi, teorik modellerin geliştirilmesine ve gözlemsel verilerin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır (MacLachlan ve diğ., (2013); Sonbas ve diğ., (2020)).

### 3.2.7. Dalgacık (*Wavelet*) Analizi

Temeli Fourier denklemlerine dayanan dalgacık tekniği zaman analizi için kullanışlı bir araçtır (Weng ve Lau (1994); Lau ve Weng (1995)). Dalgacık analizi de Fourier analizi gibisinyallerin frekans eksenini analizini sağlamaktadır. Buradaki önemli nokta dalgacık dönüşümü bize sinyalin hangi zamanda hangi frekans bileşenini içerdiğini gösterir. Fourier dönüşümü arasındaki fark bu noktada ortaya çıkar; Fourier dönüşümü frekans bilgisini verir ama bu frekansların ne zaman oluştuğunu belirtmez. Dalgacık dönüşümlerinin durağan olmayan zaman serilerinin yüksek çözünürlüklü zaman analizi için uygun bir yöntem olduğu gösterilmiştir (Flandrin (1989); Flandrin (1992); Mallat (1989)).

Kaynağa ait bir sinyal, kaynağın fiziksel özellikleri veya değişkenliği gibi bilgileri içeren bir fonksiyon ile temsil edilir. Matematiksel olarak bu sinyaller, “sürekli sinyal” ve “ayrık sinyal” olarak gruplandırılabilir. Verilerin ayrık yapısı göz önüne alındığında, ayrık dalgacık dönüşümü (Discrete Wavelet Transform) adı verilen çoklu çözünürlüklü bir analiz işlemi kullanılmıştır (Mallat (1989)). Bu tür dalgacıklar  $\psi_{j,k}(t)$  olarak gösterilir ve ikili bir temel kümesi oluşturur. Diğer bir ifadeyle kümedeki dalgacıklar değişken genişliklere ve değişken merkezi zaman konumlarına sahiptir. Bu çalışmada kullanılan dalgacık analizi, hızlı Fourier dönüşümünde olduğu gibi,  $N$  elemanlı bir ışık eğrisi ile başlar (MacLachlan ve diğ., (2013))

$$X_i = \{X_0 \dots X_{N-1}\}. \quad (3.13)$$

Burada  $N$ , 2'nin tamsayı kuvvetidir. Işık eğrisi, orijinal ölçekleme  $\phi(t_i) = \phi_{0,0}$  ve dalgacık fonksiyonlarının  $\psi(t_i) = \psi_{0,0}$  yeniden ölçeklendirilmiş ve çevrilmiş versiyonları olan bir ölçekleme fonksiyonu  $\phi_{j,k}(t_i)$  ve dalgacık fonksiyonlarına  $\psi_{j,k}(t_i)$  dönüştürülmesiyle

oluşturulur. Burada  $k$ ; dönüşüm indeksi,  $j$ ; yeniden ölçekleme indeksidir. Dönüşüm indeksi ve yeniden ölçekleme indeksi arasındaki ilişki şu bağlantı ile verilir;

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k). \quad (3.14)$$

Kesin bir formu olmayan ölçekleme ve dalgacık fonksiyonlarının seçimleri kişinin istediği özelliklere göre yapılır (Percival ve Walden (2002); Addison (2002)). Ölçekleme işlevi, girilen zaman serileri için bir yumuşatma filtresi görevi görürken dalgacık fonksiyonu ayrıntılı bilgiye erişmek için verilerin  $\Delta t$  zaman ölçeğinde zaman serilerini inceler bu da en küçük zaman birimi olan  $T_{\text{bin}}$  ' in iki katıdır.

$$\Delta t \rightarrow 2\Delta t$$

Ve dönüşüm son halini alana kadar tekrarlanır

$$\Delta t = NT_{\text{bin}}.$$

Bu tezdeki analizlerde, sonuçların kolay yorumlanmasına izin veren Allan değişkenine (Howe ve Percival (1995)) eşdeğer Haar (Addison (2002)) ölçekleme/dalgacık temeli kullanılmıştır. Işık eğrisini ( $X$ ) ölçekleme fonksiyonları ile dönüştürülmesi sonucu dalgacık fonksiyonunun katsayıları şu şekilde karşımıza çıkar

$$a_{j,k} = \langle \phi_{j,k}, X \rangle. \quad (3.15)$$

$X$ 'in dalgacık temelli fonksiyonlarla incelenmesiyle ölçeğe ve konuma bağlı detay katsayılarına ulaşılır

$$d_{j,k} = \langle \psi_{j,k}, X \rangle. \quad (3.16)$$

Haar dalgacık dönüşümü  $N = 2$  durumu için Fourier dönüşümüyle aynı davranışı sergiler.

### 3.3. TAYFSAL ANALİZ VE MODELLER

Gözlemlerden bilgi elde edebilmek için kullandığımız başlıca yöntemlerden biri de foton/kaynak tayfını elde etmektir. RXTE uydusundan alınarak ön indirgemesi yapılan ve tayfları elde edilen GX 339-4 kaynağına ait ani parlama gözlemlerinin tayf modellemeleri HEASOFT altında çalışan XSPEC programı kullanılarak yapılmıştır (Arnaud (1996)). Her bir tayf 0.3-20 keV enerji aralığında termal, çok renkli disk, güç kanunu ve *COMPPS* modelleri ile fit edilmiştir. Kullanılan modellerin ayrıntıları aşağıda verilmektedir;

*phabs*: Bu model yıldızlararası ortam tarafından x-ışınlarının fotoabsorpsiyonunu açıklamaktadır. Şu şekilde tanımlanır:

$$M(E) = \exp[-n_H \sigma(E)]. \quad (3.17)$$

Burada  $\sigma(E)$ ; fotoelektrik tesir kesitidir ve  $n_H$ ;  $10^{22}$  atom/cm<sup>2</sup> biriminde hidrojen kolon yoğunluğudur.

**güç kanunu (Power Law):** X-ışın tayfının sert veya yumuşak ayrımını yapmamızı sağlayan güç kanunu modeli şu şekilde tanımlanır;

$$N(E) = K E^{-\Gamma}. \quad (3.18)$$

Burada  $\Gamma$  ; foton indeksi  $K$  ; 1 keV’ deki (foton/keV/cm<sup>2</sup>/sn) normalizasyon değeridir.

*diskbb* (**disk karacisim ışıma modeli**): Makishima ve diğ.,(1986) çalışmasında geliştirilen bu model kompakt bir nesnenin etrafındaki optik olarak kalın geometrik

olarak ince bir yığılma diskinden kaynaklanan radyasyonu modellemek için kullanılır. Bu model iki değişkenle parametrelendirilir. Bunlar  $T_{in}$  iç disk yarıçapındaki sıcaklık olup diğeri ise  $((r_{in}/km)/(D/10kpc))2\cos(\theta)$  denkleminde eşit olan normalizasyondur. Burada  $r_{in}$ ; km cinsinden iç disk yarıçapıdır,  $D$ ; 10 kpc birimlerinde kaynağa olan mesafe ve  $\theta$ ; diskin açısıdır.

**COMPPS:** Komptonizasyon sürecini temsil eden bu modelin daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle Compton saçılma mekanizmasından bahsetmek gerekir. Compton saçılması bir elektronla etkileşime giren yüksek enerjili bir fotonun elastik olmayan çarpışması sonucu fotonun enerjisindeki azalma (dalga boyunda artma) anlamına gelir. Dalga boyundaki bu artmaya Compton kayması denir. Bu etki ilk defa 1923 yılında Arthur Holly Compton tarafından gözlemlenmiştir. Yüksek enerjili fotonlarla elektronların etkileşmesi sonucu fotonun enerjisinin bir kısmı elektrona aktarılıp onun saçılmasına yol açarken geldiğinden farklı bir doğrultuda saçılan fotonun enerjisinin geri kalan kısmını alır. Bu saçılma olayında momentum ve enerji korunumu yasaları söz konusudur. Saçılma sonucunda belli bir açıyla saçılan parçacıkların momentumları değişir ve fotonun dalga boyundaki değişim şu şekildedir;

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \alpha). \quad (3.19)$$

Burada  $\Delta\lambda$ : Fotonun ilk dalga boyu ile saçılmadan sonraki dalga boyu arasındaki fark,  $h$ : Planck sabiti,  $m_e$ : elektronun kütlesi,  $c$ : ışık hızı,  $\alpha$ : saçılma açısıdır. Bu işlemin tersi olan, yüksek enerjili parçacıkların düşük enerjili fotonlara enerji aktarmasına ise Ters Compton saçılması denir.

**COMPPS** modelinde komptonizasyon sürecinin etkin olduğu tayfi açıklayan öncül parametreler şunlardır;  $T_e$ : korona elektron sıcaklığı,  $T_{bb}$ : çekirdek foton (düşük enerjili foton) sıcaklığı,  $\tau$ : koronanın optik derinliği,  $R$ : yansıma ( $R = \Omega/2\pi$ , burada  $\Omega$ : birincil X-ışınlarının kaynağından bakıldığında soğuk madde tarafından işgal edilen katı açıdır. )  $\tau$  ve  $T_e$  parametrelerine bağlı olan **compton-y** parametresi bir foton popülasyonunun sonlu bir ortamla seyahat ederken yaşayacağı enerji değişiminin bir ölçüsüdür ve şu şekilde tanımlanır;

$$y = \frac{4kT_e}{m_e c^2} \max(\tau, \tau^2), \quad (3.20)$$

$T_{bb}$  parametresi PCA tayfının sınırlı enerji aralığı sebebi ile sabitlenerek analizler yapılmıştır.  $R$  parametresi de 0.3-1.0 değerleri arasında sabitlenmiştir. Çekirdek fotonların kaynağının KDXÇ' lerde yığılma diskinin iç bölgesi olduğu düşünülürken NYXÇ' lerde ise iki olasılık söz konusudur: yığılma diskinin iç bölgesi ve nötron yıldızlarının yüzeyidir (Poutanen ve Svensson (1996)).

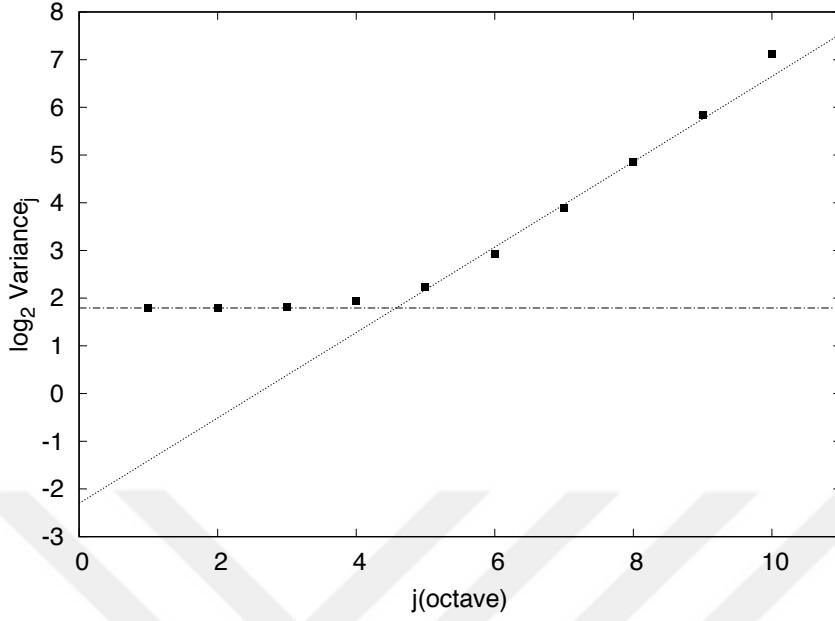


## 4. BULGULAR

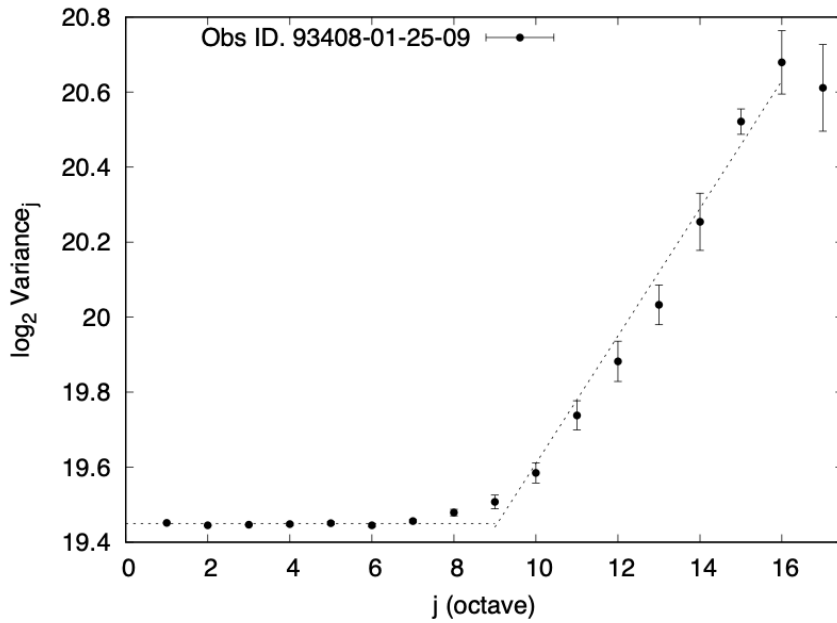
Bu çalışma kapsamında bir KD (GX 339-4) ve iki (4U 1608-52, Aql X-1) NY-DKXÇ kaynağı için RXTE üzerindeki PCA dedektörü verileri kullanılarak tayfsal evre geçişleri ve davranışları incelenmiştir. 200  $\mu$ s ila birkaç ms arasında değişen zaman çözünürlüğüne sahip ışık eğrileri oluşturmak için *HEASOFT* V.6.24 ile standart RXTE veri analiz yöntemi kullanılmıştır. Analizler sırasında eğer mümkünse tüm enerji bandını kapsayan yüksek çözünürlüklü Xenon veya Event veri modları kullanılmıştır. Bu veri modlarının bulunamadığı durumlar için, tüm enerji bandını kapsayacak şekilde Tek Bit ve Event veri modları birleştirilmiştir. Sonuçta yüksek çözünürlüklü ışık eğrileri, eğim açısının 10°'den büyük ve kaynaktan sapmanın 0.02°'den küçük olması gibi kriterler ile zaman filtrelemesi uygulanarak oluşturulmuştur. GX 339-4 (2002-2003 ve 2010 parlamaları), 4U 1608-15 (2002 ve 2007 parlamaları) ve Aql X-1 (1999 ve 2000 parlamaları) kaynakları için düşük zaman çözünürlüklerinde oluşturulan ışık eğrilerine daha sonra hızlı bir dalgacık dönüşümü uygulanmış ve farklı parlama döngüleri için Log-Skala Diyagramları oluşturulmuştur. Beyaz gürültü (ardalan) süreci Log-Skala diyagramında düz olarak görünürken durağan olmayan süreçler (sinyal veya kırmızı gürültü) ölçeklenmiş eğimli bölge olarak görülmektedir. Minimum değişkenlik zaman ölçeği (minimal time scale, kısaca MTS) log-skala diyagramında düz gürültü bölgesi ve ölçeklenmiş eğimli bölgenin, kesişim noktasıdır ve oktav cinsinden elde edilmektedir (bkz. MacLachlan ve diğ., (2013)). Elde edilen bu minimum zaman ölçeği değerleri kullanılarak kaynakların durum geçişleri boyunca gösterdiği farklı fiziksel özelliklerine göre (ışımagücü, RMS, sertlik, kırılım ve kesilim frekansları gibi) davranışları incelenmiştir.

### 4.1. LOG-SKALA DİYAGRAMI

Şekil 4.1' de GX 339-4 kaynağının 2002-2003 parlaması için RXTE uydusu ile alınan gözlemlerinden biri için varyans' ın MTS (oktav)' e karşı değişimi olan Log-skala diyagramı gösterilmektedir. Şekilde kırmızı gürültü (eğimli) ve beyaz gürültü (düz) bölgelerin kesişim değerleri yaklaşık olarak 5 oktav'a karşılık gelmektedir. Bu değer de 1 ms değerine binlenmiş ışık eğrisi için yaklaşık 32 ms'lik bir zaman ölçeğine karşılık gelmektedir.



**Şekil 4.1:** 70110-01-08-00 numaralı gözlem için Varyans' ın minimum zaman ölçeğine,  $j$  (oktav biriminde), karşı değişimi. Kırmızı gürültü (eğimli) ve beyaz gürültü (düz) bölgeler belirgin olduğu görülmektedir. İki bölgenin kesim noktası minimum değişkenli zaman ölçeği (MTS)' dir.



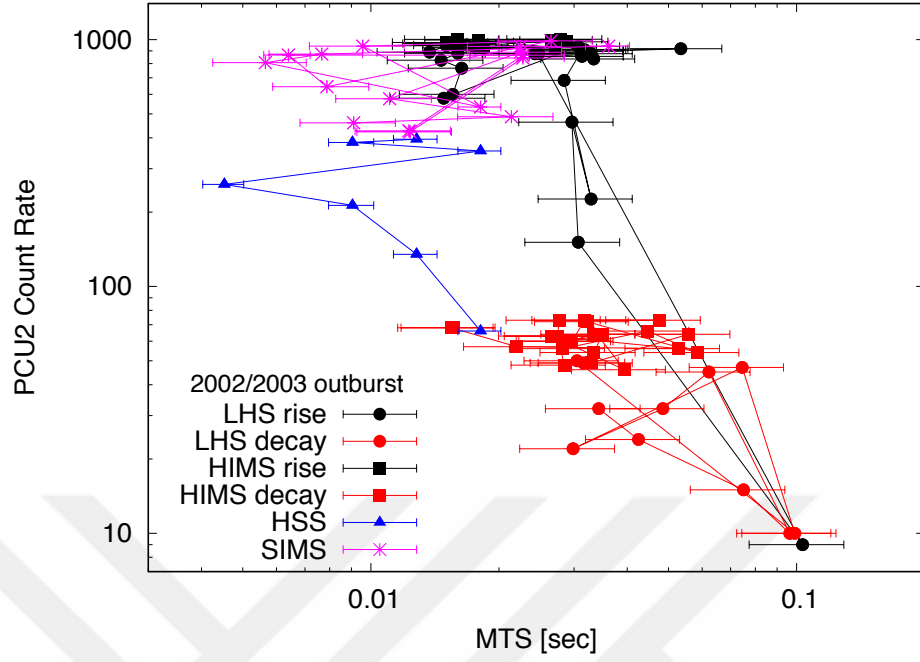
**Şekil 4.2:** 4U 1608-52 kaynağının 93408-01-25-09 numaralı gözlemi için log-skala diyagramı. Kırmızı gürültünün (eğimli çizgi) ve beyaz gürültünün (düz kısım) kesişimi minimum değişkenli zaman ölçeğini (MTS) verir.

Şekil 4.2' de 4U 1608-52 kaynağına ait 93408-01-25-09 numaralı gözlemi için varyansın oktav birimindeki  $j'$  ye karşı değişimi gösterilmiştir. Kırmızı gürültünün (eğimli çizgi) ve beyaz gürültünün (düz kısım) kesişim değeri yaklaşık olarak 9 oktav' a karşılık gelmektedir.

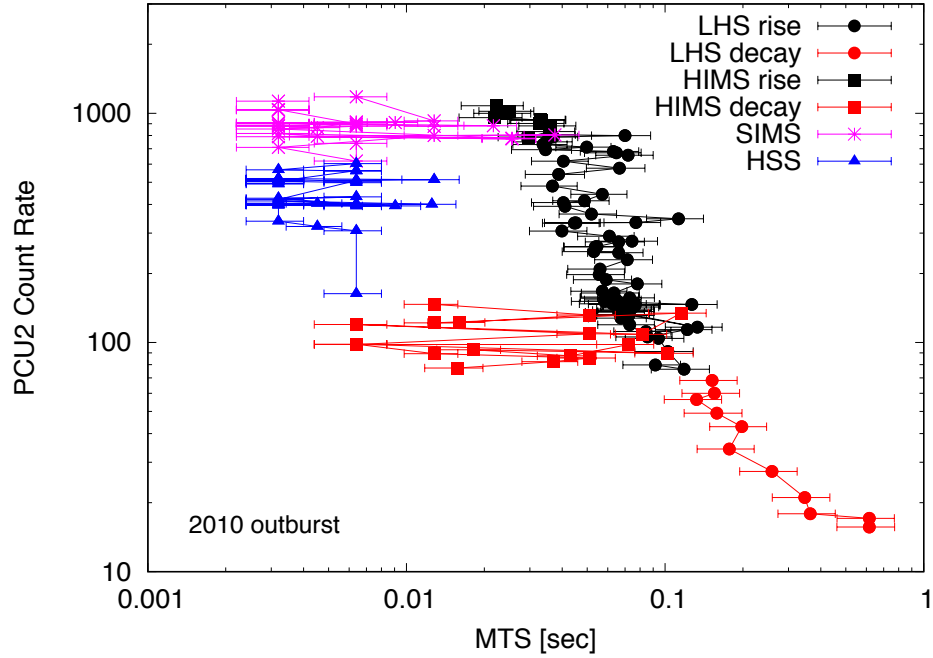
#### 4.2. MTS' İN IŞIMA GÜCÜNE BAĞLI DEĞİŞİMİ

KD-DKXÇ' ler sertlik-şiddet diyagramında (HID) düşük/sert evreden (LHS) termal olarak baskın olan yumuşak evreye (HSS) ve oradan tekrar düşük/sert evreye (LHS) geri dönerek bir q-eğrisi davranışı sergiler. GX 339-4 kaynağının 2002-2003 ve 2010 için elde edilen MTS değerleri ile oluşturulan ısıma gücü-değişkenlik (MTS) diyagramları sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4' de verilmiştir. Karşılaştırma amacıyla aynı gözlemler için sertlik - ısıma gücü diyagramları (Şekil 4.6) verilmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalarda olduğu gibi "q" eğrisi adı verilen yapı gözlenmiştir. Sertlik-ısıma gücü diyagramındaki bu yapının yine aynı kaynağa ait Şekil 4.3 (2002-2003 parlaması) ve Şekil 4.4' deki (2010 parlaması) ısıma gücü-değişkenlik (IVD) grafiğindeki yapıyla benzerliği açıktır. IVD diyagramlarında saçılmasının fazla olmasına rağmen MTS' nin kaynağın çeşitli evrelerine duyarlı olması ve bu evreleri takibi bakımından geleneksel HID' de (Hardness-Intensity Diagram; HID) gözlemlenene benzer q benzeri bir yapı izlediği görülmüştür. LHS ve HIMS geçişleri için siyah ve kırmızı renkler (Şekil 4.3 ve 4.4) sırasıyla ısıma gücüne göre artış ve azalmayı temsil ederken mavi üçgen ve pembe yıldız sırasıyla HSS ve SIMS' i temsil etmektedir. Genel olarak bakıldığında 2010 parlamasında evrelerin ayrımı daha belirgin olduğu görülmekle birlikte geçişler de 2002-2003 parlamasında görülen biraz düzensiz özelliklere kıyasla daha düzenli görünmektedir.

Aql X-1 ve 4U 1608-52 kaynaklarına ait sırasıyla 1999 ve 2000 ve 2002 ve 2007 yıllarına ait parlamaların ısıma gücü-değişkenlik (MTS) grafiği Şekil 4.5' de gösterilmiştir. Bu parlamalar için MTS değerleri hesaplanarak GX 339-4' de görülen yapıya benzer bir yapının görülüp görülmediği karşılaştırılmıştır. Farklı evreler için GX 339-4' de görüldenden farklı bir yönelimde bir döngü görülmektedir. Kaynağın yumuşak ve sert evresi arasında belirgin bir ayrım gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.6' da GX 339-4' ün 2002/2003 (çeşitli renkli noktalar) ve 2010 (gri noktalar) parlamalarının sertlik-ısıma gücü (HID) diyagramı gösterilmiştir. Şekil 4.7' de Aql X-1 ve 4U 1608-52 kaynaklarının sırasıyla 1999-2000 ve 2002-2007 yıllarındaki parlamalarının sertlik-ısıma gücü diyagramı (HID) verilmiştir. Bölüm

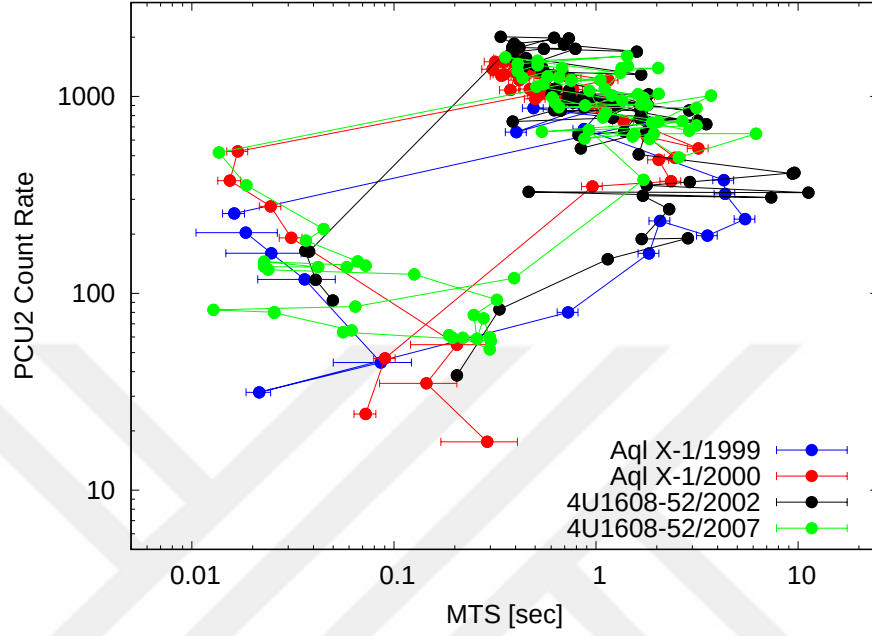


Şekil 4.3: GX 339-4 kaynağının 2002-2003 parlamasına ait sayım oranının minimum değişkenlik zaman ölçeğine (MTS) karşı değişimi.

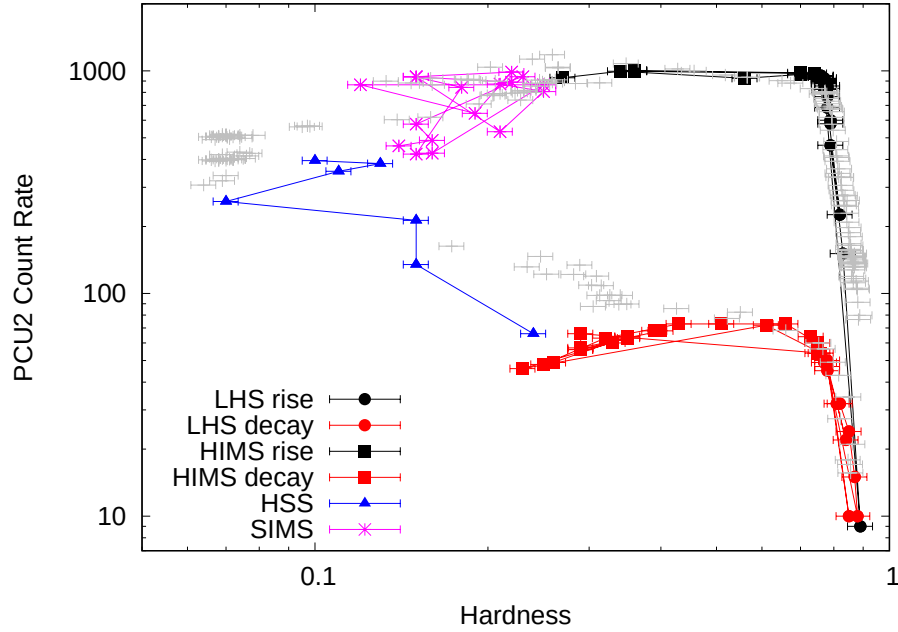


Şekil 4.4: GX 339-4 kaynağının 2010 yılındaki parlamaya PCU2 ait sayım oranının minimum değişkenlik zaman ölçeğine (MTS) karşı grafiği. Renkler ve semboller şekil 4.3' dekiyle aynı şekilde kullanılmıştır.

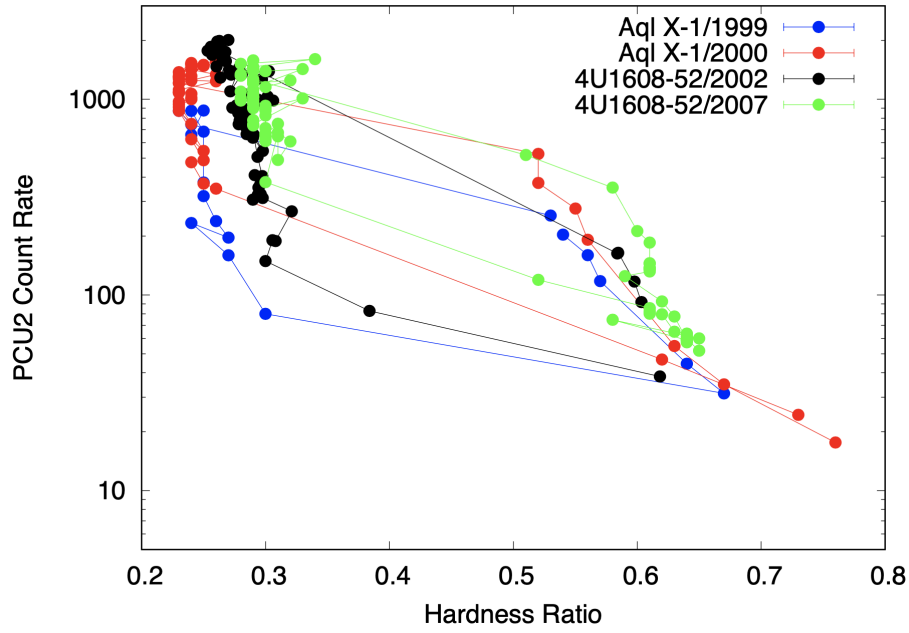
2.4.1’ de anlatıldığı gibi NY-DKXÇ’ lerinin sergilediği "histerezis" davranışının Şekil 4.7’ de de sergilendiği gösterilmiştir. Burada yumuşak ve sert evreler arasındaki ayırım net olarak görülebilmektedir.



Şekil 4.5: Aql X-1 ve 4U 1608-52 kaynaklarının parlamalarına ait PCU2 sayım oranına bağlı MTS değerindeki değişimi.



Şekil 4.6: GX 339-4 kaynağının 2002-2003 ve 2010 (gri) parlamaları için serliğin sayım oranı karşısındaki değişimi.

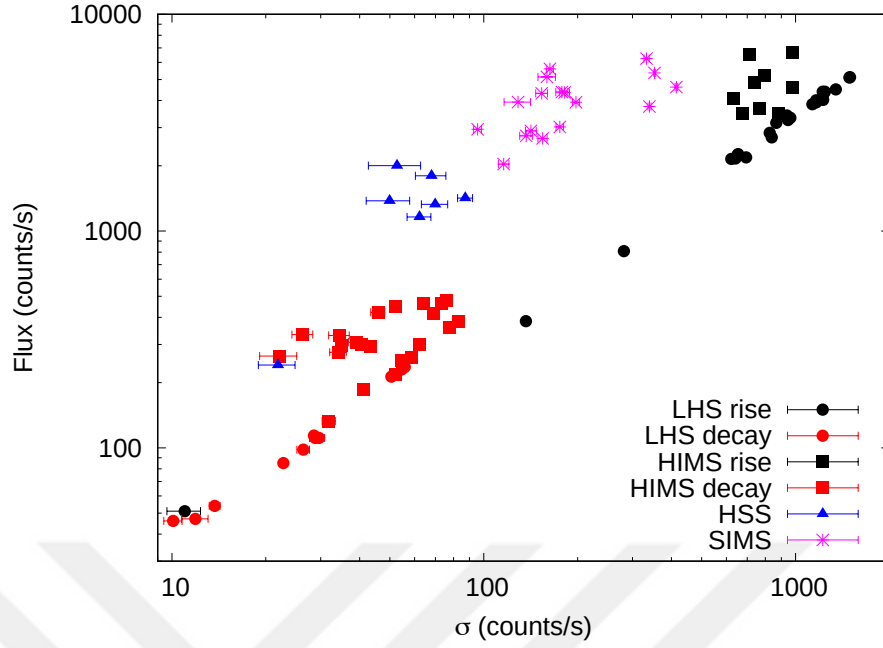


Şekil 4.7: Aql X-1 ve 4U 1608-52 kaynaklarının farklı parlamaları için sertliğinin sayım oranı karşısındaki değişimi.

#### 4.3. $\sigma$ (RMS) - AKI İLİŞKİSİ (RID; RMS INTENSITY DIAGRAM)

Işık eğrilerindeki değişkenliğin standart bir ölçüsü RMS'dir. Bu ölçü  $\sigma$  (rms) ve kesirsel RMS olarak iki formda kullanılır.  $\sigma$  (rms), esasen bir zaman serisinin varyansının bir ölçüsüdür ve normalde (sayım/sn biriminde) doğrudan ışık eğrisinden hesaplanır. Kesirsel RMS ise sayım hızına göre normalize edilir ve tipik olarak uygun şekilde normalize edilmiş bir PSD'den çıkarılır (ve yüzde olarak ifade edilir). İyi tanımlanmış bir frekans aralığında çıkarılan RMS, akının bir fonksiyonu olarak değişkenliğin incelenmesinde yararlıdır. Düşük/sert evre (LHS) için  $\sigma$  (rms) ile akının doğrusal bir ilişki sergilediği bilinmektedir. (Uttley ve McHardy (2001)). Munoz-Darias ve diğ.(2011) çalışmasında tayfsal bilgi yardımı olmadan KD geçişlerini araştırmalarını mümkün kılan rms-şiddet diyagramını (RID) ortaya konmuştur ve GX 339-4'teki çeşitli tayfsal geçiş aşamalarına karşılık gelen birkaç bölge ayırt edilebilmiştir. Şekil 4.8' de GX 339-4 kaynağının 2002-2003 parlaması için gösterilen  $\sigma$  - akı ilişkisinde de LHS evresi için doğrusal kısım belirgindir (sırasıyla parlama artışını ve azalmasını temsil eden siyah ve kırmızı daireler).

Buradaki  $\sigma$ -akı ilişkisinin diskteki yığılmada görülen dalgalanmalar olduğu düşünülmektedir (Lyubarskii, 1997). Bu dalgalanmalar muhtemelen ya termal olarak üretilir ya da viskoziteye bağlıdır ve bu nedenle, ışık eğrilerinden elde edilen karakteristik



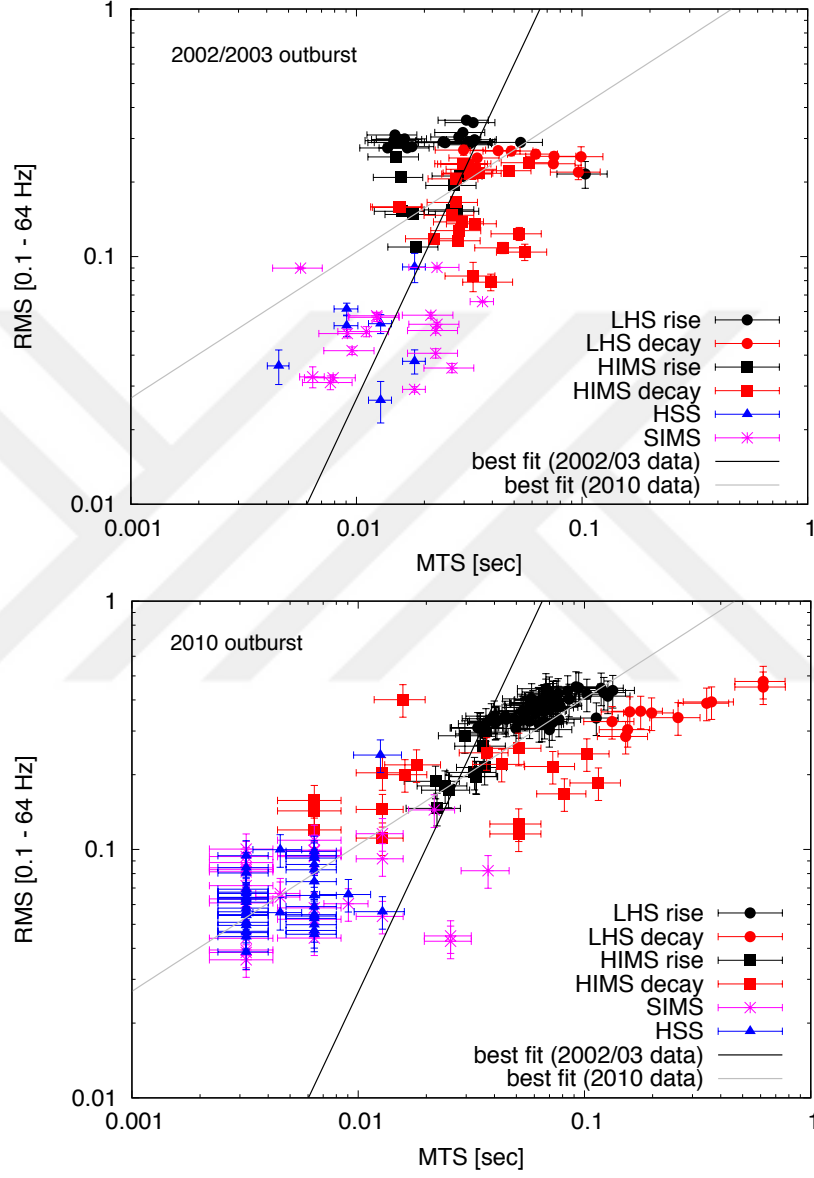
**Şekil 4.8:** GX 339-4 kaynağının 2002-2003 parlaması için tayfsal evrelerinin akıya karşı  $\sigma$  (rms) değişimi.

zaman ölçeği, MTS, bu akış için ilgili zaman ölçeğindeki değişkenliğin bir ölçütü olarak düşünülebilir. Bu da MTS - RMS ilişkisinin verildiği Şekil 4.9’ da görülen korelasyonu açıklayabilmektedir.

#### 4.4. MTS-RMS İLİŞKİSİ

Şekil 4.9’ da GX 339-4 kaynağının 2002/2003 (üst panel) ve 2010 (alt panel) parlamalarının farklı evreleri için RMS’ e bağlı MTS değerindeki değişim gösterilmiştir.

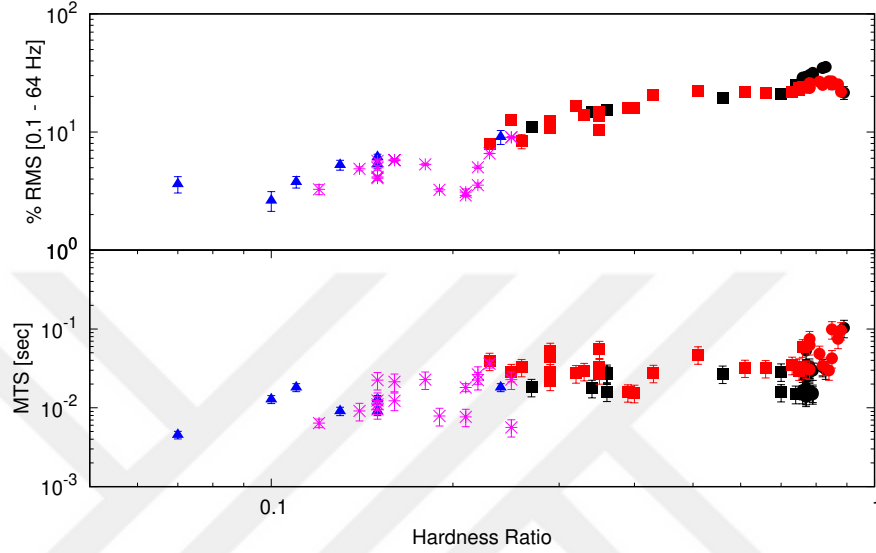
Siyah çizgi (2002-2003 parlaması) ve gri çizgi (2010 parlaması) veriye en iyi modelleme sonucunu vermektedir. 2002/2003 parlaması için en iyi modelin eğimi  $1.9 \pm 0.2$  iken 2010 parlaması için bu eğim  $0.59 \pm 0.01$ ’ dir. Ayrıca grafiklerde , LHS evresinin ( $\sim 30$  ms) ortalama olarak HSS evresinden daha büyük bir zaman ölçeği ( $\sim 10$  ms) sergilemiştir ve böylece LHS ve HSS evreleri arasında zamansal olarak bir ayrım gösterdiği sonucuna varılabilmektedir. Eğimdeki farkın LHS evresinin akıdaki azalmaya karşılık gelen bölgesinin (kırmızı daireler) 2002-2003 parlamasına göre daha büyük minimal zaman ölçekleri göstermesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu değerler, 2002–2003 parlaması (üst panel) için düşük/sert evreye kıyasla neredeyse 4 faktörüdür. İki parlama arasında görülen bu



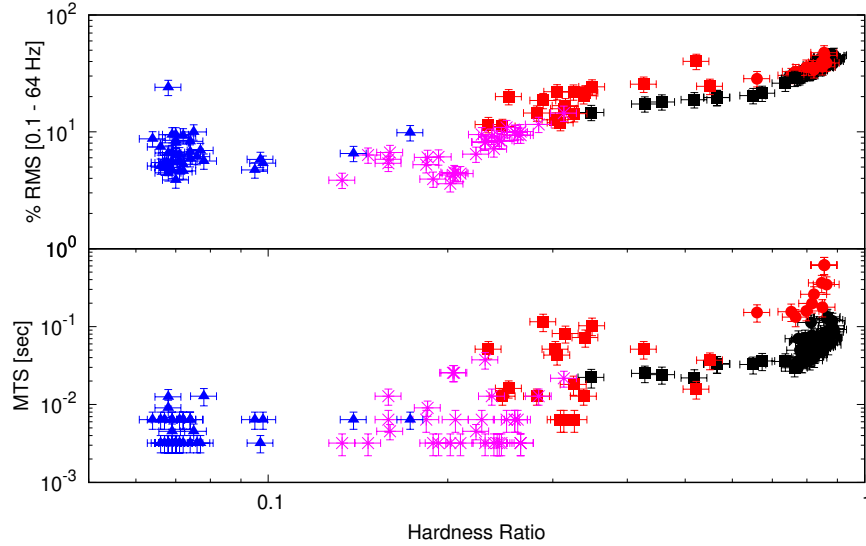
**Şekil 4.9:** GX 339-4' ün 2002-2003 ve 2010 parlamaları (sırasıyla üst ve alt paneller) için RMS'e bağlı MTS değerindeki değişim. Burada siyah çizgi (2002-2003 parlaması) ve gri çizgi (2010 parlaması) verilerle en iyi uyumu gösteren fitlerdir.

farklılık korona ile olası bir bağlantı olduğu fikrini akla getirmektedir. Eğer böyle bir bağlantı varsa bu bağlantının doğası bu aşamada net değildir.

Şekil 4.11 ve Şeki 4.12’ de MTS ve RMS’ in sertlik karşısındaki değişimi sırasıyla 2002-03 ve 2010 parlaması için gösterilmiştir.



**Şekil 4.10:** GX 339-4’ ün 2002-2003 parlamasının çeşitli tayfsal evreleri için RMS (üst panel) ve MTS’ e (alt panel) bağlı sertliğin değişimi. Semboller ve renklerin kullanımı önceki şekillerdekiler ile aynı biçimde kullanılmıştır.



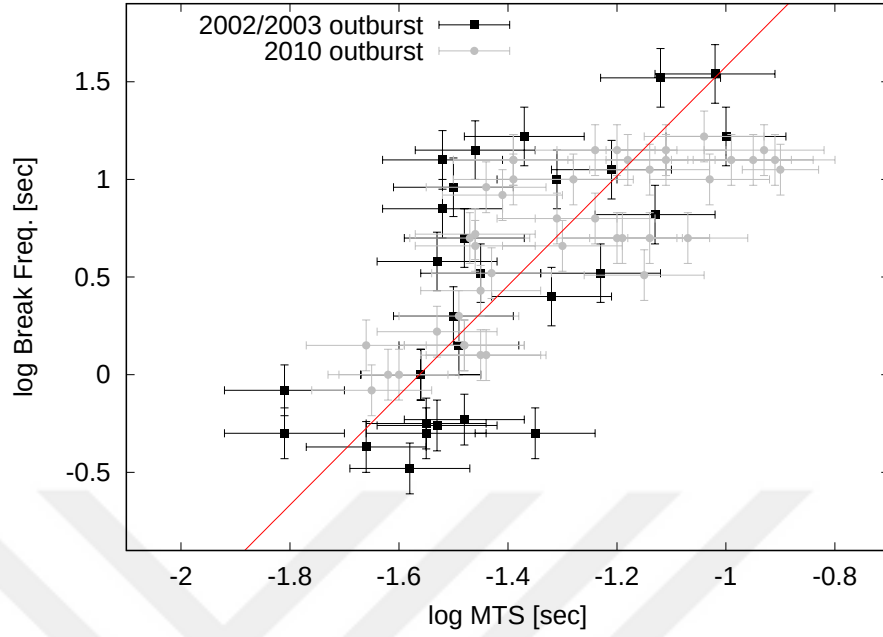
**Şekil 4.11:** GX 339-4’ ün 2010 parlamasının çeşitli tayfsal evreleri için RMS (üst panel) ve MTS’ e (alt panel) bağlı sertliğin değişimi.

MTS - sertlik ve RMS - sertlik grafiklerinde tayfsal evrelerin birbirlerinden ayrıldığı

görülmüştür. Evrelerin ayrımı 2002-2003 parlamasına (Şekil 4.11) kıyasla 2010 parlaması (Şekil 4.12) için daha belirgindir. Ayrıca, MTS sertlik düzlemindeki saçılma dikkat çekicidir. Parlamanın başlangıcı (rise; yükselme) ve bitişi (decay; bozunma) olarak bilinen LHS evresinde sertlikle birlikte RMS ve MTS' de doğrusal olarak arttığı açık bir şekilde görülebilmektedir. Diğer taraftan ise tayflarının yumuşak olduğu bilinen HSS ve SIMS evrelerinde azalan sertlikle beraberinde RMS ve MTS değerleride azalmıştır. Sertlik oranı  $\sim 0.7$  için, MTS-sertlik grafiğinin düşük/sert evrenin artış bölgesi (siyah daireler) ve azalma evresinden (kırmızı daireler) ayrılması ile RMS-sertlik grafiğinden farklılaştığı görülmüştür.

#### 4.5. MTS- KIRILIM (BREAK) FREKANSI İLİŞKİSİ

Karakteristik zaman ölçekleri doğrudan PSD' lerden de elde edilebilir. Bu iki yöntem arasında bir kıyaslama yapılması muhtemeldir ve bu tez kapsamında NY-DKXÇ' ler için böyle bir kıyaslama yapılmıştır (bkz. Kısım 4.6). Kırılma frekansı, düşük frekanslarda PSD' nin eğimindeki dönüşümü belirleyen bir özellik iken kesilim frekansı ise sinyal-gürültü eşliğini temsil eden yüksek frekans özelliğidir. PSD'lerin tayfsal eğimi, tayfsal durumun bir fonksiyonu olarak oldukça önemli ölçüde değişebilen sinyal gürültü oranının bir ölçüsüdür. Bu tür bir çalışma ile PSD'ler tüm tayfsal durumlar içeren yüksek istatistiğe sahip veriler için oluşturulmalıdır. Bu çalışma kapsamında, GX 339-4 için PSD'leri kırık PL (BPL) tayfsal modeli uygulanarak kırılma frekans değerleri elde edilmiştir. BPL' nin güç tayflarını tanımlamak için ideal bir model olmadığı bilinmektedir ancak doğrudan PSD' lerden çıkarılan MTS' nin bir zaman ölçeğiyle ilişkilendirilip ilişkilendirilemeyeceğini belirlemek amacıyla bu model tercih edilmiştir. LHS ve HIMS evrelerinde model uygun bir şekilde uygulanabilirken HSS ve SIMS evreleri için PDS' lerinde gözlenen düzensiz özellikleri nedeniyle elde edilen kırılma frekans değerlerinin oldukça büyük saçılmalar sergilediği görülmüştür. 2002/2003 ve 2010 parlamasının analizlerinden elde edilen değerler Tablo 4.1 ve 4.2' de verilmektedir. Şekil 4.12' de GX 339-4 kaynağının 2002/2003 ve 2010 parlamalarının düşük/sert evre (LHS) ve sert/orta evreleri (HIMS) için logaritmik olarak çizilmiş olan MTS - kırılma frekansı grafiği verilmiştir. Buradaki verilerle en iyi uyumu veren modelin eğimi ise  $2.8 \pm 0.2$ ' dir.



**Şekil 4.12:** GX 339-4 kaynağının 2002/2003 (siyah noktalar) ve 2010 (gri noktalar) parlamalarının LHS VE HIMS evreleri için MTS - kırılma frekansı grafiği.

**Tablo 4.1:** GX 339-4' ün 2002-2003 parlamasının tayfsal evreleri için RMS, MTS, kırılma frekansı ve sayım oranı değerleri tablosu.

| Evre | Gözlem Num.    | RMS  | RMS hata | MTS   | MTS hata | Kırılma Frek. | PCU2       |
|------|----------------|------|----------|-------|----------|---------------|------------|
|      |                | (%)  | (%)      | (sn)  | (sn)     | (Hz)          | (Count/sn) |
| LHS  | 60705-01-54-00 | 21.6 | 2.7      | 0.103 | 0.026    | —             | 9          |
| LHS  | 60705-01-55-00 | 35.6 | 0.3      | 0.031 | 0.008    | —             | 151        |
| LHS  | 70109-01-02-00 | 34.8 | 0.1      | 0.033 | 0.008    | —             | 226        |
| LHS  | 70109-01-01-00 | 31.7 | 0.1      | 0.030 | 0.007    | —             | 463        |
| LHS  | 70110-01-01-00 | 31.0 | 0.1      | 0.015 | 0.004    | —             | 579        |
| LHS  | 70110-01-02-00 | 29.7 | 0.1      | 0.016 | 0.004    | —             | 600        |
| LHS  | 70109-01-03-00 | 30.4 | 0.1      | 0.028 | 0.007    | —             | 684        |
| LHS  | 70110-01-03-00 | 29.9 | 0.1      | 0.016 | 0.004    | —             | 766        |
| LHS  | 70110-01-04-00 | 29.4 | 0.1      | 0.015 | 0.004    | —             | 825        |
| LHS  | 40031-03-01-00 | 29.7 | 0.1      | 0.033 | 0.008    | —             | 835        |
| LHS  | 40031-03-02-00 | 29.0 | 0.1      | 0.031 | 0.008    | —             | 855        |
| LHS  | 40031-03-02-01 | 29.1 | 0.1      | 0.024 | 0.006    | —             | 875        |
| LHS  | 40031-03-02-02 | 29.2 | 0.1      | 0.033 | 0.008    | —             | 877        |
| LHS  | 70110-01-05-00 | 28.9 | 0.1      | 0.016 | 0.004    | —             | 880        |
| LHS  | 40031-03-02-03 | 29.1 | 0.1      | 0.031 | 0.008    | —             | 898        |
| LHS  | 40031-03-02-04 | 28.6 | 0.1      | 0.032 | 0.008    | —             | 910        |
| LHS  | 70110-01-06-00 | 27.5 | 0.1      | 0.014 | 0.003    | —             | 889        |
| LHS  | 70109-01-04-00 | 29.1 | 0.1      | 0.031 | 0.004    | —             | 909        |

Tablo 4.1 Devamı.

| Evre | Gözlem Num.    | RMS<br>(%) | RMS hata<br>(%) | MTS<br>(sn) | MTS hata<br>(sn) | Kırılma Frek.<br>(Hz) | PCU2<br>(Count/sn) |
|------|----------------|------------|-----------------|-------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| LHS  | 40031-03-02-05 | 28.9       | 0.1             | 0.053       | 0.013            | —                     | 919                |
| LHS  | 40031-03-02-06 | 28.9       | 0.1             | 0.025       | 0.006            | —                     | 878                |
| LHS  | 70110-01-07-00 | 28.9       | 0.1             | 0.015       | 0.004            | —                     | 944                |
| LHS  | 70109-01-05-00 | 27.8       | 0.1             | 0.018       | 0.004            | —                     | 926                |
| LHS  | 70109-01-05-02 | 28.3       | 0.1             | 0.031       | 0.008            | —                     | 939                |
| LHS  | 70110-01-08-00 | 27.5       | 0.1             | 0.017       | 0.004            | —                     | 952                |
| HIMS | 70110-01-09-00 | 25.3       | 0.1             | 0.015       | 0.004            | —                     | 973                |
| HIMS | 70109-01-06-00 | 21.2       | 0.1             | 0.029       | 0.007            | —                     | 980                |
| HIMS | 70108-03-01-00 | 20.9       | 0.1             | 0.016       | 0.004            | —                     | 965                |
| HIMS | 70110-01-10-00 | 19.4       | 0.1             | 0.027       | 0.007            | —                     | 926                |
| HIMS | 70109-04-01-00 | 15.3       | 0.1             | 0.028       | 0.007            | —                     | 1003               |
| HIMS | 70109-04-01-01 | 15.2       | 0.1             | 0.016       | 0.004            | —                     | 1002               |
| HIMS | 70109-04-01-02 | 15.4       | 0.1             | 0.026       | 0.007            | —                     | 996                |
| HIMS | 70110-01-11-00 | 14.8       | 0.1             | 0.018       | 0.004            | —                     | 996                |
| HIMS | 70110-01-12-00 | 10.9       | 0.1             | 0.018       | 0.005            | —                     | 931                |
| SIMS | 70109-01-07-00 | 6.6        | 0.1             | 0.036       | 0.004            | —                     | 941                |
| SIMS | 70110-01-13-00 | 3.1        | 0.1             | 0.008       | 0.002            | —                     | 873                |
| SIMS | 70110-01-14-00 | 9.0        | 0.1             | 0.023       | 0.006            | —                     | 865                |
| SIMS | 70110-01-15-00 | 9.0        | 0.1             | 0.006       | 0.001            | —                     | 807                |
| SIMS | 70110-01-18-00 | 5.8        | 0.2             | 0.012       | 0.003            | —                     | 427                |
| SIMS | 70110-01-19-00 | 5.7        | 0.2             | 0.012       | 0.003            | —                     | 423                |
| SIMS | 70110-01-20-00 | 2.9        | 0.1             | 0.018       | 0.002            | —                     | 533                |
| SIMS | 70110-01-28-00 | 5.3        | 0.1             | 0.023       | 0.006            | —                     | 842                |
| SIMS | 70110-01-35-00 | 4.1        | 0.2             | 0.022       | 0.006            | —                     | 938                |
| SIMS | 70110-01-36-00 | 4.2        | 0.1             | 0.010       | 0.002            | —                     | 941                |
| SIMS | 70109-01-20-01 | 3.3        | 0.3             | 0.006       | 0.001            | —                     | 866                |
| SIMS | 70110-01-45-00 | 3.5        | 0.1             | 0.026       | 0.007            | —                     | 988                |
| SIMS | 70110-01-47-00 | 5.1        | 0.1             | 0.022       | 0.006            | —                     | 889                |
| SIMS | 70130-01-02-00 | 3.2        | 0.1             | 0.008       | 0.002            | —                     | 576                |
| SIMS | 70110-01-51-00 | 4.9        | 0.2             | 0.011       | 0.003            | —                     | 644                |
| SIMS | 70110-01-54-00 | 5.8        | 0.2             | 0.021       | 0.005            | —                     | 487                |
| SIMS | 70110-01-55-00 | 4.9        | 0.2             | 0.009       | 0.002            | —                     | 460                |
| HSS  | 70110-01-57-00 | 2.6        | 0.5             | 0.013       | 0.002            | —                     | 395                |
| HSS  | 70110-01-58-00 | 5.3        | 0.5             | 0.009       | 0.001            | —                     | 383                |
| HSS  | 70110-01-59-00 | 3.8        | 0.4             | 0.018       | 0.002            | —                     | 354                |
| HSS  | 70110-01-65-00 | 3.6        | 0.6             | 0.005       | 0.001            | —                     | 259                |
| HSS  | 70110-01-79-00 | 6.1        | 0.3             | 0.009       | 0.001            | —                     | 213                |
| HSS  | 70110-01-81-00 | 5.4        | 0.5             | 0.013       | 0.002            | —                     | 135                |
| HSS  | 70110-01-86-00 | 9.1        | 1.2             | 0.018       | 0.002            | —                     | 66                 |
| HIMS | 70110-01-85-00 | 10.8       | 0.6             | 0.045       | 0.011            | 2.00                  | 66                 |
| HIMS | 70110-01-87-00 | 11.6       | 0.5             | 0.028       | 0.007            | 1.79                  | 56                 |
| HIMS | 70110-01-88-00 | 13.8       | 0.5             | 0.029       | 0.007            | 1.80                  | 60                 |

Tablo 4.1 Devamı.

| Evre | Gözlem Num.    | RMS<br>(%) | RMS hata<br>(%) | MTS<br>(sn) | MTS hata<br>(sn) | Kırılma Frek.<br>(Hz) | PCU2<br>(Count/sn) |
|------|----------------|------------|-----------------|-------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| HIMS | 50117-01-03-01 | 15.9       | 0.2             | 0.015       | 0.004            | 1.20                  | 68                 |
| HIMS | 50117-01-03-00 | 15.8       | 0.1             | 0.016       | 0.004            | 2.00                  | 68                 |
| HIMS | 60705-01-56-00 | 14.7       | 0.4             | 0.027       | 0.007            | 3.00                  | 63                 |
| HIMS | 70110-01-90-00 | 13.6       | 0.6             | 0.033       | 0.008            | 1.70                  | 64                 |
| HIMS | 70110-01-91-00 | 10.4       | 0.8             | 0.056       | 0.014            | —                     | 49                 |
| HIMS | 60705-01-57-00 | 7.9        | 0.6             | 0.039       | 0.010            | —                     | 46                 |
| HIMS | 70110-01-92-00 | 8.3        | 1.1             | 0.033       | 0.008            | —                     | 48                 |
| HIMS | 50117-01-04-01 | 11.8       | 0.4             | 0.022       | 0.005            | 2.33                  | 57                 |
| HIMS | 50117-01-04-02 | 12.34      | 0.7             | 0.053       | 0.013            | —                     | 56                 |
| HIMS | 70110-01-93-00 | 12.7       | 0.8             | 0.028       | 0.007            | 2.00                  | 63                 |
| HIMS | 70110-01-94-00 | 16.5       | 0.5             | 0.028       | 0.007            | 1.00                  | 73                 |
| HIMS | 70110-01-95-00 | 20.6       | 0.5             | 0.028       | 0.007            | 1.00                  | 73                 |
| HIMS | 60705-01-59-00 | 21.7       | 0.2             | 0.032       | 0.008            | 0.70                  | 72                 |
| HIMS | 70110-01-96-00 | 22.2       | 0.7             | 0.048       | 0.012            | 0.40                  | 73                 |
| HIMS | 70110-01-97-00 | 21.6       | 0.5             | 0.032       | 0.008            | 0.50                  | 69                 |
| HIMS | 80116-02-01-00 | 21.7       | 0.2             | 0.035       | 0.009            | 0.30                  | 64                 |
| HIMS | 70110-01-98-00 | 23.7       | 0.6             | 0.030       | 0.007            | 0.27                  | 60                 |
| HIMS | 80116-02-01-02 | 22.5       | 0.2             | 0.033       | 0.008            | 0.20                  | 54                 |
| HIMS | 70110-01-01-10 | 24.0       | 1.2             | 0.059       | 0.015            | 0.30                  | 54                 |
| LHS  | 80116-02-02-00 | 23.6       | 0.2             | 0.030       | 0.008            | 0.14                  | 50                 |
| LHS  | 80116-02-02-01 | 23.7       | 0.4             | 0.032       | 0.008            | 0.11                  | 49                 |
| LHS  | 70128-02-03-00 | 23.7       | 0.1             | 0.075       | 0.020            | 0.15                  | 47                 |
| LHS  | 70110-01-02-10 | 25.9       | 1.0             | 0.062       | 0.016            | 0.09                  | 45                 |
| LHS  | 60705-01-61-00 | 25.0       | 0.6             | 0.034       | 0.009            | 0.07                  | 32                 |
| LHS  | 70110-01-03-10 | 26.7       | 1.1             | 0.048       | 0.010            | 0.10                  | 32                 |
| LHS  | 60705-01-62-00 | 26.8       | 0.7             | 0.042       | 0.010            | 0.06                  | 24                 |
| LHS  | 70110-01-04-10 | 26.9       | 1.3             | 0.030       | 0.007            | 0.08                  | 22                 |
| LHS  | 60705-01-63-00 | 25.4       | 1.0             | 0.075       | 0.020            | 0.03                  | 15                 |
| LHS  | 80102-04-01-00 | 25.3       | 2.5             | 0.099       | 0.025            | 0.06                  | 10                 |
| LHS  | 60705-01-64-00 | 21.9       | 1.5             | 0.096       | 0.024            | 0.03                  | 10                 |

**Tablo 4.2:** GX 339-4' ün 2010 parlamasının tayfsal evreleri için RMS, MTS, kırılma frekansı ve sayım oranı değerleri tablosu.

| Evre | Gözlem Num.    | RMS<br>(%) | RMS hata<br>(%) | MTS<br>(sn) | MTS hata<br>(sn) | Kırılma Frek.<br>(Hz) | PCU2<br>(Count/sn) |
|------|----------------|------------|-----------------|-------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| LHS  | 95409-01-01-00 | 45.2       | 6.8             | 0.091       | 0.023            | 0.06                  | 80                 |
| LHS  | 95409-01-02-00 | 44.6       | 6.7             | 0.118       | 0.030            | 0.07                  | 76                 |
| LHS  | 95409-01-02-01 | 42.2       | 6.3             | 0.102       | 0.026            | 0.08                  | 91                 |
| LHS  | 95409-01-02-02 | 44.7       | 6.7             | 0.094       | 0.024            | 0.10                  | 104                |
| LHS  | 95409-01-03-02 | 43.5       | 6.5             | 0.084       | 0.021            | 0.20                  | 112                |
| LHS  | 95409-01-03-03 | 42.8       | 6.4             | 0.122       | 0.030            | 0.08                  | 114                |
| LHS  | 95409-01-03-00 | 40.3       | 6.0             | 0.086       | 0.021            | —                     | 106                |
| LHS  | 95409-01-03-04 | 40.5       | 6.1             | 0.073       | 0.018            | 0.09                  | 119                |
| LHS  | 95409-01-03-05 | 40.1       | 6.0             | 0.066       | 0.017            | —                     | 136                |
| LHS  | 95409-01-03-01 | 43.7       | 6.5             | 0.133       | 0.033            | —                     | 117                |
| LHS  | 95409-01-03-06 | 43.0       | 6.5             | 0.070       | 0.017            | —                     | 133                |
| LHS  | 95409-01-04-00 | 41.4       | 6.2             | 0.073       | 0.018            | —                     | 136                |
| LHS  | 95409-01-04-04 | 42.2       | 6.3             | 0.067       | 0.017            | —                     | 128                |
| LHS  | 95409-01-04-01 | 40.5       | 6.1             | 0.071       | 0.018            | —                     | 138                |
| LHS  | 95409-01-04-05 | 41.3       | 6.2             | 0.072       | 0.018            | —                     | 131                |
| LHS  | 95409-01-04-02 | 41.3       | 6.2             | 0.072       | 0.018            | —                     | 140                |
| LHS  | 95409-01-04-06 | 40.4       | 6.1             | 0.059       | 0.015            | —                     | 151                |
| LHS  | 95409-01-04-03 | 41.5       | 6.2             | 0.123       | 0.032            | —                     | 146                |
| LHS  | 95409-01-05-00 | 42.4       | 6.4             | 0.127       | 0.019            | 0.09                  | 147                |
| LHS  | 95409-01-05-01 | 39.5       | 5.9             | 0.077       | 0.019            | —                     | 145                |
| LHS  | 95409-01-05-03 | 44.4       | 6.7             | 0.068       | 0.017            | —                     | 147                |
| LHS  | 95409-01-05-04 | 39.4       | 5.9             | 0.073       | 0.018            | —                     | 157                |
| LHS  | 95409-01-05-05 | 39.1       | 5.9             | 0.063       | 0.016            | —                     | 148                |
| LHS  | 95409-01-06-00 | 41.5       | 6.2             | 0.076       | 0.019            | —                     | 143                |
| LHS  | 95409-01-06-01 | 38.8       | 5.8             | 0.063       | 0.016            | —                     | 158                |
| LHS  | 95409-01-06-02 | 38.4       | 5.8             | 0.063       | 0.016            | 0.07                  | 156                |
| LHS  | 95409-01-07-03 | 39.8       | 6.0             | 0.065       | 0.016            | —                     | 153                |
| LHS  | 95409-01-07-04 | 37.3       | 5.6             | 0.057       | 0.014            | 0.07                  | 167                |
| LHS  | 95409-01-07-00 | 38.9       | 5.8             | 0.063       | 0.016            | —                     | 164                |
| LHS  | 95409-01-07-01 | 37.7       | 5.7             | 0.078       | 0.019            | 0.07                  | 180                |
| LHS  | 95409-01-07-02 | 38.0       | 5.7             | 0.059       | 0.015            | —                     | 188                |
| LHS  | 95409-01-08-00 | 35.9       | 5.4             | 0.056       | 0.014            | —                     | 198                |
| LHS  | 95409-01-08-01 | 36.1       | 5.4             | 0.056       | 0.014            | —                     | 209                |
| LHS  | 95409-01-08-02 | 37.2       | 5.6             | 0.071       | 0.018            | —                     | 229                |
| LHS  | 95409-01-08-03 | 36.0       | 5.4             | 0.066       | 0.016            | —                     | 246                |
| LHS  | 95409-01-09-04 | 36.1       | 5.4             | 0.053       | 0.013            | —                     | 249                |
| LHS  | 95409-01-09-05 | 35.3       | 5.3             | 0.054       | 0.014            | —                     | 262                |
| LHS  | 95409-01-09-00 | 35.8       | 5.4             | 0.054       | 0.013            | —                     | 261                |
| LHS  | 95409-01-09-06 | 36.3       | 5.4             | 0.066       | 0.017            | —                     | 275                |
| LHS  | 95409-01-09-01 | 37.4       | 5.6             | 0.074       | 0.019            | —                     | 277                |
| LHS  | 95409-01-09-02 | 35.2       | 5.3             | 0.061       | 0.015            | —                     | 291                |
| LHS  | 95409-01-09-03 | 34.5       | 5.2             | 0.040       | 0.010            | —                     | 306                |
| LHS  | 95409-01-10-00 | 34.4       | 5.2             | 0.044       | 0.011            | —                     | 332                |

Tablo 4.2 Devamı.

| Evre | Gözlem Num.    | RMS<br>(%) | RMS hata<br>(%) | MTS<br>(sn) | MTS hata<br>(sn) | Kırılma Frek.<br>(Hz) | PCU2<br>(Count/sn) |
|------|----------------|------------|-----------------|-------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| LHS  | 95409-01-10-01 | 33.5       | 5.0             | 0.045       | 0.011            | —                     | 333                |
| LHS  | 95409-01-10-02 | 33.4       | 5.0             | 0.077       | 0.019            | 0.08                  | 333                |
| LHS  | 95409-01-10-03 | 33.9       | 5.1             | 0.113       | 0.028            | 0.08                  | 346                |
| LHS  | 95409-01-10-04 | 33.0       | 4.9             | 0.052       | 0.013            | 0.10                  | 363                |
| LHS  | 95409-01-10-05 | 32.9       | 4.9             | 0.041       | 0.010            | 0.08                  | 392                |
| LHS  | 95409-01-10-06 | 32.5       | 4.9             | 0.041       | 0.010            | 0.08                  | 408                |
| LHS  | 95409-01-11-00 | 33.8       | 5.1             | 0.049       | 0.012            | 0.16                  | 415                |
| LHS  | 95409-01-11-01 | 32.9       | 4.9             | 0.057       | 0.014            | 0.16                  | 443                |
| LHS  | 95409-01-11-02 | 32.1       | 4.8             | 0.037       | 0.009            | 0.11                  | 482                |
| LHS  | 95409-01-11-03 | 33.6       | 5.0             | 0.039       | 0.010            | 0.12                  | 541                |
| LHS  | 95409-01-12-00 | 32.8       | 4.9             | 0.067       | 0.017            | 0.08                  | 576                |
| LHS  | 95409-01-12-01 | 32.6       | 4.9             | 0.041       | 0.010            | 0.10                  | 618                |
| LHS  | 95409-01-12-02 | 32.4       | 4.8             | 0.072       | 0.018            | 0.20                  | 656                |
| LHS  | 95409-01-12-04 | 31.9       | 4.8             | 0.065       | 0.016            | 0.20                  | 672                |
| LHS  | 95409-01-12-03 | 31.8       | 4.8             | 0.063       | 0.016            | 0.20                  | 681                |
| LHS  | 95409-01-13-03 | 30.8       | 4.6             | 0.034       | 0.009            | 0.19                  | 694                |
| LHS  | 95409-01-13-00 | 30.7       | 4.6             | 0.050       | 0.012            | 0.22                  | 712                |
| LHS  | 95409-01-13-04 | 30.9       | 4.6             | 0.034       | 0.008            | 0.20                  | 731                |
| LHS  | 95409-01-13-02 | 30.9       | 4.6             | 0.035       | 0.009            | 0.22                  | 751                |
| LHS  | 95409-01-13-05 | 29.7       | 4.4             | 0.037       | 0.009            | 0.30                  | 789                |
| LHS  | 95409-01-13-01 | 30.4       | 4.6             | 0.070       | 0.018            | 0.31                  | 799                |
| LHS  | 95409-01-13-06 | 29.2       | 4.4             | 0.036       | 0.009            | 0.37                  | 807                |
| HIMS | 95409-01-14-00 | 28.7       | 4.3             | 0.03        | 0.007            | 0.60                  | 788                |
| HIMS | 95409-01-14-01 | 26.0       | 3.9             | 0.036       | 0.009            | 0.80                  | 833                |
| HIMS | 95409-01-14-02 | 21.4       | 3.2             | 0.036       | 0.009            | 0.80                  | 881                |
| HIMS | 95409-01-14-03 | 20.4       | 3.1             | 0.033       | 0.008            | 0.50                  | 903                |
| HIMS | 95409-01-14-06 | 19.7       | 2.9             | 0.033       | 0.008            | 0.70                  | 936                |
| HIMS | 95409-01-14-04 | 19.6       | 2.9             | 0.033       | 0.008            | 0.70                  | 935                |
| HIMS | 95409-01-14-07 | 18.8       | 2.8             | 0.022       | 0.006            | 0.70                  | 957                |
| HIMS | 95409-01-14-05 | 18.0       | 2.7             | 0.024       | 0.006            | 1.00                  | 1000               |
| HIMS | 95409-01-15-00 | 17.3       | 2.6             | 0.025       | 0.006            | 1.00                  | 1020               |
| HIMS | 95409-01-15-01 | 14.6       | 2.2             | 0.022       | 0.006            | 1.20                  | 1078               |
| SIMS | 95409-01-15-02 | 9.9        | 1.5             | 0.006       | 0.002            | —                     | 1181               |
| SIMS | 95409-01-15-03 | 5.4        | 0.8             | 0.013       | 0.003            | —                     | 926                |
| SIMS | 95409-01-15-04 | 3.8        | 0.6             | 0.003       | 0.001            | —                     | 899                |
| SIMS | 95409-01-15-05 | 3.6        | 0.5             | 0.003       | 0.001            | —                     | 1038               |
| SIMS | 95409-01-15-06 | 7.1        | 1.1             | 0.003       | 0.001            | —                     | 1129               |
| SIMS | 95409-01-16-00 | 6.3        | 0.9             | 0.003       | 0.001            | —                     | 882                |
| SIMS | 95409-01-16-06 | 6.6        | 1.0             | 0.005       | 0.001            | —                     | 865                |
| SIMS | 95409-01-16-02 | 5.2        | 0.8             | 0.006       | 0.002            | —                     | 916                |
| SIMS | 95409-01-16-03 | 6.0        | 0.9             | 0.009       | 0.002            | —                     | 911                |
| SIMS | 95409-01-16-04 | 3.9        | 0.6             | 0.003       | 0.001            | —                     | 908                |
| SIMS | 95409-01-16-05 | 10.0       | 1.5             | 0.003       | 0.001            | —                     | 1031               |

Tablo 4.2 Devamı.

| Evre | Gözlem Num.    | RMS<br>(%) | RMS hata<br>(%) | MTS<br>(sn) | MTS hata<br>(sn) | Kırılma Frek.<br>(Hz) | PCU2<br>(Count/sn) |
|------|----------------|------------|-----------------|-------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| SIMS | 95409-01-17-00 | 9.4        | 1.4             | 0.003       | 0.001            | —                     | 1037               |
| SIMS | 95409-01-17-01 | 4.4        | 0.7             | 0.006       | 0.002            | —                     | 898                |
| SIMS | 95409-01-17-02 | 14.4       | 2.2             | 0.022       | 0.005            | —                     | 883                |
| SIMS | 95409-01-17-03 | 11.6       | 1.7             | 0.013       | 0.003            | —                     | 877                |
| SIMS | 95409-01-17-05 | 8.3        | 1.2             | 0.003       | 0.001            | —                     | 908                |
| SIMS | 95409-01-17-06 | 8.9        | 1.3             | 0.003       | 0.001            | —                     | 879                |
| SIMS | 95409-01-18-00 | 9.4        | 1.4             | 0.006       | 0.002            | —                     | 911                |
| SIMS | 95335-01-01-07 | 9.9        | 1.5             | 0.006       | 0.002            | —                     | 890                |
| SIMS | 95335-01-01-00 | 10.9       | 1.6             | 0.006       | 0.002            | —                     | 877                |
| SIMS | 95335-01-01-01 | 8.4        | 1.3             | 0.003       | 0.001            | —                     | 854                |
| SIMS | 95335-01-01-02 | 4.5        | 0.7             | 0.026       | 0.006            | —                     | 779                |
| SIMS | 95335-01-01-03 | 4.4        | 0.7             | 0.003       | 0.001            | —                     | 791                |
| SIMS | 95335-01-01-04 | 4.3        | 0.6             | 0.026       | 0.006            | —                     | 774                |
| SIMS | 95335-01-01-05 | 8.1        | 1.2             | 0.003       | 0.001            | —                     | 817                |
| SIMS | 95335-01-01-06 | 6.4        | 1.0             | 0.005       | 0.001            | —                     | 794                |
| SIMS | 95409-01-18-04 | 8.2        | 1.2             | 0.037       | 0.009            | —                     | 805                |
| SIMS | 95409-01-18-05 | 9.2        | 1.4             | 0.013       | 0.003            | —                     | 800                |
| SIMS | 95409-01-18-06 | 6.1        | 0.9             | 0.003       | 0.001            | —                     | 710                |
| SIMS | 95409-01-18-07 | 5.8        | 0.9             | 0.006       | 0.002            | —                     | 619                |
| SIMS | 95409-01-19-00 | 9.5        | 1.4             | 0.006       | 0.002            | —                     | 739                |
| HSS  | 95409-01-19-01 | 6.5        | 1.0             | 0.006       | 0.002            | —                     | 603                |
| HSS  | 95335-01-02-00 | 5.8        | 0.9             | 0.003       | 0.001            | —                     | 567                |
| HSS  | 95335-01-02-01 | 4.7        | 0.7             | 0.006       | 0.002            | —                     | 560                |
| HSS  | 95335-01-02-02 | 5.4        | 0.8             | 0.006       | 0.002            | —                     | 562                |
| HSS  | 95409-01-21-01 | 4.5        | 0.7             | 0.003       | 0.001            | —                     | 505                |
| HSS  | 95409-01-21-05 | 8.3        | 1.2             | 0.006       | 0.002            | —                     | 498                |
| HSS  | 95409-01-22-00 | 4.6        | 0.7             | 0.006       | 0.002            | —                     | 511                |
| HSS  | 95409-01-22-04 | 5.3        | 0.8             | 0.006       | 0.002            | —                     | 504                |
| HSS  | 95409-01-22-05 | 6.7        | 1.0             | 0.003       | 0.001            | —                     | 514                |
| HSS  | 95409-01-22-06 | 5.5        | 0.8             | 0.003       | 0.001            | —                     | 491                |
| HSS  | 95409-01-23-00 | 5.6        | 0.8             | 0.003       | 0.001            | —                     | 495                |
| HSS  | 95409-01-23-01 | 5.1        | 0.8             | 0.003       | 0.001            | —                     | 505                |
| HSS  | 95409-01-23-03 | 5.4        | 0.8             | 0.003       | 0.001            | —                     | 509                |
| HSS  | 95409-01-23-05 | 6.4        | 1.0             | 0.003       | 0.001            | —                     | 513                |
| HSS  | 95409-01-23-06 | 6.3        | 0.9             | 0.003       | 0.001            | —                     | 512                |
| HSS  | 95409-01-24-00 | 3.9        | 0.6             | 0.003       | 0.001            | —                     | 519                |
| HSS  | 95409-01-24-01 | 4.7        | 0.7             | 0.003       | 0.001            | —                     | 519                |
| HSS  | 95409-01-24-06 | 5.6        | 0.8             | 0.013       | 0.003            | —                     | 513                |
| HSS  | 95409-01-25-00 | 5.5        | 0.8             | 0.006       | 0.002            | —                     | 509                |
| HSS  | 95409-01-27-01 | 6.7        | 1.0             | 0.003       | 0.001            | —                     | 421                |
| HSS  | 95409-01-27-00 | 5.9        | 0.9             | 0.006       | 0.002            | —                     | 432                |
| HSS  | 95409-01-28-02 | 6.9        | 1.0             | 0.003       | 0.001            | —                     | 426                |
| HSS  | 95409-01-29-00 | 9.2        | 1.4             | 0.006       | 0.002            | —                     | 399                |

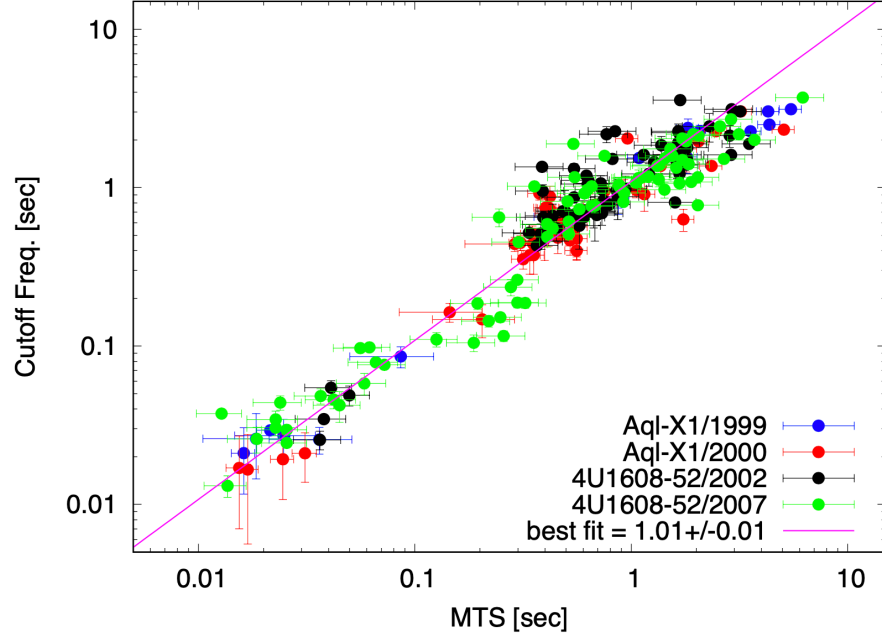
Tablo 4.2 Devamı.

| Evre | Gözlem Num.    | RMS<br>(%) | RMS hata<br>(%) | MTS<br>(sn) | MTS hata<br>(sn) | Kırılma Frek.<br>(Hz) | PCU2<br>(Count/sn) |
|------|----------------|------------|-----------------|-------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| HSS  | 95409-01-29-01 | 9.4        | 1.4             | 0.006       | 0.002            | —                     | 403                |
| HSS  | 95409-01-30-00 | 4.6        | 0.7             | 0.003       | 0.001            | —                     | 399                |
| HSS  | 95409-01-30-02 | 24.0       | 3.6             | 0.013       | 0.003            | —                     | 401                |
| HSS  | 95409-01-30-03 | 6.1        | 0.9             | 0.003       | 0.001            | —                     | 415                |
| HSS  | 95409-01-32-01 | 6.6        | 1.0             | 0.009       | 0.002            | —                     | 394                |
| HSS  | 95409-01-33-02 | 8.4        | 1.3             | 0.003       | 0.001            | —                     | 396                |
| HSS  | 95409-01-34-00 | 7.4        | 1.1             | 0.006       | 0.002            | —                     | 398                |
| HSS  | 95409-01-34-01 | 5.0        | 0.7             | 0.006       | 0.002            | —                     | 393                |
| HSS  | 95409-01-34-02 | 10.0       | 1.5             | 0.005       | 0.001            | —                     | 404                |
| HSS  | 95409-01-35-00 | 4.9        | 0.7             | 0.003       | 0.001            | —                     | 401                |
| HSS  | 95409-01-35-02 | 6.4        | 1.0             | 0.003       | 0.001            | —                     | 400                |
| HSS  | 95409-01-35-01 | 8.0        | 1.2             | 0.003       | 0.001            | —                     | 405                |
| HSS  | 95409-01-41-02 | 9.4        | 1.4             | 0.003       | 0.001            | —                     | 338                |
| HSS  | 95409-01-42-04 | 5.6        | 0.8             | 0.005       | 0.001            | —                     | 321                |
| HSS  | 95409-01-44-00 | 8.7        | 1.3             | 0.006       | 0.002            | —                     | 307                |
| HSS  | 96409-01-01-00 | 9.8        | 1.5             | 0.006       | 0.002            | —                     | 163                |
| HIMS | 96409-01-02-00 | 11.1       | 1.7             | 0.013       | 0.003            | —                     | 147                |
| HIMS | 96409-01-02-01 | 11.5       | 1.7             | 0.051       | 0.013            | —                     | 132                |
| HIMS | 96409-01-02-03 | 20.0       | 3.0             | 0.016       | 0.004            | —                     | 122                |
| HIMS | 96409-01-03-01 | 14.5       | 2.2             | 0.013       | 0.003            | —                     | 122                |
| HIMS | 96409-01-03-02 | 18.5       | 2.8             | 0.115       | 0.029            | —                     | 134                |
| HIMS | 96409-01-04-01 | 16.7       | 2.5             | 0.081       | 0.020            | —                     | 108                |
| HIMS | 96409-01-04-04 | 12.0       | 1.8             | 0.006       | 0.002            | —                     | 120                |
| HIMS | 96409-01-04-05 | 12.7       | 1.9             | 0.051       | 0.013            | —                     | 109                |
| HIMS | 96409-01-04-03 | 15.7       | 2.4             | 0.006       | 0.002            | —                     | 98                 |
| HIMS | 96409-01-04-07 | 21.6       | 3.2             | 0.072       | 0.018            | —                     | 98                 |
| HIMS | 96409-01-04-08 | 22.0       | 3.3             | 0.043       | 0.011            | —                     | 87                 |
| HIMS | 96409-01-05-00 | 21.9       | 3.3             | 0.018       | 0.005            | —                     | 93                 |
| HIMS | 96409-01-05-04 | 24.3       | 3.6             | 0.102       | 0.026            | —                     | 90                 |
| HIMS | 96409-01-05-01 | 14.3       | 2.1             | 0.006       | 0.002            | —                     | 98                 |
| HIMS | 96409-01-05-02 | 20.4       | 3.1             | 0.013       | 0.003            | —                     | 89                 |
| HIMS | 96409-01-05-03 | 25.6       | 3.8             | 0.051       | 0.013            | —                     | 86                 |
| HIMS | 96409-01-06-00 | 24.5       | 3.7             | 0.037       | 0.009            | —                     | 82                 |
| HIMS | 96409-01-06-01 | 40.1       | 6.0             | 0.016       | 0.004            | —                     | 77                 |
| LHS  | 96409-01-06-02 | 28.5       | 4.3             | 0.152       | 0.038            | —                     | 68                 |
| LHS  | 96409-01-07-00 | 30.4       | 4.6             | 0.155       | 0.039            | —                     | 60                 |
| LHS  | 96409-01-07-03 | 32.7       | 4.9             | 0.132       | 0.033            | —                     | 56                 |
| LHS  | 96409-01-07-01 | 35.8       | 5.4             | 0.159       | 0.040            | —                     | 49                 |
| LHS  | 96409-01-07-02 | 35.5       | 5.3             | 0.197       | 0.049            | —                     | 43                 |
| LHS  | 96409-01-07-04 | 36.0       | 5.4             | 0.177       | 0.044            | —                     | 34                 |
| LHS  | 96409-01-08-00 | 33.9       | 5.1             | 0.260       | 0.065            | —                     | 27                 |
| LHS  | 96409-01-08-02 | 38.8       | 5.8             | 0.348       | 0.087            | —                     | 21                 |
| LHS  | 96409-01-08-01 | 39.3       | 5.9             | 0.364       | 0.091            | —                     | 18                 |
| LHS  | 96409-01-08-03 | 47.5       | 7.1             | 0.616       | 0.154            | —                     | 17                 |
| LHS  | 96409-01-09-00 | 45.1       | 6.8             | 0.618       | 0.155            | —                     | 16                 |

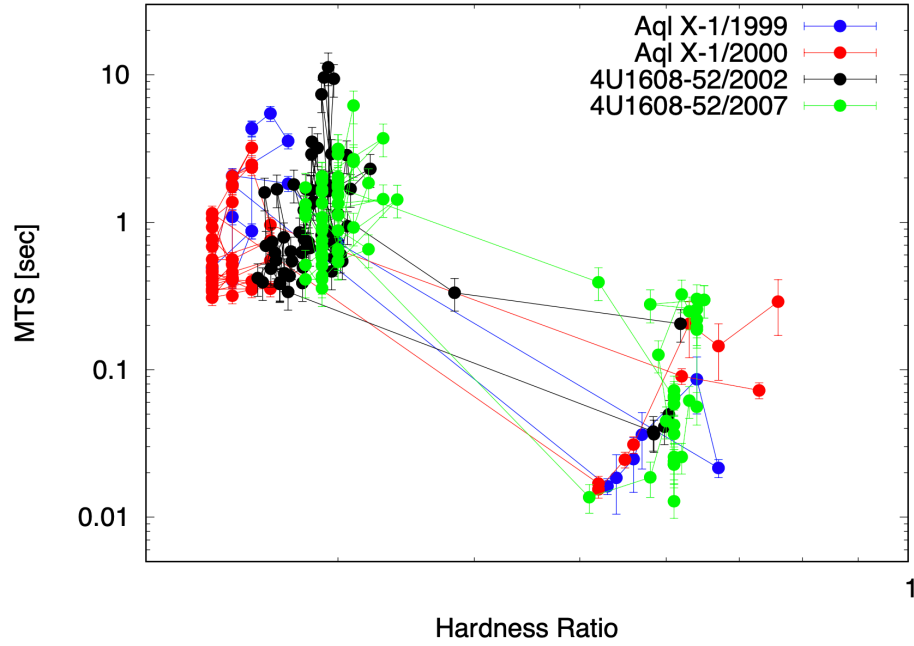
#### 4.6. 4U 1608-52 VE AQL X-1' İN MTS' İN KESİLİM FREKANSI VE SERTLİK İLE İLİŞKİSİ

Daha önce de bahsedildiği üzere MTS, ışık eğrisindeki Poisson gürültüsü üzerindeki dalgalanmayla tutarlı olan en küçük zamansal özellik olarak yorumlanmaktadır. Dahası, bu zaman ölçeğinin, bir QPO ya da altta yatan diğer bazı rezonans benzeri davranışlar gibi herhangi bir tayfsal özellikten ziyade süreklilik ile ilintili olduğu düşünülmektedir. Frekans uzayında MTS, gürültü eşiği veya hemen üzerindeki sinyalin en yüksek frekans bileşenine eşdeğerliği olarak da tanımlanabilir. Yukarıda bahsedilen bu bağıntının geçerliliğini araştırabilmek için, bu tez kapsamında çalışılan 4U 1608-52 ve Aql X-1 kaynakları için düşük çözünürlüklü ışık eğrilerinden Fourier tekniği kullanılarak PSD'ler oluşturulmuştur. Elde edilen bu PSD'ler kırık güç kanunu (BPL) ile modellenip kesilim frekansları elde edilmiştir. Kesilim frekansı, kırmızı ve beyaz gürültü bileşenlerinin kesişimi olarak tanımlanan sinyal-gürültü eşiğine karşılık gelir. BPL ile modellenmiş PSD' nin bir örneği Şekil 4.15'de gösterilmektedir. 4U 1608-52 (2002 ve 2007 parlaması) ve Aql X-1' in (1999 ve 2000 parlaması) PSD'lerinden elde edilen kesilim frekansı - MTS ve MTS - sertlik grafikleri Şekil 4.13 ve 4.14' de gösterilmiştir. Bu grafiklerde MTS ile kesilim frekansı arasında güçlü bir pozitif korelasyon açıkça görülmektedir. İlginç bir şekilde, iki kaynağın farklı parlamalarına karşılık gelen histerezis döngüleri, sertlik oranlarının fonksiyonu olarak önemli farklılıklar gösterirken, MTS-kesilim frekansı korelasyonunun evrensel olduğu görülmektedir ve MTS-kesilim frekansı grafiğine en uygun modelin eğimi  $1.01 \pm 0.01$  olarak bulunmuştur. Kaynakların farklı parlama döngüleri için elde zaman ölçeği  $\sim 10$  ms ile 10 s arasındadır; bu zaman ölçekleri termal ve viskoz zaman ölçekleri grubuna girmektedir ve gözlemlenen yayınımda yığılma diskinin güçlü bir rolü olduğunu gösterir. Dikkat çekici olarak Şekil 4.14' de yumuşak evre daha büyük MTS sergilerken ve sert evrenin daha küçük MTS değerlerine karşılık geldiği görülmektedir. Bu durumun ilk bakışta bu tez kapsamında incelenen (Sonbaş ve diğ. 2020) ve bir KD çifti olan GX 339-4 kaynağı için elde edilen bulgularla çeliştiği görülmüştür. Bu görünür tutarsızlık, KD-DKXÇ'lerden farklı olarak, NY-DKXÇ'nde NY yüzeyinin varlığı nedeniyle yüksek/yumuşak evreye girememesinin neden olduğu düşünülmektedir (Done ve Gierliński (2003)). Ayrıca, en iyi uyum gösteren fitten elde edilen ofsetin sıfır ile uyumlu bulunmuş olması ( $3\sigma$  dahilinde) her iki zaman ölçeğinin eşdeğer olduğuna dair güçlü kanıtlar sağlar ve sinyal-gürültü eşiğini temsil ettikleri varsayımını doğrulamaktadır. Ayrıca Şekil 4.15' de 4U 1608-52 kaynağının bir gözlemine ait PDS' nin bir BPL ile modellenmesi gösterilmiştir. 4U 1608-52 (2002 ve

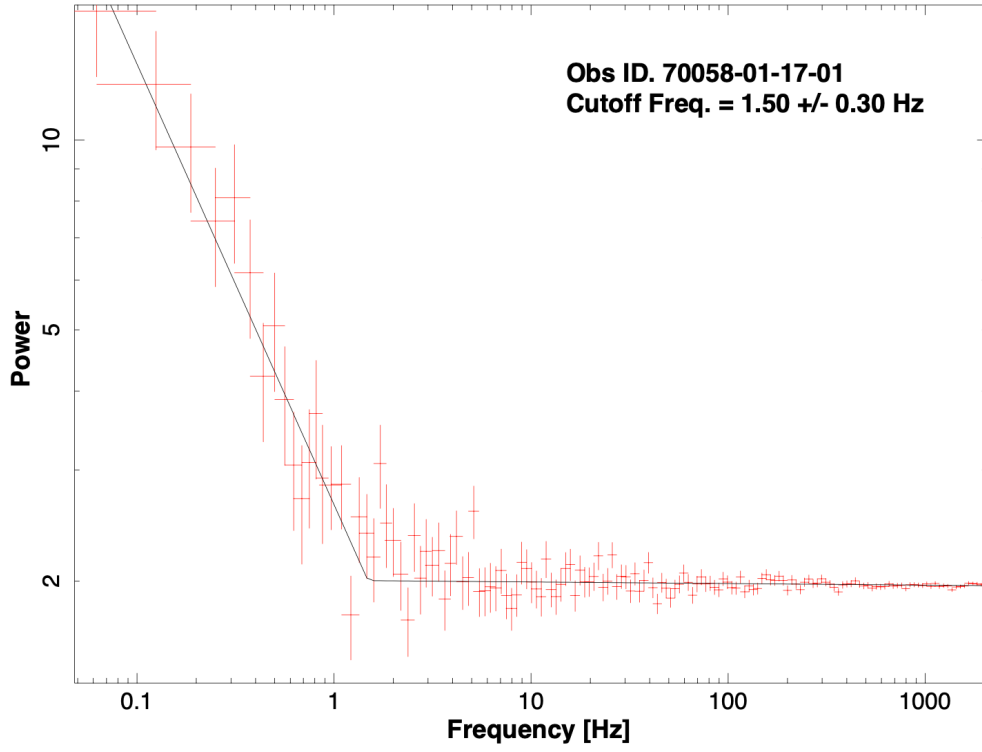
2007 parlaması) ve Aql X-1' in (1999 ve 2000 parlaması) analizlerinden elde edilen değerler sırasıyla Tablo 4.3 ve Tablo 4.4' de verilmiştir.



Şekil 4.13: Kesilim (cutoff) frekansına karşı MTS' in değişimi. Pembe çizgi veri ile en iyi uyumu temsil etmektedir.



Şekil 4.14: Birkaç histerezis döngüsü için MTS - Sertlik oranı: sert ve yumuşak evreler iyi ayrılmıştır.



**Şekil 4.15:** 4U 1608-52 kaynağının 70058-01-17-01 gözlemi için elde edilmiş PSD' nin BPL ile modellenmesi.

**Tablo 4.3:** 4U 1608-52 kaynağının 2002 ve 2007 parlamasının kesilim frekansı (cutoff) ve MTS değerler tablosu .

| Gözlem Num.    | Kesilim Frekansı<br>(Hz) | Kesilim Frek. Hata<br>(Hz) | MTS<br>(sn) | MTS hata<br>(sn) |
|----------------|--------------------------|----------------------------|-------------|------------------|
| 70058-01-07-00 | 2.320                    | 0.37                       | 0.367       | 0.092            |
| 70058-01-10-00 | 20.47                    | 1.43                       | 0.050       | 0.012            |
| 70058-01-11-00 | 18.33                    | 1.73                       | 0.041       | 0.010            |
| 70058-01-12-00 | 39.20                    | 2.93                       | 0.037       | 0.009            |
| 70058-01-13-00 | 28.95                    | 5.79                       | 0.038       | 0.010            |
| 70059-01-01-03 | 1.540                    | 0.37                       | 0.392       | 0.098            |
| 70059-01-01-02 | 1.030                    | 0.21                       | 0.732       | 0.183            |
| 70058-01-15-00 | 1.930                    | 0.38                       | 0.337       | 0.084            |
| 70058-01-16-00 | 1.710                    | 0.21                       | 0.418       | 0.104            |
| 70058-01-17-00 | 1.400                    | 0.57                       | 0.621       | 0.155            |
| 70058-01-17-01 | 1.490                    | 0.29                       | 0.693       | 0.173            |
| 70058-01-19-01 | 1.240                    | 0.25                       | 1.594       | 0.399            |
| 70059-01-03-00 | 1.470                    | 0.29                       | 0.552       | 0.138            |
| 70059-01-03-01 | 1.950                    | 0.13                       | 0.382       | 0.096            |

**Tablo 4.3 Devamı.**

| Gözlem Num.    | Kesilim Frekansı<br>(Hz) | Kesilim Frek. Hata<br>(Hz) | MTS<br>(sn) | MTS hata<br>(sn) |
|----------------|--------------------------|----------------------------|-------------|------------------|
| 70059-01-03-02 | 2.190                    | 0.20                       | 0.385       | 0.096            |
| 70058-01-20-00 | 1.280                    | 0.14                       | 0.792       | 0.198            |
| 70059-01-04-00 | 1.410                    | 0.08                       | 0.484       | 0.121            |
| 70058-01-21-00 | 1.050                    | 0.11                       | 0.391       | 0.098            |
| 70059-01-05-00 | 1.810                    | 0.11                       | 0.451       | 0.113            |
| 70058-01-22-00 | 0.820                    | 0.16                       | 1.667       | 0.417            |
| 70058-01-23-01 | 0.760                    | 0.10                       | 0.545       | 0.136            |
| 70058-01-23-00 | 1.510                    | 0.08                       | 0.434       | 0.109            |
| 70059-01-07-00 | 1.410                    | 0.04                       | 0.493       | 0.123            |
| 70058-01-25-00 | 0.900                    | 0.16                       | 0.633       | 0.158            |
| 70059-01-08-00 | 1.410                    | 0.04                       | 0.680       | 0.170            |
| 70058-01-24-00 | 1.150                    | 0.23                       | 0.545       | 0.136            |
| 70059-01-09-00 | 1.740                    | 0.06                       | 0.577       | 0.144            |
| 70058-01-26-00 | 0.660                    | 0.07                       | 1.809       | 0.452            |
| 70059-01-10-00 | 1.450                    | 0.09                       | 0.733       | 0.183            |
| 70058-01-27-00 | 0.460                    | 0.04                       | 0.768       | 0.192            |
| 70059-01-11-00 | 1.040                    | 0.07                       | 0.854       | 0.213            |
| 70058-01-28-00 | 0.950                    | 0.09                       | 0.629       | 0.157            |
| 70059-01-12-00 | 0.560                    | 0.11                       | 1.817       | 0.454            |
| 70058-01-29-00 | 1.540                    | 0.15                       | 0.603       | 0.151            |
| 70059-01-13-00 | 1.020                    | 0.05                       | 0.944       | 0.236            |
| 70058-01-30-00 | 0.620                    | 0.09                       | 1.689       | 0.422            |
| 70059-01-14-01 | 0.440                    | 0.04                       | 1.650       | 0.413            |
| 70059-01-14-00 | 1.210                    | 0.09                       | 0.745       | 0.186            |
| 70058-01-31-00 | 0.620                    | 0.12                       | 2.900       | 0.725            |
| 70059-01-15-00 | 1.140                    | 0.04                       | 0.867       | 0.217            |
| 70058-01-32-00 | 0.690                    | 0.07                       | 1.279       | 0.320            |
| 70059-01-16-00 | 0.820                    | 0.05                       | 1.208       | 0.302            |
| 70058-01-33-01 | 0.740                    | 0.15                       | 0.388       | 0.097            |
| 70058-01-33-00 | 0.840                    | 0.17                       | 0.619       | 0.155            |
| 70059-01-17-01 | 0.330                    | 0.07                       | 3.188       | 0.797            |
| 70059-01-17-00 | 0.520                    | 0.10                       | 1.655       | 0.414            |
| 70059-01-17-02 | 0.530                    | 0.11                       | 3.522       | 0.881            |
| 70058-01-34-00 | 0.940                    | 0.08                       | 0.725       | 0.181            |
| 70059-01-18-00 | 1.430                    | 0.07                       | 0.668       | 0.167            |
| 70058-01-35-00 | 0.450                    | 0.04                       | 1.666       | 0.417            |
| 70059-01-19-00 | 0.540                    | 0.04                       | 1.382       | 0.345            |
| 70058-01-36-00 | 0.660                    | 0.11                       | 0.819       | 0.205            |
| 70058-01-37-00 | 0.440                    | 0.09                       | 0.841       | 0.210            |
| 70058-01-38-00 | 0.710                    | 0.08                       | 1.767       | 0.442            |
| 70059-01-22-00 | 0.720                    | 0.04                       | 1.628       | 0.407            |
| 70059-03-02-00 | 0.320                    | 0.06                       | 2.919       | 0.730            |
| 70059-03-02-02 | 0.530                    | 0.11                       | 1.781       | 0.445            |
| 70058-01-39-00 | 0.410                    | 0.02                       | 2.307       | 0.577            |

**Tablo 4.3 Devamı.**

| Gözlem Num.    | Kesilim Frekansı<br>(Hz) | Kesilim Frek. Hata<br>(Hz) | MTS<br>(sn) | MTS hata<br>(sn) |
|----------------|--------------------------|----------------------------|-------------|------------------|
| 70069-01-01-01 | 0.280                    | 0.06                       | 1.688       | 0.422            |
| 70059-01-23-00 | 0.470                    | 0.03                       | 2.845       | 0.711            |
| 70069-01-01-02 | 0.620                    | 0.40                       | 1.141       | 0.285            |
| 93408-01-11-02 | 5.320                    | 0.72                       | 0.298       | 0.074            |
| 93408-01-11-04 | 6.960                    | 0.83                       | 0.220       | 0.055            |
| 93408-01-11-03 | 5.380                    | 0.62                       | 0.194       | 0.049            |
| 93408-01-12-03 | 9.540                    | 0.80                       | 0.187       | 0.047            |
| 93408-01-12-00 | 3.820                    | 0.64                       | 0.297       | 0.074            |
| 93408-01-12-01 | 4.250                    | 0.36                       | 0.279       | 0.070            |
| 93408-01-12-02 | 8.650                    | 1.13                       | 0.258       | 0.065            |
| 93408-01-13-01 | 6.590                    | 0.95                       | 0.249       | 0.062            |
| 93408-01-13-02 | 5.350                    | 0.71                       | 0.323       | 0.081            |
| 93408-01-13-03 | 9.100                    | 0.87                       | 0.126       | 0.031            |
| 93408-01-14-00 | 22.80                    | 2.17                       | 0.024       | 0.006            |
| 93408-01-14-01 | 32.84                    | 3.00                       | 0.023       | 0.006            |
| 93408-01-14-03 | 21.83                    | 1.75                       | 0.042       | 0.011            |
| 93408-01-14-02 | 29.12                    | 2.24                       | 0.023       | 0.006            |
| 93408-01-15-00 | 13.13                    | 2.37                       | 0.072       | 0.018            |
| 93408-01-15-01 | 17.21                    | 1.11                       | 0.058       | 0.015            |
| 93408-01-15-02 | 12.67                    | 5.49                       | 0.066       | 0.017            |
| 93408-01-16-00 | 20.69                    | 1.85                       | 0.037       | 0.009            |
| 93408-01-16-01 | 23.69                    | 1.08                       | 0.045       | 0.011            |
| 93408-01-16-02 | 38.66                    | 2.10                       | 0.019       | 0.005            |
| 93408-01-17-00 | 76.29                    | 4.92                       | 0.014       | 0.003            |
| 93408-01-17-01 | 0.730                    | 0.15                       | 1.317       | 0.329            |
| 93408-01-18-00 | 0.980                    | 0.20                       | 0.357       | 0.089            |
| 93408-01-18-04 | 1.960                    | 0.24                       | 0.516       | 0.129            |
| 93408-01-18-01 | 1.030                    | 0.09                       | 1.426       | 0.357            |
| 93408-01-18-05 | 1.700                    | 0.23                       | 0.410       | 0.102            |
| 93408-01-18-06 | 2.050                    | 0.15                       | 0.410       | 0.102            |
| 93408-01-18-07 | 1.640                    | 0.10                       | 0.516       | 0.129            |
| 93408-01-18-08 | 1.300                    | 0.13                       | 0.678       | 0.170            |
| 93408-01-18-09 | 1.810                    | 0.23                       | 0.432       | 0.108            |
| 93408-01-18-02 | 1.370                    | 0.27                       | 0.575       | 0.144            |
| 93408-01-19-00 | 1.290                    | 0.41                       | 2.038       | 0.509            |
| 93408-01-19-01 | 0.890                    | 0.09                       | 1.341       | 0.335            |
| 93408-01-19-02 | 0.650                    | 0.11                       | 1.432       | 0.358            |
| 93408-01-19-03 | 0.870                    | 0.21                       | 1.107       | 0.277            |
| 93408-01-19-06 | 0.670                    | 0.67                       | 1.718       | 0.429            |
| 93408-01-19-07 | 0.850                    | 0.17                       | 1.202       | 0.300            |
| 93408-01-19-05 | 0.630                    | 0.11                       | 0.753       | 0.188            |
| 93408-01-19-04 | 0.930                    | 0.14                       | 1.054       | 0.264            |
| 93408-01-19-08 | 0.980                    | 0.20                       | 0.658       | 0.165            |

**Tablo 4.3 Devamı.**

| Gözlem Num.    | Kesilim Frekansı<br>(Hz) | Kesilim Frek. Hata<br>(Hz) | MTS<br>(sn) | MTS hata<br>(sn) |
|----------------|--------------------------|----------------------------|-------------|------------------|
| 93408-01-19-10 | 0.860                    | 0.16                       | 0.548       | 0.137            |
| 93408-01-19-12 | 1.220                    | 0.24                       | 0.506       | 0.127            |
| 93408-01-19-13 | 0.720                    | 0.14                       | 1.349       | 0.337            |
| 93408-01-19-14 | 0.470                    | 0.07                       | 2.044       | 0.511            |
| 93408-01-19-15 | 0.870                    | 0.07                       | 1.080       | 0.270            |
| 93408-01-20-00 | 1.080                    | 0.10                       | 0.931       | 0.233            |
| 93408-01-20-01 | 0.750                    | 0.12                       | 1.617       | 0.404            |
| 93408-01-20-02 | 0.990                    | 0.16                       | 0.881       | 0.220            |
| 93408-01-20-03 | 1.090                    | 0.09                       | 0.607       | 0.152            |
| 93408-01-20-04 | 1.030                    | 0.18                       | 0.630       | 0.158            |
| 93408-01-20-07 | 0.510                    | 0.10                       | 1.787       | 0.447            |
| 93408-01-20-05 | 0.500                    | 0.10                       | 3.714       | 0.929            |
| 93408-01-20-08 | 0.860                    | 0.16                       | 2.029       | 0.507            |
| 93408-01-20-06 | 0.920                    | 0.18                       | 1.899       | 0.475            |
| 93408-01-21-00 | 0.940                    | 0.19                       | 1.675       | 0.419            |
| 93408-01-21-01 | 1.310                    | 0.26                       | 0.657       | 0.164            |
| 93408-01-21-03 | 0.370                    | 0.07                       | 2.897       | 0.724            |
| 93408-01-21-05 | 0.860                    | 0.06                       | 1.119       | 0.280            |
| 93408-01-22-00 | 0.460                    | 0.08                       | 3.148       | 0.787            |
| 93408-01-22-01 | 0.530                    | 0.11                       | 0.542       | 0.135            |
| 93408-01-22-02 | 0.660                    | 0.13                       | 2.680       | 0.670            |
| 93408-01-22-03 | 0.960                    | 0.19                       | 0.880       | 0.220            |
| 93408-01-22-04 | 0.630                    | 0.13                       | 1.549       | 0.387            |
| 93408-01-22-07 | 0.570                    | 0.09                       | 1.513       | 0.378            |
| 93408-01-22-06 | 0.460                    | 0.09                       | 1.936       | 0.484            |
| 93408-01-22-08 | 0.270                    | 0.06                       | 6.208       | 1.552            |
| 93408-01-22-09 | 0.410                    | 0.09                       | 2.567       | 0.642            |
| 93408-01-22-12 | 0.710                    | 0.11                       | 1.839       | 0.460            |
| 93408-01-22-11 | 1.230                    | 0.25                       | 0.920       | 0.230            |
| 93408-01-23-00 | 0.490                    | 0.28                       | 1.725       | 0.431            |
| 93408-01-23-02 | 1.540                    | 0.12                       | 0.246       | 0.061            |
| 93408-01-23-06 | 26.69                    | 6.42                       | 0.013       | 0.003            |
| 93408-01-23-07 | 33.81                    | 16.5                       | 0.026       | 0.006            |
| 93408-01-23-08 | 40.96                    | 7.16                       | 0.026       | 0.006            |
| 93408-01-23-01 | 10.19                    | 2.57                       | 0.062       | 0.015            |
| 93408-01-24-00 | 10.32                    | 3.79                       | 0.056       | 0.014            |
| 93408-01-24-01 | 2.210                    | 0.76                       | 0.301       | 0.075            |

**Tablo 4.4:** Aql X-1' ın 1999 ve 2000 parlamaları için kesilim frekansı (Cutoff) ve MTS değerleri tablosu.

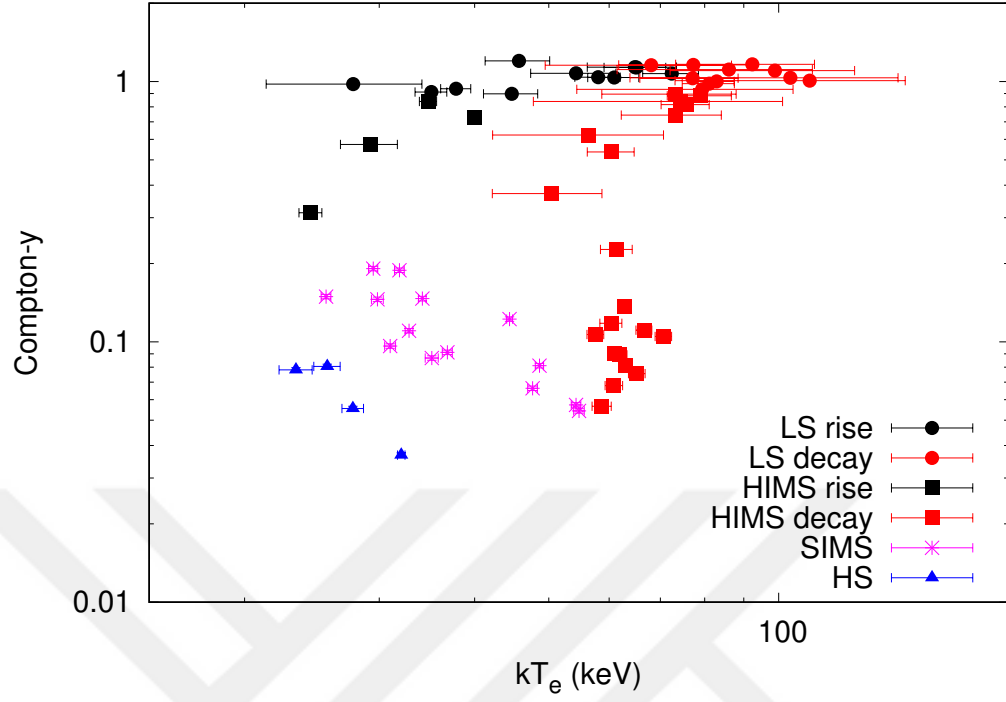
| Gözlem Num.    | Kesilim Frekansı<br>(Hz) | Kesilim Frek. Hata<br>(Hz) | MTS<br>(sn) | MTS hata<br>(sn) |
|----------------|--------------------------|----------------------------|-------------|------------------|
| 40047-01-01-00 | 47.53                    | 1.06                       | 0.016       | 0.002            |
| 40047-01-01-02 | 0.640                    | 0.03                       | 1.809       | 0.213            |
| 40047-02-01-00 | 1.460                    | 0.06                       | 0.491       | 0.058            |
| 40047-02-02-00 | 1.140                    | 0.05                       | 0.872       | 0.103            |
| 40047-02-03-00 | 1.530                    | 0.13                       | 0.404       | 0.048            |
| 40047-02-03-01 | 0.650                    | 0.10                       | 1.085       | 0.128            |
| 40047-02-04-00 | 1.200                    | 0.11                       | 0.874       | 0.103            |
| 40047-02-05-00 | 0.330                    | 0.07                       | 4.307       | 0.508            |
| 40047-03-01-00 | 0.400                    | 0.08                       | 4.357       | 0.514            |
| 40047-03-02-00 | 0.320                    | 0.06                       | 5.468       | 0.644            |
| 40047-03-03-00 | 0.440                    | 0.09                       | 3.553       | 0.419            |
| 40047-03-04-00 | 0.440                    | 0.05                       | 2.080       | 0.245            |
| 40047-03-05-00 | 0.420                    | 0.03                       | 1.831       | 0.216            |
| 40047-03-08-00 | 34.01                    | 6.96                       | 0.022       | 0.003            |
| 40049-01-01-02 | 11.65                    | 0.77                       | 0.086       | 0.036            |
| 40049-01-02-00 | 38.96                    | 2.04                       | 0.036       | 0.015            |
| 40049-01-02-01 | 36.76                    | 1.38                       | 0.025       | 0.010            |
| 40049-01-02-02 | 38.48                    | 0.87                       | 0.018       | 0.008            |
| 50049-01-03-00 | 2.270                    | 0.22                       | 0.290       | 0.119            |
| 50049-01-03-01 | 6.120                    | 0.45                       | 0.145       | 0.060            |
| 50049-01-03-02 | 6.790                    | 0.29                       | 0.205       | 0.084            |
| 50049-01-04-00 | 47.56                    | 1.38                       | 0.031       | 0.004            |
| 50049-01-04-01 | 51.89                    | 1.17                       | 0.025       | 0.003            |
| 50049-01-04-02 | 58.80                    | 1.00                       | 0.015       | 0.002            |
| 50049-01-04-03 | 60.22                    | 0.91                       | 0.017       | 0.002            |
| 50049-01-04-04 | 1.100                    | 0.05                       | 1.149       | 0.135            |
| 50049-01-05-00 | 1.140                    | 0.07                       | 0.422       | 0.050            |
| 50049-01-05-01 | 1.490                    | 0.30                       | 0.551       | 0.065            |
| 50049-01-05-02 | 1.350                    | 0.27                       | 0.418       | 0.049            |
| 50049-02-01-00 | 2.120                    | 0.08                       | 0.399       | 0.047            |
| 50049-02-02-00 | 2.670                    | 0.11                       | 0.340       | 0.040            |
| 50049-02-03-00 | 1.340                    | 0.11                       | 0.402       | 0.047            |
| 50049-02-03-01 | 1.930                    | 0.11                       | 0.416       | 0.049            |
| 50049-02-03-02 | 2.260                    | 0.13                       | 0.352       | 0.042            |
| 50049-02-04-00 | 2.670                    | 0.11                       | 0.353       | 0.042            |
| 50049-02-05-00 | 1.450                    | 0.06                       | 0.406       | 0.048            |
| 50049-02-06-00 | 2.830                    | 0.21                       | 0.317       | 0.037            |
| 50049-02-06-01 | 1.800                    | 0.18                       | 0.459       | 0.054            |
| 50049-02-06-02 | 2.230                    | 0.21                       | 0.308       | 0.036            |
| 50049-02-07-00 | 1.960                    | 0.16                       | 0.349       | 0.041            |
| 50049-02-07-01 | 2.070                    | 0.10                       | 0.458       | 0.054            |

**Tablo 4.4 Devamı.**

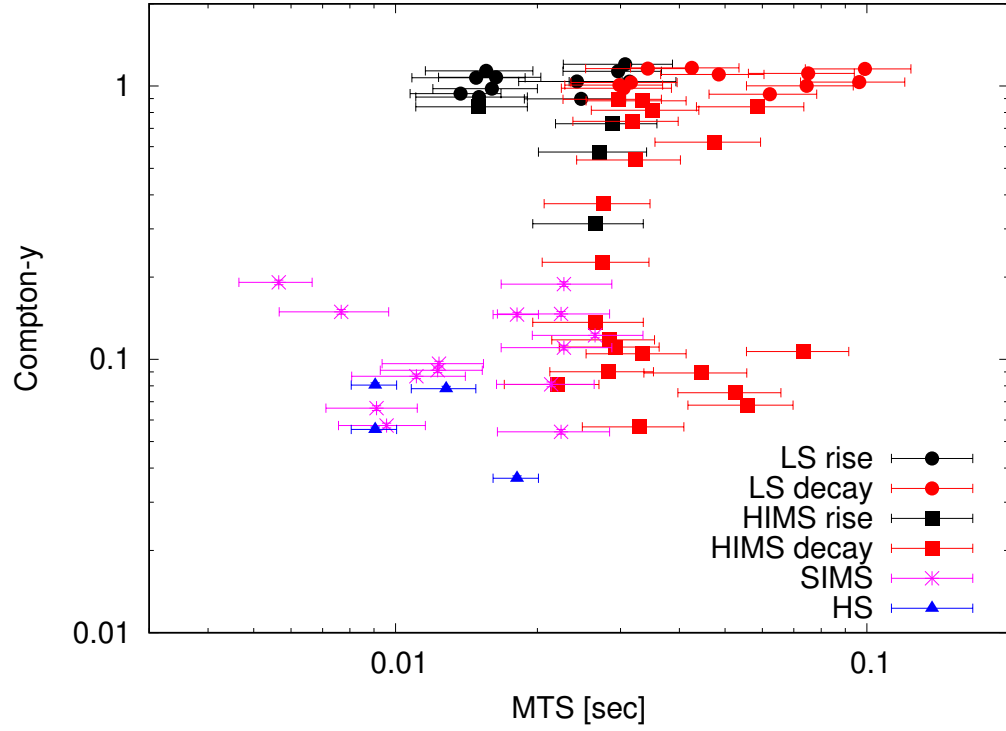
| Gözlem Num.    | Kesilim Frekansı<br>(Hz) | Kesilim Frek. Hata<br>(Hz) | MTS<br>(sn) | MTS hata<br>(sn) |
|----------------|--------------------------|----------------------------|-------------|------------------|
| 50049-02-07-02 | 1.340                    | 0.27                       | 0.413       | 0.049            |
| 50049-02-07-03 | 1.090                    | 0.12                       | 0.377       | 0.044            |
| 50049-02-07-04 | 2.000                    | 0.14                       | 0.516       | 0.061            |
| 50049-02-08-00 | 2.100                    | 0.08                       | 0.561       | 0.066            |
| 50049-02-08-01 | 1.050                    | 0.21                       | 0.756       | 0.089            |
| 50049-02-08-03 | 2.500                    | 0.19                       | 0.561       | 0.066            |
| 50049-02-10-00 | 1.770                    | 0.05                       | 0.561       | 0.066            |
| 50049-02-10-01 | 1.260                    | 0.14                       | 0.768       | 0.090            |
| 50049-02-10-02 | 1.570                    | 0.15                       | 0.472       | 0.056            |
| 50049-02-10-03 | 1.520                    | 0.12                       | 0.500       | 0.059            |
| 50049-02-10-05 | 1.590                    | 0.10                       | 1.742       | 0.205            |
| 50049-02-11-00 | 2.150                    | 0.11                       | 0.522       | 0.062            |
| 50049-02-11-01 | 1.020                    | 0.07                       | 0.927       | 0.109            |
| 50049-02-11-02 | 1.280                    | 0.25                       | 0.685       | 0.081            |
| 50049-02-12-00 | 0.730                    | 0.04                       | 1.373       | 0.162            |
| 50049-02-12-01 | 1.040                    | 0.10                       | 1.060       | 0.125            |
| 50049-02-13-00 | 0.330                    | 0.05                       | 3.208       | 0.378            |
| 50049-02-14-00 | 0.570                    | 0.02                       | 1.790       | 0.211            |
| 50049-02-15-00 | 0.440                    | 0.09                       | 2.467       | 0.291            |
| 50049-02-15-01 | 0.510                    | 0.10                       | 2.051       | 0.242            |
| 50049-02-15-02 | 0.730                    | 0.15                       | 2.351       | 0.277            |
| 50049-02-15-03 | 0.430                    | 0.09                       | 5.070       | 0.597            |
| 50049-02-15-08 | 0.490                    | 0.10                       | 0.959       | 0.113            |

#### 4.7. GX 339-4 İÇİN TAYFSAL ANALİZLER

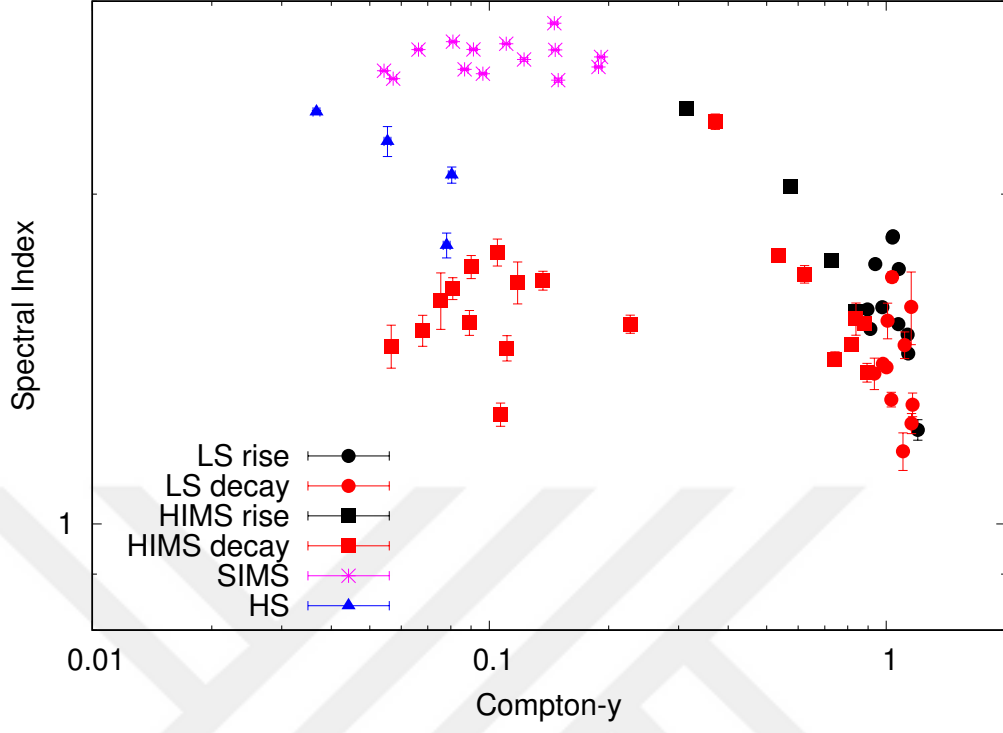
GX 339-4 kaynağının RXTE/PCA verilerinin tayflarının COMPPS ve PL modeli ile fitinden elde edilen parametreler arasındaki ve MTS' e karşı davranışına bakılmıştır. Tayfsal indis - Compton-y arasındaki ilişkiye kaynağın farklı evreleri için nasıl davranış gösterdiğinin anlaşılması için bakılmıştır. Ayrıca GX 339-4 kaynağının yüksek ışıma bölgesinde diğer karadelik çiftleri ile uyumlu olduğu görülebilen tayfsal indis ve  $X - \gamma$  ışın ışıma gücü ilişkisine bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.16 - 4.22' de verilmiştir.



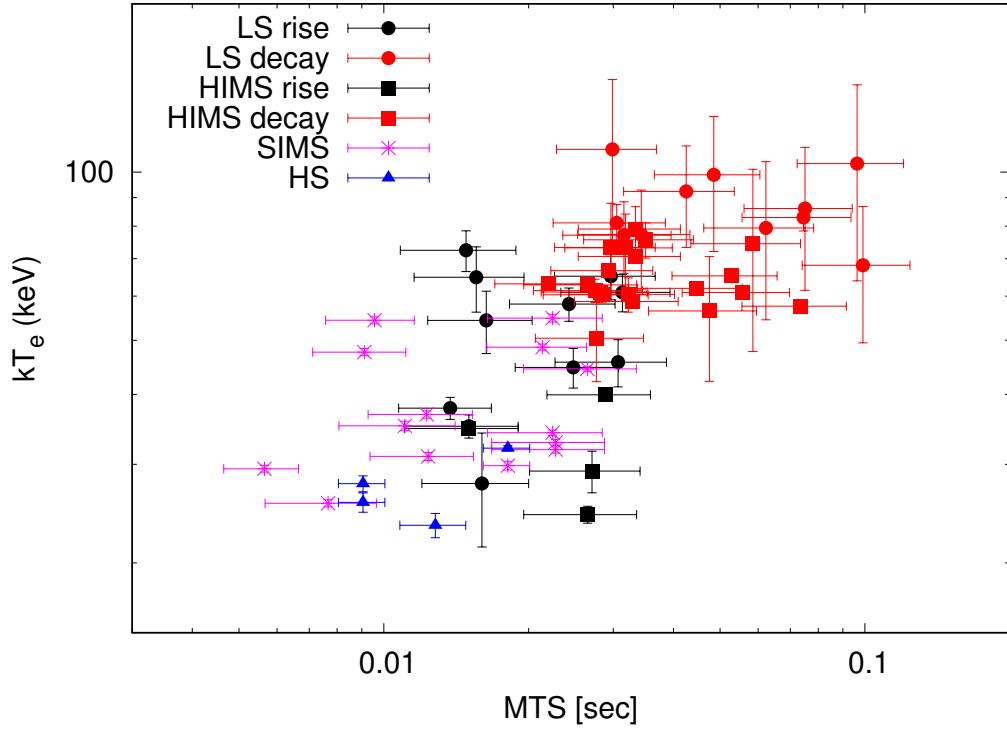
Şekil 4.16: GX 339-4 için  $kT_e$  parametresinin Compton-y parametresine bağlı değişimi.



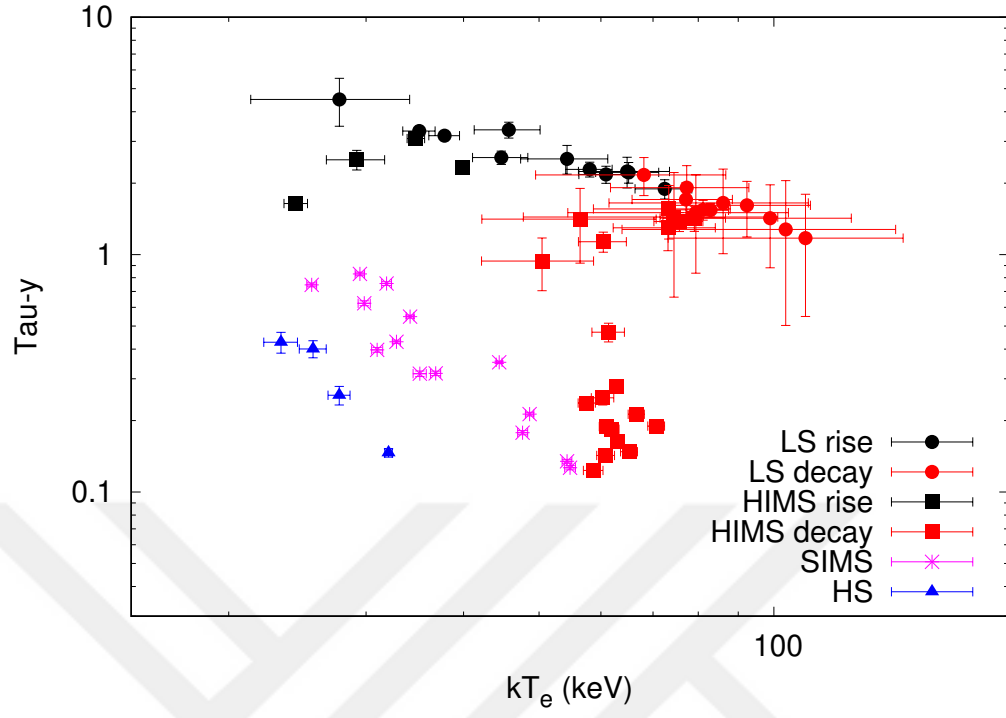
Şekil 4.17: GX 339-4 için MTS parametresinin Compton-y parametresine bağlı değişimi.



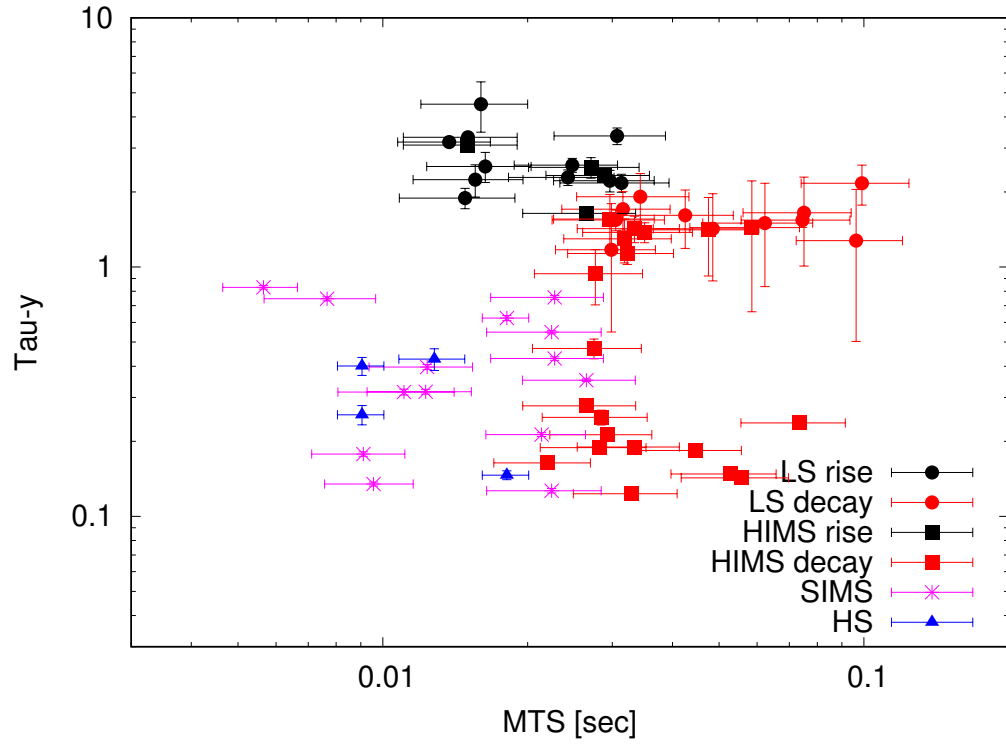
Şekil 4.18: GX 339-4 için tayfsal indisin Compton-y parametresinin bağlı değişimi.



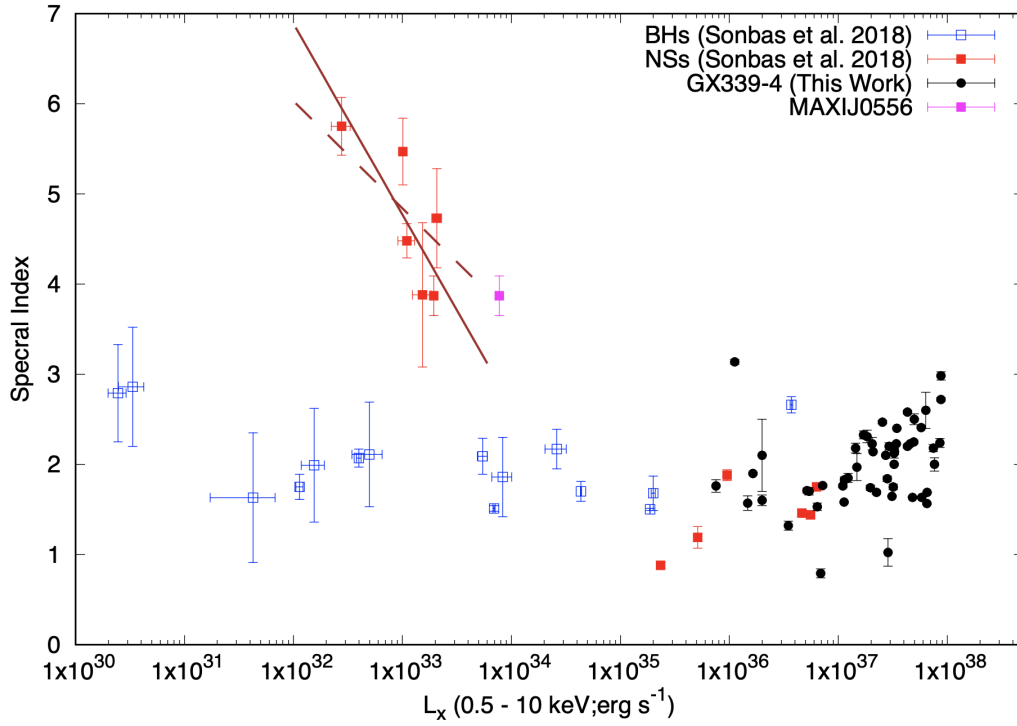
Şekil 4.19: GX 339-4 için  $kT_e$ 'nin MTS' e bağlı değişimi.



Şekil 4.20: GX 339-4 için Tau-y parametresinin  $kT_e$ ' ye bağlı değişimi.



Şekil 4.21: GX 339-4 için Tau-y parametresinin MTS' e bağlı değişimi.



Şekil 4.22: KD (mavi), NY (kırmızı) çiftleri ve GX 339-4 (KD X-ışın çifti) için tayfsal indis karşısında X-ışını ışıma gücünün değişimi.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında GX 339-4, 4U 1608-52 ve Aql X-1 kaynaklarının sırasıyla 2002/2003-2010, 2002-2007 ve 1999-2000 parlamalarını RXTE arşiv verileri kullanılarak zamanlama analizleri ile parlama süresince gösterdikleri farklı tayfsal evrelerinin özellikleri incelenmiştir. Aynı zamanda GX 339-4 kaynağının 2002/2003 parlaması için termal (diskbb), PL ve COMPPS modelleri kullanılarak yapılan tayfsal analizleri sonucunda elde edilen parametrelerin değişimlerine de bakılmıştır. Nowak (2000), Pottschmidt ve diğ.(2003) ve Belloni ve diğ.(2005)' deki prosedürler dikkate alınarak GX339-4' ün çeşitli tayfsal evreleri için PSD'ler oluşturulmuştur. Elde edilen PSD'lerden iki ayrı yöntemle RMS değişkenliği elde edilmiştir. Bu yöntemlerden ilki PSD'leri powerlaw ve Lorentzian bileşenler ile modellenmesi diğeri ise PSD'lerin doğrudan integrasyonudur. MacLachlan ve diğ.(2013) tarafından geliştirilen dalgacık tekniği kullanılarak çeşitli tayfsal evreler boyunca tüm gözlemler için oluşturulan ışık eğrilerinden karakteristik zaman ölçek (MTS)

değerleri elde edilmiştir. PSD' lerden çıkarılabilen MTS ve zaman ölçekleri arasındaki bağlantıyı araştırmak için PSD' ler BPL (BPL; broken powerlaw) ile modellenmiş ve kırılma frekansları (break frequency) ve kesilim (cutoff frequency) frekans değerleri elde edilmiş ve MTS ile arasındaki ilişkiye bakılmıştır. GX 339-4 kaynağının zaman analizleri için ana bulgular şu şekildedir;

- GX 339-4'ün 2002/2003 - 2010 parlamaları için elde edilen MTS şiddet değişkenlik diyagramı (IVD) oluşturmak için kullanılmıştır. Oluşturulan IVD grafiğinde standart HID grafiklerinde görülen q eğrisine benzer bir davranış sergilediği görülmüştür.
- Her bir ışık eğrisi için elde edilen RMS değişkenleri ile karakteristik zaman ölçekleri arasındaki ilişkinliğe bağlanmıştır. Sonuç olarak özellikle 2002/2003 parlaması için önemli bir saçılma da olsa kesirsel RMS ile MTS arasında pozitif bir korelasyon gösterilmiştir. 2010 parlaması için Pearson korelasyon katsayısı, 2002/2003 parlamasından daha büyüktür ve bu da daha güçlü bir korelasyon olduğunu göstermiştir.
- RMS ve MTS arasındaki korelasyonun doğrusal olmaması LHS evresinde tipik olarak görülen temel  $\sigma$  (rms) - akı benzeri ilişkiyi takip etmediğine işaret etmektedir. Bu da incelenen iki değişkenin temelde emisyon mekanizmasına ya da mekanizmalarına bağlı farklı parametrelere bağlı olabileceği düşüncesine yol açmaktadır.
- RMS-MTS korelasyonu, LHS ve HSS evreleri arasında kısmen de olsa bir ayrım görülmektedir: LHS daha büyük bir zaman ölçeğiyle ( $\sim 30$  ms) ve HSS' nin daha kısa bir zaman ölçeğiyle ( $\sim 10$  ms) ilişkili olduğu görülmüştür. Bu zaman ölçeklerindeki değişkenlik yayılım bölgesindeki radyal genişleme olarak yorumlanmıştır.
- PSD' lerin BPL ile modellenmesinden elde edilen kırılma frekansları ile MTS'nin arasında pozitif bir ilişki olduğu bulunmuştur. Bu da MTS'nin PSD'lerden de elde edilebilen bir zaman ölçeğiyle ilişkili olduğunu göstermektedir.
- 4U 1608-52 ve Aql X-1 kaynaklarının farklı parlamaları için MTS ile kesilim frekansı (cutoff frequency) arasında güçlü bir pozitif korelasyon görülmüştür. Kaynakların incelenen her parlaması için histerezis çevrimleri, sertlik - MTS ilişkisinde farklılıklar gözlenirken MTS - kesilim frekansı korelasyonunun evrensel olduğu görülmüştür.

- MTS ile kesim frekansı arasındaki korelasyona en uygun modelin eğimi  $1.01 \pm 0.01$  'dir ve ofset sıfır ile uyumlu bulunmuştur ( $3\sigma$  dahilinde). Bu sonuç her iki zaman ölçeğinin eşdeğer olduğuna dair güçlü kanıtlar sağlar ve sinyal-gürültü eşiğini temsil ettikleri varsayımını doğrulamaktadır.
- 4U 1608-52 ve Aql X-1 kaynakları için elde zaman ölçeği  $\sim 10$  ms ile 10 s arasındadır; bu zaman ölçekleri termal ve viskoz zaman ölçekleri grubuna girmektedir ve gözlemlenen yayınımda yığılma diskinin güçlü bir rolü olduğunu gösterir.

Bu kaynakların hem tayfsal hem de zamansal olarak daha detaylı analizleri için NICER (Neutron Star Interior Composition Explorer) verileri kullanılması gelecek hedeflerin arasındadır.

## KAYNAKLAR

- Abramowicz M. A., Fragile P. C., 2013, Foundations of Black Hole Accretion Disk Theory, *Living Reviews in Relativity*, 16, 1
- Addison P. S., 2002, Afterglow Era: Proceedings of the International Workshop Held in Rome, Italy, 17-20 October 2000, ESO Astrophysics Symposia. Edited by E. Costa, F. Frontera, and Hjorth. Springer-Verlag, *Illustrated Wavelet Transform Handbook*, IOP Publishing Ltd., 288.
- Arnaud K. A., 1996, XSPEC: The First Ten Years, *Astronomical Data Analysis Software and Systems V*, 101, 17
- Balbus S. A., Hawley J. F., 1991, A Powerful Local Shear Instability in Weakly Magnetized Disks. I. Linear Analysis, *Astrophys. Jour.*, 376, 214
- Belloni T. M., 2010, States and Transitions in Black Hole Binaries, *Lecture Notes in Physics*, Berlin Springer Verlag, 794, 53
- Belloni T., Hasinger G., 1990, Variability in the noise properties of Cygnus X-1., *Astron. Astrophys.*, 227, L33
- Belloni T., Homan J., Casella P., van der Klis M., Nespoli E., Lewin W. H. G., Miller J. M., Méndez M., 2005, The evolution of the timing properties of the black-hole transient GX 339-4 during its 2002/2003 outburst, *Astron. Astrophys.*, 440, 207
- Belloni T., Psaltis D., van der Klis M., 2002, A Unified Description of the Timing Features of Accreting X-Ray Binaries, *Astrophys. Jour.*, 572, 392
- Church M. J., Balucinska-Church M., 1995, A complex continuum model for the low-mass X-ray binary dipping sources: application to X 1624-49., *Astron. Astrophys.*, 300, 441
- Cornelisse R., Heise J., Kuulkers E., Verbunt F., in't Zand J. J. M., 2000, The longest thermonuclear X-ray burst ever observed?. A BeppoSAX Wide Field Camera observation of 4U 1735-44, *Astron. Astrophys.*, 357, L21
- Done C., Gierliński M., 2003, Observing the effects of the event horizon in black holes, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 342, 1041
- Done C., Gierliński M., Kubota A., 2007, Modelling the behaviour of accretion flows in X-ray binaries. Everything you always wanted to know about accretion but were afraid to ask, *Astron. and Astrophys. Review*, 15, 1
- Dunn R. J. H., Fender R. P., Körding E. G., Belloni T., Cabanac C., 2010, A global spectral study of black hole X-ray binaries, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 403, 61

- Fender R. P., Belloni T. M., Gallo E., 2004, Towards a unified model for black hole X-ray binary jets, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 355, 1105
- Fujimoto M. Y., Hanawa T., Miyaji S., 1981, Shell flashes on accreting neutron stars and X-ray bursts, *Astrophys. Jour.*, 247, 267
- Galloway D. K., Munro M. P., Hartman J. M., Psaltis D., Chakrabarty D., 2008, Thermonuclear (Type I) X-Ray Bursts Observed by the Rossi X-Ray Timing Explorer, *Astrophys. Jour. Sup.*, 179, 360
- Giacconi R., Gursky H., Paolini F. R., Rossi B. B., 1962, Evidence for x Rays From Sources Outside the Solar System, *Phys. Rev. Let.*, 9, 439
- Gilfanov M., 2010, X-Ray Emission from Black-Hole Binaries, *Lecture Notes in Physics*, Berlin Springer Verlag, 794, 17
- Hameury J. M., King A. R., Lasota J. P., 1990, Cataclysmic variable evolution: observational tests., *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 242, 141
- Hellier C., 2001, Cataclysmic Variable Stars, *Cataclysmic Variable Stars*,
- Homan J., Belloni T., 2005, The Evolution of Black Hole States, *Astrophys. and Sp. Sci.*, 300, 107
- Howe, D. and Percival, D., 1995. IEEE, Transactions on Instrumentation and Measurement, 44, 94–97.
- Ibragimov A., Poutanen J., Gilfanov M., Zdziarski A. A., Shrader C. R., 2005, Broad-band spectra of Cygnus X-1 and correlations between spectral characteristics, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 362, 1435
- Inogamov N. A., Sunyaev R. A., 1999, Spread of matter over a neutron-star surface during disk accretion, *Astronomy Letters*, 25, 269
- Jahoda K., Swank J. H., Giles A. B., Stark M. J., Strohmayer T., Zhang W., Morgan E. H., 1996, In-orbit performance and calibration of the Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE) Proportional Counter Array (PCA), *Proc. SPIE*, 2808, 59
- Katz J. I., 1975, Two kinds of stellar collapse, *Nature*, 253, 698
- Lau K.-M., Weng H., 1995, Climate Signal Detection Using Wavelet Transform: How to Make a Time Series Sing., *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76, 2391
- Leahy D. A., Darbro W., Elsner R. F., Weisskopf M. C., Sutherland P. G., Kahn S., Grindlay J. E., 1983, On searches for pulsed emission with application to four globular cluster X-ray sources: NGC 1851, 6441, 6624 and 6712., *Astrophys. Jour.*, 266, 160
- Levine A. M., Bradt H., Cui W., Jernigan J. G., Morgan E. H., Remillard R., Shirey R. E., Smith D. A., 1996, First Results from the All-Sky Monitor on the Rossi X-Ray Timing Explorer, *Astrophys. Jour. Let.*, 469, L33

- Lewin W. H. G., van Paradijs J., van der Klis M., 1988, A review of quasi-periodic oscillations in low-mass X-ray binaries, *Spa. Sci. Rev.*, 46, 273
- Lewin W. H. G., van Paradijs J., van den Heuvel E. P. J., 1997, X-ray Binaries, *X-ray Binaries*, 674
- Liu Q. Z., van Paradijs J., van den Heuvel E. P. J., 2007, A catalogue of low-mass X-ray binaries in the Galaxy, LMC, and SMC (Fourth edition), *Astron. Astrophys.*, 469, 807
- Liu B. F., Mineshige S., Meyer F., Meyer-Hofmeister E., Kawaguchi T., 2002, Two-Temperature Coronal Flow above a Thin Disk, *Astrophys. Jour.*, 575, 117
- Lin D., Remillard R. A., Homan J., 2009, Spectral States of XTE J1701 - 462: Link Between Z and Atoll Sources, *Astrophys. Jour.*, 696, 1257
- Lyubarskii Y. E., 1997, Flicker noise in accretion discs, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 292, 679
- MacLachlan G. A., ve diğ., 2013, Minimum variability time-scales of long and short GRBs, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 432, 857
- Makishima K., Maejima Y., Mitsuda K., Bradt H. V., Remillard R. A., Tuohy I. R., Hoshi R., Nakagawa M., 1986, Simultaneous X-Ray and Optical Observations of GX 339-4 in an X-Ray High State, *Astrophys. Jour.*, 308, 635
- Meyer F., Liu B. F., Meyer-Hofmeister E., 2007, Re-condensation from an ADAF into an inner disk: the intermediate state of black hole accretion?, *Astron. Astrophys.*, 463, 1
- Meyer F., Meyer-Hofmeister E., 1981, On the elusive cause of cataclysmic variable outbursts., *Astron. Astrophys.*, 104, L10
- Mineshige S., Osaki Y., 1983, Disk-instability model for outbursts of dwarf novae Time-dependent formulation and one-zone model, *Pub. of the Astro. Soc. of Japan*, 35, 377
- Mitsuda K., ve diğ., 1984, Energy spectra of low-mass binary X-ray sources observed from Tenma., *Pub. of the Astro. Soc. of Japan*, 36, 741
- Miyamoto S., Kitamoto S., Iga S., Negoro H., Terada K., 1992, Canonical Time Variations of X-Rays from Black Hole Candidates in the Low-Intensity State, *Astrophys. Jour.*, 391, L21
- Miyamoto S., Kitamoto S., Hayashida K., Egoshi W., 1995, Large Hysteretic Behavior of Stellar Black Hole Candidate X-Ray Binaries, *Astrophys. Jour. Let.*, 442, L13
- Muñoz-Darias T., Fender R. P., Motta S. E., Belloni T. M., 2014, Black hole-like hysteresis and accretion states in neutron star low-mass X-ray binaries, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 443, 3270

- Muñoz-Darias T., Motta S., Belloni T. M., 2011, Fast variability as a tracer of accretion regimes in black hole transients, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 410, 679
- Narayan R., Mahadevan R., Quataert E., 1998, Advection-dominated accretion around black holes, *Theory of Black Hole Accretion Disks*, 148
- Narayan R., Yi I., 1995, Advection-dominated Accretion: Underfed Black Holes and Neutron Stars, *Astrophys. Jour.*, 452, 710
- Nowak M. A., Vaughan B. A., Wilms J., Dove J. B., Begelman M. C., 1999, Rossi X-Ray Timing Explorer Observation of Cygnus X-1. II. Timing Analysis, *Astrophys. Jour.*, 510, 874
- Nowak M. A., 2000, Are there three peaks in the power spectra of GX 339-4 and Cyg X-1?, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 318, 361
- Osaki Y., 1974, An Accretion Model for the Outbursts of U Geminorum Stars, *Pub. of the Astro. Soc. of Japan*, 26, 429
- Percival, D. B. and Walden, A. T. 2002, *Wavelet Methods for Time Series Analysis*, Cambridge University Press
- Pottschmidt K., Wilms J., Nowak M. A., Pooley G. G., Gleissner T., Heindl W. A., Smith D. M., Remillard R., Staubert R., 2003, Long term variability of Cygnus X-1. I. X-ray spectral-temporal correlations in the hard state, *Astron. Astrophys.*, 407, 1039
- Poutanen J., Svensson R., 1996, The Two-Phase Pair Corona Model for Active Galactic Nuclei and X-Ray Binaries: How to Obtain Exact Solutions, *Astrophys. Jour.*, 470, 249
- P. Flandrin, 1989, On the spectrum of fractional Brownian motions, *IEEE Transactions on Information Theory*, 35, 197–199
- P. Flandrin, 1992, Wavelet analysis and synthesis of fractional Brownian motion, *IEEE Transactions on Information Theory*, 38, 910-917
- Remillard R. A., McClintock J. E., 2006, X-Ray Properties of Black-Hole Binaries, *Ann. Rev. of Astron. and Astrophys.*, 44, 49
- McClintock J.E., Remillard R.A., 2005, Black Hole Binaries, Compact Stellar X-ray Sources, eds. W.H.G. Lewin and M. van der Klis, Cambridge University Press, Cambridge, astro-ph/0306213
- Rothschild R. E., Blanco P. R., Gruber D. E., Heindl W. A., MacDonald D. R., Marsden D. C., Pelling M. R., Wayne L. R., Hink P. L., 1998, In-Flight Performance of the High-Energy X-Ray Timing Experiment on the Rossi X-Ray Timing Explorer, *Astrophys. Jour.*, 496, 538
- Shakura N. I., Sunyaev R. A., 1973, Reprint of 1973A&A....24..337S. Black holes in binary systems. Observational appearance., *Astron. Astrophys.*, 500, 33

- Sonbas E., Dhuga K. S., Göğüş E., 2018, A Study of Low-mass X-Ray Binaries in the Low-luminosity Regime, *Astrophys. Jour.*, 853, 150
- Sonbas E., Mohamed K., Dhuga K. S., Tuncer A., Göğüş E., 2020, A minimal time-scale for the spectral states of GX 339-4, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 499, 2513
- Sunyaev R. A., Titarchuk L. G., 1980, Comptonization of X-rays in plasma clouds. Typical radiation spectra., *Astron. Astrophys.*, 500, 167
- Syunyaev R. A., Shakura N. I., 1986, Disk Accretion onto a Weak Field Neutron Star - Boundary Layer Disk Luminosity Ratio, *Soviet Astronomy Letters*, 12, 117
- Syunyaev R. A., ve diğ., 1991, Broadband X-Ray Spectra of Black-Hole Candidates X-Ray Pulsars and Low-Mass Binary X-Ray Systems - KVANT Module Results, *Soviet Astronomy Letters*, 17, 409
- S. G. Mallat, 1989, A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11, 674-693
- Tanaka Y., Shibazaki N., 1996, X-ray Novae, *Ann. Rev. of Astron. and Astrophys.*, 34, 607
- Tananbaum H., Gursky H., Kellogg E., Giacconi R., Jones C., 1972, Observation of a Correlated X-Ray Transition in Cygnus X-1, *Astrophys. Jour. Let.*, 177, L5
- Tomsick J. A., Kaaret P., 2000, X-Ray Spectral and Timing Evolution during the Decay of the 1998 Outburst from the Recurrent X-Ray Transient 4U 1630-47, *Astrophys. Jour.*, 537, 448
- Uttley P., McHardy I. M., 2001, The flux-dependent amplitude of broadband noise variability in X-ray binaries and active galaxies, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 323, L26
- van der Klis M., 1989, Quasi-periodic oscillations and noise in low-mass X-ray binaries., *Ann. Rev. of Astron. and Astrophys.*, 27, 517
- Vaughan S., Edelson R., Warwick R. S., Uttley P., 2003, On characterizing the variability properties of X-ray light curves from active galaxies, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 345, 1271
- van der Klis M., 2006, Rapid X-ray Variability, *Compact stellar X-ray sources*, 39, 39
- van der Klis M., 1989, Fourier techniques in X-ray timing, *Timing Neutron Stars*, 262, 27
- van Straaten S., van der Klis M., di Salvo T., Belloni T., 2002, A Multi-Lorentzian Timing Study of the Atoll Sources 4U 0614+09 and 4U 1728-34, *Astrophys. Jour.*, 568, 912
- Zhang W., Jahoda K., Swank J. H., Morgan E. H., Giles A. B., 1995, Dead-Time Modifications to Fast Fourier Transform Power Spectra, *Astrophys. Jour.*, 449, 930
- Weng H., Lau K.-M., 1994, Wavelets, Period Doubling, and Time-Frequency Localization with Application to Organization of Convection over the Tropical Western Pacific., *Journal of Atmospheric Sciences*, 51, 2523

## ÖZGEÇMİŞ

| Kişisel Bilgiler |                                                                          |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Adı Soyadı       | Aslı TUNCER                                                              |
| Doğum Yeri       |                                                                          |
| Doğum Tarihi     |                                                                          |
| Uyruğu           | <input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer: |
| Telefon          |                                                                          |
| E-Posta Adresi   |                                                                          |
| Web Adresi       | –                                                                        |



| Eğitim Bilgileri |                             |
|------------------|-----------------------------|
| Lisans           |                             |
| Üniversite       | İstanbul Üniversitesi       |
| Fakülte          | Fen                         |
| Bölümü           | Astronomi ve Uzay Bilimleri |
| Mezuniyet Yılı   | 2017                        |

| Yüksek Lisans    |                                           |
|------------------|-------------------------------------------|
| Üniversite       | İstanbul Üniversitesi                     |
| Enstitü Adı      | Fen Bilimleri                             |
| Anabilim Dalı    | Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı |
| Programı         | Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı      |
| Mezuniyet Tarihi | 2021                                      |

| Makale ve Bildiriler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Makaleler</b></p> <p>Kilerci Eser E., Goto T., Güver T., Tuncer A., Ataş O. H., 2020, Infrared colours and spectral energy distributions of hard X-ray selected obscured and Compton-thick active galactic nuclei, <i>Mon. Not. Roy. Astron. Soc.</i>, 494, 5793</p> <p>Sonbas E., Mohamed K., Dhuga K. S., Tuncer A., Göğüş E., 2020, A minimal time-scale for the spectral states of GX 339-4, <i>Mon. Not. Roy. Astron. Soc.</i>, 499, 2513</p> <p>Mohamed K., Sonbas E., Dhuga K. S., Göğüş E., Tuncer A., N. N. Abd Allah, A. Ibrahim, A Minimal Timescale for the Continuum in 4U 1608-52 and Aql X-1 (MNRAS' a kabul edildi.)</p> |