T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# YÜKSEK LİSANS TEZİ

# GEÇİCİ KÜTLE AKTARIMI YAPAN NÖTRON YILDIZLARININ SOĞUMASI

**Ece Gülfem STÜCKER**

**Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı**

**Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı**

**DANIŞMAN**
**Prof. Dr. Tolga Güver**

**Aralık, 2020**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 09.12.2020 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. Şölen BALMAN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Ersin GÖĞÜŞ
Sabancı Üniversitesi
Fen Bilimleri Fakültesi

- **İntihal Programı Beyanı**

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

- **Proje Destekleri**


| |
|---|
| Bu tez, 117F509 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. |

# ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, seçilen geçici düşük kütleli X-ışın çiftlerinin yüzey ışınımını modellemek için, ilk kez dönme kaynaklı rölativistik etkilerin hesaba katıldığı yeni bir model uygulanmış ve literatüre kazandırılmak üzere yeni bulgulara ulaşılmıştır.

Yüksek lisans ve lisans eğitim hayatım boyunca hiç bir zaman desteğini esirgemeyen, engin tecrübe ve deneyimlerini benimle paylaşan, bana her zaman inanan ve güvenen, ufkumu genişletmeme yardımcı olan, kendimi geliştirmem için ve iyi bir yere gelmem için elinden geleni yapan saygıdeğer ve değerli danışmanım Prof. Dr. Tolga GÜVER'e teşekkürler ederim.

Tezimde model geliştirme esnasında her zaman destek olan ve bilgisini hiç bir zaman esirgemeyen sevgili Dr. Michi BAUBÖCK'e çok teşekkür ederim.

Ne zaman bir desteğe ihtiyacım olsa her daim yardımıma koşan, tez sırasında geliştirilen model konusunda engin bilgisi ile yardımcı olan ve her bilimsel tartışmamızda güzel kazanımlarım olmasını sağlayan sevgili arkadaşım Dr. Ninoy RAHMAN'a; tüm sıkıntılarımda her zaman destek olan, tüm bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan ve tüm öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi destekleyen sevgili arkadaşlarım Süleyman FİŞEK ve Önder ÇATMABACAK'a ve her zaman yanımda olup desteklerini esirgemeyen diğer bütün arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Öğrenim hayatım boyunca hiç bir desteğini esirgemeyen, hep desteklerini hissettiğim sevgili anne ve babama çok teşekkür ederim.

Beni her zaman destekleyen, motive eden, uzun uzun yaptığımız bilimsel tartışmalarla merakımı körükleyen ve tezimde kullanmış olduğum modeli oluşturma konusunda eşsiz bilgilerini benimle paylaşan en yakın arkadaşım ve sevgili eşim Jens Oliver STÜCKER'e ne kadar teşekkür etsem azdır.

Aralık, 2020 Ece Gülfem STÜCKER

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa No**

**ÖNSÖZ** ..... **iv**
**İÇİNDEKİLER** ..... **vi**
**ŞEKİL LİSTESİ** ..... **x**
**TABLO LİSTESİ** ..... **xi**
**SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ** ..... **xii**
**ÖZET** ..... **xiv**
**SUMMARY** ..... **xvi**
**1. GİRİŞ** ..... **1**
**2. GENEL KISIMLAR** ..... **6**
2.1. NÖTRON YILDIZLARI ..... 7
2.1.1. Atmosfer ..... 8
2.1.2. Dış Kabuk (Dış Zarf) ..... 8
2.1.3. İç Kabuk (İç Zarf) ..... 9
2.1.4. Dış Çekirdek ..... 9
2.1.5. İç Çekirdek ..... 9
2.2. DÜŞÜK KÜTLELİ X-IŞIN ÇİFTLERİ ..... 10
2.3. SOĞUYAN KAYNAKLAR ..... 14
2.4. DKXÇ'LERDEKİ NÖTRON YILDIZLARININ YÜZEY IŞINIMI ..... 16
2.5. NÖTRON YILDIZLARININ YÜZEY IŞINIMININ RÖLATİVİSTİK OLARAK AÇIKLANMASI ..... 18
2.5.1. Dönmeyen Yıldızlar İçin Uzay-Zaman ..... 19
2.5.2. Dönen Yıldızlar ..... 20
**3. MALZEME VE YÖNTEM** ..... **24**
3.1. VERİLERİ KULLANILAN UYDULAR VE ANALİZ TEKNİKLERİ ..... 25
3.1.1. XMM-Newton X-Işın Teleskobu ..... 25
3.1.2. Chandra X-Işın Teleskobu ..... 28

3.2. NÖTRON YILDIZI TAYFININ MODELLENMESİ ..... 31
3.2.1. Dönen Nötron Yıldızı Atmosfer Modeli ..... 31
3.3. RNSA İLE NSA MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI ..... 36
3.4. VERİLERİ KULLANILAN KAYNAKLAR ..... 37
3.4.1. 1RXS J180408.9-342058 ..... 38
3.4.2. AQL X-1 ..... 39
3.4.3. Cen X-4 ..... 41
3.4.4. XTE J1701-462 ..... 42
3.4.5. EXO 0748-676 ..... 43
3.4.6. MXB 1659-298 ..... 44
3.4.7. Swift J174805.3-244637 ..... 45
3.4.8. MAXI J0556-332 ..... 46
**4. BULGULAR ..... 47**
4.1. 1RXS J180408.9-342058 ..... 47
4.2. AQL X-1 ..... 50
4.3. CEN X-4 ..... 58
4.4. EXO 0748-676 ..... 61
4.5. XTE J1701-462 ..... 66
4.6. SWIFT J174805.3-244637 ..... 73
4.7. MAXI J0556-332 ..... 76
4.8. MXB 1659-298 ..... 80
**5. TARTIŞMA VE SONUÇ ..... 83**
**KAYNAKLAR ..... 91**
**ÖZGEÇMİŞ .....105**

# ŞEKİL LİSTESİ

**Page No**

**Şekil 2.1** Nötron yıldızının tabakaları. ..... 7

**Şekil 2.2** Bir DKXÇ'nin tasviri. E. Stücker; J. Stücker. ..... 10

**Şekil 2.3** Bir DKXÇ'nin farklı açılardan görünümü. (Frank *ve diğ.*, 2002) ..... 11

**Şekil 2.4** Aql X-1'e ait RXTE/ ASM ve MAXI'nin verileri kullanılarak elde edilen ışık eğrisi. 13

**Şekil 2.5** EXO 0748-676'nın 15 Şubat 1985 yılına ait ışık eğrisi. Grafikte patlama, çukur ve tutulma özellikleri açıkça görülmektedir.Parmar *ve diğ.* (1986)..... 13

**Şekil 2.6** Seçilen bazı geçici nötron yıldızı içeren DKXÇ için farklı soğuma senaryolarını da içeren, sessiz evre ışıma gücüne ($L_q$) karşılık madda yığılım ortalamasının oranı grafiği. (Wijnands *ve diğ.*, 2013, 2017) ..... 15

**Şekil 2.7** **Solda:** Literatürdeki soğuması gözlenen tüm sistemlere ait, MAXI J0556-332 hariç, soğuma eğrileri. **Sağda:** MAXI J0556-332'a ait soğuma eğrisi (Wijnands *ve diğ.*, 2017). ... 15

**Şekil 3.1** XMM-Newton Teleskobu'nun efektif alanı. (XMM-Newton Users Handbook, 2020) 26

**Şekil 3.2** PN CCD kamerasına ait çalıştırma modları. *Sol üst:* Full Frame ve Extended Full Frame modu. *Sağ üst:* Large Window modu. *Sol alt:* Small Window modu. *Sağ alt:* Timing modu. (XMM-Newton Users Handbook, 2020) ..... 27

**Şekil 3.3** MOS CCD kamerasına ait çalıştırma modları. *Sol üst:* Full Frame *Sağ üst:* Large Window modu. *Sol alt:* Small Window modu. *Sağ alt:* Timing modu. (XMM-Newton Users Handbook, 2020)..... 28

**Şekil 3.4** Chandra ve XMM-Newton X-ışın teleskoplarının efektif alanlarının karşılaştırılması. (Bogdan *ve diğ.*, 2010) ..... 29

**Şekil 3.5** ACIS odak düzleminin ölçekli değil şematik çizimi. ACIS-I dizisi, I0-I3 çiplerinden oluşur (üst şekilde, gölgeli kısımlar). ACIS-S dizisi, S0-S5 çiplerinden oluşur (alt şekilde gölgeli kısımlar). Varsayılan hedef noktaları x ile işaretlenmiştir. Daha ayrıntılı bilgi için; Chandra Proposers Observatory Guide 2019 ..... 30

**Şekil 3.6** *Üst panel:* NSA ve rNSA modellerinin akı değerlerinin karşılaştırılması. Yüksek dönme frekansına, 550 Hz, doğru geçildiğinde rölativistik etkinin oluşturduğu fark belirgin bir biçimde görülebiliyor. *Alt panel:* NSA ve rNSA modellerinin akının bir oranı olarak enerji üzerinden bir karşılaştırılması. Grafikte dönmenin etkisi belirgin olarak görülmektedir. Grafik kT=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 ve 0.8 keV sıcaklıkları için hazırlanmıştır. ..... 37

**Şekil 3.7** 1RXS J180408.9-342058'e ait MAXI verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrisi. Kaynağın patlama sonrası, sakin evreye geçtiği andan itibaren elde edilmiş olan XMM ve Chandra gözlemleri kullanılmıştır. ..... 38

**Şekil 3.8** Aql X-1'e ait MAXI ve XTE verileri kullanılarak oluşturulmuş iki farklı patlama sırasında ve sonrasında alınmış ışık eğrisi. Kaynağın patlama sonrası, sakin evreye geçtiği andan itibaren elde edilmiş olan XMM ve Chandra gözlemleri kullanılmıştır. ..... 39

**Şekil 3.9** Cen X-4'e ait RXTE/ASM (mor) ve MAXI (mavi) verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrisi. ..... 41

**Şekil 3.10** XTE J1701-462'ye ait RXTE/ASM (mor) verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrisi. Kaynağın sakin evreye geçtiği andan itibaren elde edilmiş olan XMM ve Chandra gözlemleri kullanılmıştır. ..... 42

**Şekil 3.11** EXO 0748-676'a ait RXTE/ASM (mor) verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrisi. Kaynağın patlama sonrasında elde edilmiş olan gözlemleri dikkate alınmıştır. ..... 43

**Şekil 3.12** MXB 1659-297'ye ait RXTE/ASM (mor) ve MAXI (mavi) verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrileri eğrisi. Kaynak sakin evreye geçtikten sonra alınan gözlemlerden faydalanılmıştır. ..... 44

**Şekil 3.13** Swift J174805.3-244637 ait RXTE/ASM (mor) verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrisi. ..... 45

**Şekil 3.14** MAXI J0556-332'e ait RXTE/ASM (mor) ve MAXI (mavi) verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrisi. ..... 46

**Şekil 4.1** 1RXS J180408.9-342058'den patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir. ..... 48

**Şekil 4.2** 1RXS J180408.9-342058'e ait soğuma eğrisi. Üst panel akı; alt panel ise keV biriminden sıcaklığı göstermektedir. X-ekseni, MJD biriminden zamanı temsil etmektedir. . 49

**Şekil 4.3** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir. 51

**Şekil 4.4** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir. 52

**Şekil 4.5** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir. 53

**Şekil 4.6** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir. 54

**Şekil 4.7** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir. 54

**Şekil 4.8** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir. 55

**Şekil 4.9** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir. 56

**Şekil 4.10** Aql X-1'e ait soğuma eğrisi. Üst paneller akı, alt paneller ise sıcaklığı göstermektedir. 56

**Şekil 4.11** Cen X-4 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol kolondaki grafikler NSA, sağ kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir. ..... 58

**Şekil 4.12** Cen X-4 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol kolondaki grafikler NSA, sağ kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir. ..... 59

**Şekil 4.13** Cen X-4' e ait ışık eğrisi. Üst tarafta bulunan panel akı; alt tarafta bulunan panel ise sıcaklığı göstermektedir. X-ekseni, MJD biriminden zamanı temsil etmektedir. ..... 60

**Şekil 4.14** EXO 0748-676 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütün grafikler NSA, sağ kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir. ..... 62

**Şekil 4.15** EXO 0748-676 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütün grafikler NSA, sağ kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir. ..... 63

**Şekil 4.16** EXO 0748-676 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütün grafikler NSA, sağ kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir. ..... 64

**Şekil 4.17** EXO 0748-676 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütün grafikler NSA, sağ kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir. ..... 65

**Şekil 4.18** EXO 0748-676'e ait ışık eğrisi. Üst tarafta bulunan panel akı; alt tarafta bulunan panel ise sıcaklığı göstermektedir. x-ekseni, MJD biriminden zamanı temsil etmektedir. ..... 65

**Şekil 4.19** XTE J1701-462 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütun NSA, sağ sütun ise rNSA modeline ait sonuçları göstermektedir. ..... 67

**Şekil 4.20** XTE J1701-462 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütun NSA, sağ sütun ise rNSA modeline ait sonuçları göstermektedir. ..... 68

**Şekil 4.21** XTE J1701-462 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütun NSA, sağ sütun ise rNSA modeline ait sonuçları göstermektedir. ..... 69

**Şekil 4.22** XTE J1701-462 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütun NSA, sağ sütun ise rNSA modeline ait sonuçları göstermektedir. ..... 70

**Şekil 4.23** XTE J1701-462 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütun NSA, sağ sütun ise rNSA modeline ait sonuçları göstermektedir. ..... 71

**Şekil 4.24** XTE J1701-462 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütun NSA, sağ sütun ise rNSA modeline ait sonuçları göstermektedir. ..... 72

**Şekil 4.25** XTE J1701-462'e ait ışık eğrisi. Üst tarafta bulunan panel akı; alt tarafta bulunan panel ise sıcaklığı göstermektedir. X-ekseni, MJD biriminden zamanı temsil etmektedir. ..... 72

**Şekil 4.26** Swift J174805.3-244637 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Birinci kolondaki grafikler NSA, ikinci kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir. ..... 74

**Şekil 4.27** Swift J174805.3-244637 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Birinci kolondaki grafikler NSA, ikinci kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir. ..... 75

**Şekil 4.28** Swift J174805.3-244637'e ait ışık eğrileri. Üst tarafta bulunan panel akı; alt tarafta bulunan panel ise sıcaklığı göstermektedir. x-ekseni MJD cinsinden zamanı temsil etmektedir. 75

**Şekil 4.29** MAXI J0556-332 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Birinci kolondaki grafikler NSA, ikinci kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir. ..... 76

**Şekil 4.30** MAXI J0556-332 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Birinci kolondaki grafikler NSA, ikinci kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir. ..... 77

**Şekil 4.31** MAXI J0556-332 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Birinci kolondaki grafikler NSA, ikinci kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir. ..... 78

**Şekil 4.32** MAXI J0556-332'e ait ışık eğrisi. Üst tarafta bulunan panel akı; alt tarafta bulunan panel ise sıcaklığı göstermektedir. x-ekseni, MJD biriminden zamanı temsil etmektedir. ..... 78

**Şekil 4.33** MXB 1659-298 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol kolonda NSA, sağ kolonda ise rNSA modeline ait sonuçlar verilmiştir. ..... 81

**Şekil 4.34** MXB 1659-298'e ait ışık eğrisi. Üst tarafta bulunan panel akı; alt tarafta bulunan panel ise sıcaklığı göstermektedir. x-ekseni, MJD biriminden zamanı temsil etmektedir. ..... 82

**Şekil 5.1** rNSA ve NSA sıcaklıklarının NSA sıcaklığının rNSA sıcaklığına bir oranı olarak karşılaştırılması. ..... 84

**Şekil 5.2** rNSA ve NSA $\chi^2$ verilerini karşılaştırması. ..... 84

**Şekil 5.3** Tayfsal analiz sonucu elde edilen rNSA ve NSA sıcaklıklarının karşılaştırması. ..... 85

**Şekil 5.4** Kaynaklara ait soğuma eğrileri. a) MXB 1659-298, b) Aql X-1, c) 1RXS J180408.9-342058, d) Cen X-4, e) MAXI J0556-332, f) EXO 0748-676, g) XTE J1701-462, h) Swift J174805.3-244637 ..... 86

**Şekil 5.5** Strobe-X teleskobu için oluşturulan simulasyon verisine ait kontür eğrileri. Oluşturulan simülasyon NSA ile fit edilirken sıcaklık ve normalizasyon parametreleri serbest bırakılmıştır. Simülasyonlar, solda Aql X-1 için elde edilen minimum sıcaklık değeri olan 0.14 keV; sağda ise Aql X-1 için elde edilen maksimum sıcaklık değeri olan 0.18 keV için yapılmıştır. ..... 90

**Şekil 5.6** Athena teleskobu için oluşturulan simulasyon verisine ait kontür eğrileri. Oluşturulan simülasyon NSA ile fit edilirken sıcaklık ve normalizasyon parametreleri serbest bırakılmıştır. Simülasyonlar, solda Aql X-1 için elde edilen minimum sıcaklık değeri olan 0.14 keV; sağda ise Aql X-1 için elde edilen maksimum sıcaklık değeri olan 0.18 keV için yapılmıştır. ..... 90

# TABLO LİSTESİ

**Page No**

**Tablo 4.1** 1RXS J180408.9-342058 için yapılan simültane fitlere ait sonuçlar. ..... 47

**Tablo 4.2** Aql X-1'in seçilen 2011 yılına ait patlama için yapılan simültane fitlere ait sonuçlar.. 50

**Tablo 4.3** Aql X-1'in seçilen 2014 yılına ait patlama sonrası elde edilen soğuma yapılan simültane fitlere ait sonuçlar. ..... 57

**Tablo 4.4** Cen X-4'a ait tayfsal parametreler. ..... 60

**Tablo 4.5** EXO 0748-676'e ait tayfsal parametreler. ..... 61

**Tablo 4.6** XTE J1701-462'ye ait tayfsal parametreler. ..... 66

**Tablo 4.7** Swift J174805.3-244637'a ait tayfsal parametreler. ..... 73

**Tablo 4.8** MAXI J0556-332'ye ait tayfsal parametreler. ..... 79

**Tablo 4.9** MXB 1659-298'e ait tayfsal parametreler. ..... 82

**Tablo 5.1** Athena teleskobu için yapılan simülasyona ait parametreler ve veriler. ..... 89

**Tablo 5.2** Strobe-X teleskobu için yapılan simülasyona ait parametreler ve veriler. ..... 89

# SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

**Simgeler** **Açıklama**

$M_{\odot}$ : Güneş kütlesi
$R_{\odot}$ : Güneş yarıçapı
$K$ : K Korona
$N_{H}$ : Hidrojen kolon yoğunluğu

**Kısaltmalar** **Açıklama**

***DKXÇ*** : Düşük kütleli X-ışın çifti
***BKXÇ*** : Büyük kütleli X-ışın çifti
***RXTE/ ASM*** : Rossi X-ray Timing Explorer
***MAXI*** : Monitor of All-Sky X-ray Image
***Swift*** : Neil Gehrels Swift Observatory
***RITTERLMXB*** : Ritter Düşük Kütleli X-Işın Çiftleri Kataloğu
***GTI*** : Good Time Inverval

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### GEÇİCİ KÜTLE AKTARIMI YAPAN NÖTRON YILDIZLARININ SOĞUMASI

**Ece Gülfem STÜCKER**

**İstanbul Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Tolga Güver**

Geçici düşük kütleli X-ışın çiftlerinin kütle aktarımının çok düşük seviyelerde olduğu sıralardaki ışınımı asıl olarak kütle aktarımının yoğun olduğu sırada yüzeyi ısınan nötron yıldızının soğumasından ileri gelmektedir. Bu ışınım özellikle son yıllarda X-ışın teleskopları ile gözlenmiş ve bu sayede, nötron yıldızlarının kabuk katmanlarının soğuma özellikleri dolayısıyla da fiziksel yapıları hakkında önemli bulgulara ulaşılmıştır. Ancak günümüzde bu ışınımı modellemek için kullanılan tüm atmosfer modelleri nötron yıldızlarının rölativistik anlamda dönmediği varsayımı altında geliştirilmiştir. Bu durum ise, bu nötron yıldızlarının bazılarının yüksek dönme frekansları ile bir çelişki içindedir. Tez kapsamında yapılan çalışmalar ile, yüzey ışınımının modellenmesinde dönme kaynaklı ek rölativistik etkilerin de hesaba katıldığı yeni bir model ilk kez olarak ve sistematik bir biçimde geçici X-ısın çiftlerine uygulanmıştır. Böylece dönmenin nötron yıldızlarının soğuması üzerine olan etkisi, ilgili rölativistik etkilerin hesaba katılması ile ilk defa olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda toplamda 8 farklı düşük kütleli X-ışın çiftindeki nötron yıldızlarının soğuma verilerine uygulanan model, klasik model ile aynı başarımla verileri açıklamakta ise de %3 kadar farklı bir sıcaklık değeri vermektedir. Bu değişim sistematik gibi görünmekte ise de kaynakların soğuma eğrilerini önemli ölçüde etkilemekten uzaktır. Tez kapsamında yapılan çalışmaların yayınlanması ile modelin XSPEC programının model kütüphanesine eklenmesi için de gerekli çalışmalar yapılmaktadır.

Aralık 2020, 108 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** nötron yıldızları, yüzey ışınımı, X-ışınları.

# SUMMARY

## M.Sc. THESIS

### COOLING OF TRANSIENTLY ACCRETING NEUTRON STARS

**Ece Gülfem STÜCKER**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Sciences**

**Department of Astronomy and Space Sciences**

**Supervisor: Asso. Dr. Tolga Güver**

The radiation from transient low mass X-ray binaries in quiescence is mainly due to the cooling of the surface of the neutron star being heated during outbursts. This radiation has been observed with X-ray telescopes especially in recent years, and thus, important findings about the physical properties of the crust layers of neutron stars have been reached based on their cooling properties. To date, however, all the atmosphere models used in modeling this radiation have been developed under the assumption that neutron stars do not rotate in a relativistic sense. This is in contradiction with the high rotational frequencies of some of these neutron stars. With the studies carried out within the scope of our project, a new model, which takes into account the additional relativistic effects of rotation in modeling of surface radiation, has been applied for the first time and systematically to transient X-ray binaries. Thus, the effect of rotation on the cooling of neutron stars is examined for the first time, taking into account the relevant relativistic effects. As a result of the studies performed, the model applied to the cooling data of the neutron stars from 8 different low mass X-ray binaries, explains the data with the same statistical performance as the classic model, but gives a temperature value that is different up to 3%. Although this change appears to be systematic, it does not significantly affect the cooling curves of resources. We are planning to add the model we created to the model library of the XSPEC program with the publication of the studies made within the scope of the thesis.

Aralık 2020, 108 pages.

**Keywords:** neutron stars, surface emisssion, X-rays, outburst, crust cooling, quiescent neutron stars.

# 1. GİRİŞ

Bir maddenin olağan halinden daha küçük parçalara ayrılıp ayrılmayacağı sorusu ilk kez M.Ö.450 yılları sırasında Yunan filozof Democritus'un aklında belirmiş ve bu parçaların daha da küçük parçalar haline bölünüp bölünmeyeceği sorusu üzerine düşünmüştür. Bir noktada, maddenin ayrılan daha küçük parçaların bir daha parçalanamayacak bir duruma erişebileceği sonucunu çıkarmış ve buna **"kesilemez"** anlamına gelen ***atomos*** adını vermiştir. Ancak kendisinden sonra, Aristotales'in bu fikri gülünç ve saçma bulmasından dolayı 1800'lü yıllarda Dalton'un atom kavramını tekrar gündeme getirmesine kadar bilim çevrelerinde önemsiz olarak görülmüştür.

Atomun keşfini sırasıyla içerisinde bulunan temel taneciklerin keşfi izlemiştir. 1911 yılında Rutherford, Thompson'ın üzümlü kek modelinin doğru olmadığını ortaya atarak atom çekirdeğinden ilk kez bahsetmiştir (Rutherford, 2012; Thomson, 1904). Sonrasında ise 1932 yılında Chadwick'in nötronu keşfetmesiyle birlikte (Chadwick, 1932) günümüzde kullanmakta olduğumuz atom modeli ortaya çıkmıştır. Bir söylentiye göre, bu keşfin duyurusunun yapıldığı toplantı sırasında Lev Landau, Bohr ve Rosenfeld ile evrende nötronlardan oluşmuş olan ve oldukça yoğun olan yıldızların olup olamayacağı üzerine bir tartışma içerisine girmiştir. 1932 yılında yayınladığı makalede (Landau, 1965), sıradan kuantum mekanik yasalarının yetersiz kaldığı ve ortamdaki madde yoğunluğunun çok yüksek olduğu böylesi durumlarda atom çekirdeklerinin birbirlerine oldukça yakın olması ve bu sıkışıklıktan dolayı devasa bir çekirdek oluşturması gerektiğini belirtmiştir. Gerçekten de 1934 yılında Baade ve Zwciky, Amerikan Astronomi Derneği'nin Stanford Üniversitesi'ndeki toplantısında yaptığı konuşmada süpernovaların bildiğimiz, sıradan yıldızların nötron yıldızlarına dönüşürken geçirdikleri bir evre olduğunu; ayrıca son derece sıkı ve yakın bir şekilde paketlenmiş nötronlardan oluşan nötron yıldızlarının bu yıldızlarının evrimlerinin son evresi olduğunu vurgulamıştır (Baade *ve diğ.*, 1934). Sonraki yıllarda birbirinden bağımsız olarak Tolman ve Oppenheimer ve Volkoff tarafından genel görelilik temel alınarak böylesi bir yıldızın hidrostatik denge denkleminin nasıl olacağına dair çalışmalar yapmış ve 1959 yılında Cameron tarafından yapılan hesaplamalar sayesinde bir nötron yıldızının nötron-nötron etkileşiminin elektromanyetik itme kuvvetinden dolayı en fazla 2 $M_{\odot}$ olabileceği ortaya

konmuştur (Cameron, 1959; Oppenheimer *ve diğ.*, 1939; Tolman, 1939).

Nötron yıldızları, ilk kez 1968 yılında Hewish'in yüksek lisans öğrencisi olan Bell tarafından bir radyo kaynağından düzenli ve periyodik sinyallerin alınması ile keşfedilmişlerdir (Hewish *ve diğ.*, 1968). Keşfedilen cisim 1.337 s periyotlar ile sürekli atımlar yapan ve **pulsar** adı verilen bir nötron yıldızıdır. Ancak, bu kaynağın başta bir nötron yıldızı mı yoksa bir beyaz cüce mi olduğu anlaşılmamıştır. Beyaz cüceler, kütlesi $0.17M_{\odot}$(Kilic *ve diğ.*, 2007) ve $1.33M_{\odot}$(Kepler *ve diğ.*, 2007) arasında olan, elektronların dejenere olarak bulunduğu ölü yıldızlardır. İlerleyen yıllarda Vela ve Crab pulsarlarının da keşfiyle birlikte, keşfedilen cisimlerin beyaz cüce olamayacağı anlaşılmıştır. Çünkü beyaz cücelerin bu denli kısa periyotlara sahip olması demek, cismin merkezcil kuvvet tarafından parçalanması demektir.

Nötron yıldızları, büyük kütleli yıldızların kütle çekimsel olarak çökmeleri sonucu ortaya çıkan süpernova patlamalarının bir ürünü olan ve hala bir yüzeyi olan, evrende bilinen en yoğun gök cisimleridir (Baade *ve diğ.*, 1934; Burrows, 2013). Bu yoğun madde topunu, ortamda büyük bir çoğunlukla bulunan nötronlar oluşturur. Nötron yıldızının dış kabuk kısmında serbest iyonlar ve elektronlar bulunurken, daha iç kısımda olan kabuk kısmında ise nötronlar bulunur. Nötron yıldızları ayrıca, Pauli dışlama prensibinin bir sonucu olan kuantum dejenere basıncı, diğer bir deyişle ortamda baskın olarak bulunan nötronlardan dolayı **"nötron dejenere basıncı"**, tarafından desteklenir.

Nötron yıldızlarının ısısal evrimleri üzerine yapılan çalışmalar, bu cisimlerin iç yapılarının özellikle de üst katmanlarının anlaşılmasında büyük önem arz ederler. Bu çalışmalar genel olarak iki farklı şekilde yapılabilir. Birinci yolda, farklı yaşlarda olduğu bilinen izole nötron yıldızlarının sıcaklıkları ölçülür ve bu cisimlerin iç yapılarının aynı olduğu varsayımı ile uzun dönemli (ilk oluştuklarından beri) soğumalarının anlaşılması üzerine çalışılır(Potekhin, 2011; Yakovlev *ve diğ.*, 2004). İkinci yolda ise zaman zaman kütle aktarımı yapan nötron yıldızlarında bu kütle aktarımı sırasında yüzeyin hemen altında oluşan ısının yayılması yani bu nötron yıldızlarının kabuklarının soğuması takip edilir. Böylece nötron yıldızlarının en derin tabakaları değilse de üst tabakalarının ısıyı nasıl ilettiği ve dolayısıyla bu katmanlardaki maddenin doğası çalışılabilmektedir (Wijnands *ve diğ.*, 2017) Kabuk soğumasının en iyi gözlemlenebileceği sistemler, Düşük Kütleli X-Işın Çifti (DKXÇ) adı verilen ve baş yıldızı nötron yıldızı olan sistemlerdir. Bu sistemler, Güneş benzeri ya da daha düşük kütleye sahip ($< 1M_{\odot}$) bir bileşen yıldız içerirler. Böylece anakolda kalma süresi uzun olan düşük kütleli

bileşen, baş yıldıza uzun süreler sürekli ya da geçici (süreksiz) olarak kütle aktarabilir. Uzun süren kütle aktarımı ve sistemlerin yaşlı olmaları sebebiyle, DKXÇ'lerde bulunan nötron yıldızları genel olarak düşük manyetik alan şiddetlerine (B$\sim 10^{8-9}$ G) sahiptirler.

Birçok DKXÇ'de kütle aktarımı sürekli ya da her zaman yüksek oranlarda olmaz. Aksine, çoğu sistem geçici X-ışın kaynağıdır ve sadece düzensiz ani patlamalar (outburst) olarak gözlenen zamanlarda madde transferi aktif olarak gerçekleşir. Sakin evreler ise yıllar hatta on yıllar mertebesinde olabilir ve bu durumda ya çok çok düşük oranlarda yığılma gözlenir ya da çoğu durumda hiç gözlenemez. Patlamanın olduğu evrede sistemlerde yüksek madde yığılması olur. Böylesi patlamalar haftalardan aylara kadar sürebilirken (sıradan X-ışın geçici kaynakları), bazı sistemler ise yıllar hatta on yıllar mertebesinde parlaklıklarını koruyabilirler (yarı kalıcı geçici X-ışın kaynakları). Sakin evreleri sırasında geçici X-ışın kaynakları çok sönüktür ve sadece çok hassas X-ışın teleskopları tarafından gözlemleri yapılabilir. Bu anlamda yapılmış en erken çalışmalar bize en yakın ve en parlak olan sistemler üzerine olmuştur (Aql X-1, Cen X-4, v.b.) (Asai *ve diğ.*, 1996a,b; Bogdanov *ve diğ.*, 2016; Catuneanu *ve diğ.*, 2013; Heinke *ve diğ.*, 2014). Sonrasında yeni nesil X-ışın teleskopları olan XMM-Newton, Chandra gibi uydu teleskopların fırlatılması ile sakin evredeki sistemler üzerine yapılan çalışmalar daha olgun bir hale gelmiştir. Bu teleskoplarla üzerine yoğunlaşılan ilk kaynaklar, Einsten, EXOSAT ve ROSAT (Campana *ve diğ.*, 1998a) gibi teleskopların üzerinde hali hazırda çalışmış olduğu kaynaklar olmuştur. Ancak sonrasında bu teleskopların gözlem programlarına daha az çalışılmış sistemler ve yeni keşfedilmiş sistemler de eklenerek çalışmalar genişletilmiştir.

En genel anlamda, sakin evrede bulunan nötron yıldızı barındıran DKXÇ'lerin X-ışın ışınımları, 0.2 - 10 keV aralığındadır ve bu aralık yumuşak X-ışın aralığı olarak adlandırılır. Ayrıca, ısısal (< 1 keV) ve ısısal olmayan (> 3 keV) olmak üzere iki bileşenli bir model ile ifade edilebilirler ve bu aralıkta parlaklıkları $L_q < 10^{33-34}$ erg/s (0.5-10 keV) mertebesindedir (Burrows, 2013; Potekhin, 2011; Yakovlev *ve diğ.*, 2004). Yumuşak bileşen genellikle nötron yıldızının yüzey ışınımının bir göstergesi olarak kabul edilir ve yığılan maddeden dolayı ısınmış sıcak nötron yıldızından yayılan soğuma kaynaklıdır. Bu bileşenin varlığının nedeni alternatif olarak nötron yıldızı üzerine düşen az miktarda kütle aktarımı da olabilir (Wijnands *ve diğ.*, 2017). Isısal olmayan bileşenin ise korona veya benzeri bulut içinde yaşanan ters Compton saçılması süreçleri ile elde edilen enerji dağılımını temsil ettiği düşünülse de doğası henüz belirsizliğini korumaktadır (Campana *ve diğ.*, 1998a), (Wijnands *ve diğ.*, 2014). Sert bileşenin varlığı az miktarda da olsa devam eden kütle aktarımının bir göstergesi de olabilir.

Bazı sistemlerde tamamen yumuşak bileşen (Tomsick *ve diğ.*, 2004) hâkimken bazılarında tamamen ısısal olmayan bileşen (Campana *ve diğ.*, 2002a; Degenaar *ve diğ.*, 2012a; Wijnands *ve diğ.*, 2005a) hâkim olabilir.

Özellikle son yıllarda geçici DKXÇ'lerdeki nötron yıldızlarının soğuması üzerine yapılan çalışmalar, nötron yıldızlarının soğuma özelliklerinin ve hatta kütle ve yarıçaplarının belirlenmesine dair önemli ipuçları sunmuştur. Ancak bütün bu çalışmalar yapılırken literatürde çok uzun bir süredir kullanılmakta olan Nötron Yıldızı Atmosfer modeli (NSA, (Zavlin *ve diğ.*, 1996)) ve bu modelin çeşitli türevleri kullanılmıştır. Bu model manyetik alanı ihmal edilebilecek kadar düşük olan ve atmosferlerinde tamamen iyonize Hidrojen barındıran ve rölativistik anlamda yavaş dönen nötron yıldızları için tanımlanmıştır. Ancak bu sistemlerde, uzun süren kütle aktarımı sonucunda yapılan açısal momentum transferi nötron yıldızlarının normal evrimlerinden çok daha yüksek hızlarda, birkaç yüz Hz frekanslarında dönmelerine sebep olmuştur(Potekhin, 2011; Yakovlev *ve diğ.*, 2004). Bu kadar yüksek frekanslarda dönme, dönmeyen bir cisim varsayımı ile oluşturulmuş olan Schwarzschild metriğinde öngörülemeyen bazı rölativistik etkilerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Dönmenin olmadığı durumlarda Schwarzschild metriği tek başına yeterli olabilmektedir. Ancak, ele alınan cisim eğer açısal momentumdan dolayı dönme etkisinde olan bir cisimse, ya Schwarzschild metriği modifiye edilerek ya da farklı bir metriğe geçiş yaparak fiziği anlaşılabilir. Bu açıdan nötron yıldızları dönmeleri üzerinden üç gruba ayrılabilir: i) Yavaş dönen yıldızlar ($\nu < 50$ Hz), ii) Orta hızda dönen yıldızlar (50 Hz $< \nu <$ 300 Hz) ve iii) Yüksek hızda dönen yıldızlar ($\nu > 300$ Hz) (Baubock, 2016). Yavaş dönen yıldızlar için alınan ışınımda Doppler etkisinin büyük bir önemi ortaya çıkacaktır ve bu yüzden de Schwarzschild metriğinde Doppler etkilerini, dikkate alarak hesaplamaları yapmak daha doğru olacaktır. Orta hızda dönen ve yüksek hızda dönen yıldızlarda da Schwarzschild metriği maalesef yetersiz kalmaktadır. Böylesi yıldızlar için Hartle-Thorne metriği (Hartle *ve diğ.*, 1968) kullanılmaktadır. Bunun nedeni, orta veya yüksek hızla dönen bir nötron yıldızının, dönüşün kütle dağılımında yarattığı deformasyondan dolayı küresel simetrisini koruyamamsıdır. Yıldızın kutup kısımlarından yassılaşmış oluşu, kuadropol moment tensörü ile ölçülen, yıldızın dışındaki kütle çekim alanında bir bozulma yaratır. Bu yüzden de, nötron yıldızının yüzeyini ve atmosferini modellerken literatürdeki klasik modelleri kullanmak yetersiz kalacaktır.

Bu tez kapsamında, böylesi rölativistik etkilerin bir kısmını, Baubock *ve diğ.* 2013 ve Baubock *ve diğ.* 2015 çalışmalarında ortaya konulduğu şekli ile hesaba katan yeni bir nötron yıldızı atmosfer modeli üzerine çalışılmıştır. Tezde çalışılan model, geçici kütle aktarımı yapan DKXÇ'lerden soğuması belirgin şekilde gözlenen kaynaklar üzerine uygulanarak, rölativistik etkilerin hesaba katılmasının elde edilen tayfsal ve dönemsel sonuçlarda yaratabileceği değişiklikler incelenmiştir. Tezin 2. bölümünde tezin genel hatlarından, DKXÇ'lerden ve soğuyan DKXÇ'lerinden bahsedilmektedir. 3. bölümde, modelin hazırlanması, verileri kullanılan uydular, verilerin indirgeme ve analizlerinin nasıl yapıldığı ve bu verilerin nasıl tayfsal olarak modellendiği anlatılmıştır. 4. bölümde analizi yapılan verilerin özellikleri üzerine tartışılmış; rölativistik etkilerin hesaba katılmadığı NSA (**N**eutron **S**tar **A**tmosphere Model) ve rölativistik etkilerin hesaba katıldığı rNSA (**r**elativistic **N**eutron **S**tar **A**tmosphere Model) modelleri veriler üzerine uygulanarak ortaya çıkan iki farklı veri grubunun sonuçları sunulmuştur. Son olarak 5. bölümde tez sırasında çalışılan model rNSA ile NSA modelinin karşılaştırılması yapılmış ve bu yeni modelin ayırt edici farkları üzerinde durulmuştur.

# 2. GENEL KISIMLAR

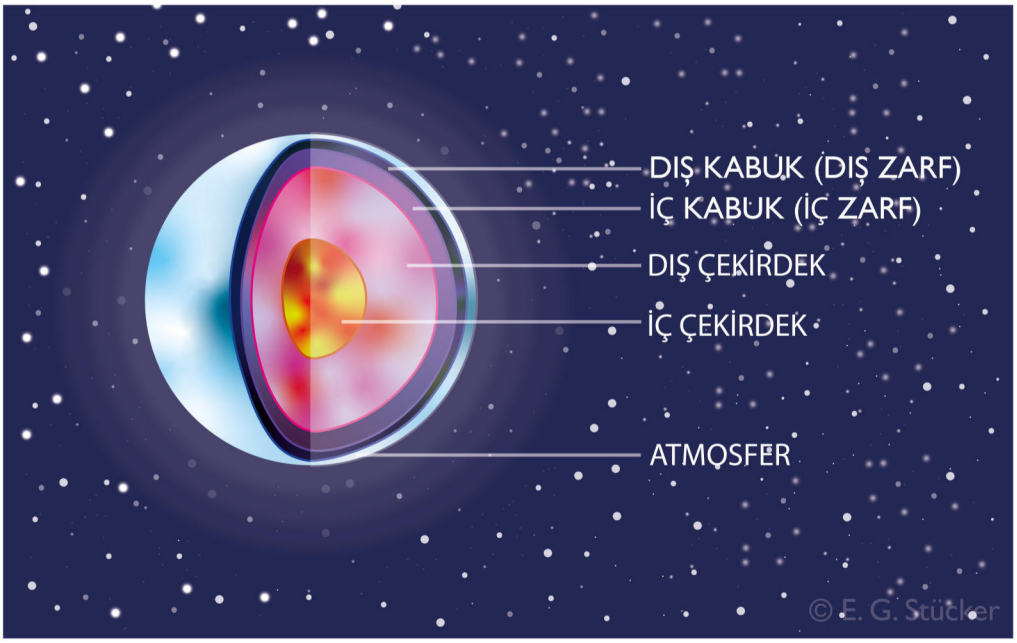
Lev Landau'nun ilk kez tamamen nötronlardan oluşabilecek bir yıldız olabileceği öngörüsü ve Baade ve Zwicky'nin 1934 yılında ilk kez nötron yıldızlarının bir süpernova patlaması sonucu arta kalan bir ürün olduğu fikrini ortaya atmasından sonra nötron yıldızlarının nasıl modellenebileceği üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Oppenheimer *ve diğ.*, 1939; Tolman, 1939). Bu modellemelerin sonucu elde edilen denklemlerde nötron yıldızı maddesinin yüksek yoğunluklarda sıkıştırılmış serbest nötronlardan oluşan bir ideal gaz olabileceği varsayımı ortaya atılmıştır. Ancak, yapılan bu erken çalışmalar, ilk gözlemsel verileri elde edilen nötron yıldızlarının kütleleri ele alındığında başarılı olamamıştır. Sonrasında Cameron'ın yaptığı düzeltmelerle beraber kütle varsayımı doğru olarak ortaya konulmuştur. Gerçekten de bu kütle limiti ileride yapılan gözlemsel çalışmalar ile doğrulanmıştır. Sonrasında Vela ve Crab pulsarlarının keşfi ile nötron yıldızlarının süpernova kalıntıları ile ilişkilendirilmesi ve Hulse ve Taylor'ın ilk çift nötron yıldız sistemini keşfetmesi ile beraber nötron yıldızlarının kütlelerinin tespit edilmesi üzerine yapılan çalışmalar hızla artmıştır (Hulse *ve diğ.*, 1975).

Nötron yıldızlarının iç yapısı ve özellikleri üzerine yapılan çalışmalarda kütle aktarımı yapan çift sistemler büyük bir rol oynar. Bazı sistemlerde kütle aktarımı zaman içerisinde yavaşlama veya hızlanma gösterebilir. Bazı sistemlerde ise yüksek kütle aktarımı olduğu sırada sistemin parlaklığı bir anda azalabilir (Wijnands *ve diğ.*, 2017). Işık eğrilerine bakıldığında, kısa veya uzun bir süre boyunca yığılan maddeden kaynaklı olarak patlamalar (outburst) gösteren ve sonrasında uzunca bir süre ışık eğrilerinde durgun, sakin evrelerin görüldüğü böylesi nötron yıldızları *"geçici nötron yıldızları"* olarak adlandırılmaktadır. Sistem sakin evreye geçtiğinde nötron yıldızı da soğuma evresine geçer. Nötron yıldızlarının soğumasının takip edilip çalışılması iç yapısınının açıklanmasında büyük bir rol oynar. Madde yığılması bittikten sonraki soğumanın oranı, kabuktaki maddenin hâli, yığılma sırasında kabukta biriken enerji ve yıldızın merkez kısımlarında ne tür bir madde bulunduğu ile ilişkilidir.

## 2.1. NÖTRON YILDIZLARI

Nötron yıldızları, kütlesi $\geq 8M_{\odot}$'ten olan yıldızların çekirdeklerinin kütle çekimsel olarak çökmesi sonucu oluşur (Heger *ve diğ.*, 2004). Bu çöküşü ve nötron yıldızının doğuşunu bir süpernova patlaması takip eder. Yeni oluşan bu nötron yıldızı, çok yoğun bir ortama sahiptir ve bu sayede yeryüzünde laboratuvar ortamlarında asla ulaşamayacağımız bir ortam sağlayarak maddenin bu oldukça yoğun halini çalışmamız için muazzam bir olanak sağlar (Glendenning *ve diğ.*, 2012). Yoğunluğun artması ile beraber elektron dejenere basıncı rölativistik olur ve elektronun toplam enerjisi nötron ve proton arasındaki kütle farkını aşar ve ters $\beta$ bozunması gerçekleşmesi ile birlikte ortamdaki protonlar nötronlara dönüşür. Nötron yıldızının üst tabakaları, iç kısımlarına kıyasla daha az yoğundur.

Nötron yıldızları en temel anlamda beş kısımda incelenebilir: atmosfer, dış kabuk, iç kabuk, dış çekirdek ve iç çekirdek. Atmosfer harici olan katmanlar kendi arasında alt katmanlara ayrılmaktadır. Ancak, tez kapsamında alt katmanların üzerinde ayrıntılı bir şekilde durulmayacaktır.




**Şekil 2.1** Nötron yıldızının tabakaları.

### 2.1.1. Atmosfer

Atmosfer, nötron yıldızının en üstünde bulunan ve ısısal ışınım kaynaklı tayfın oluştuğu plazma tabakasıdır. Tayf, yayınlanan ışınımın polarizasyonu ve hüzmelenmesi (beaming) teorik olarak atmosferik tabakalardaki ışınım transfer denklemi çözülerek belirlenebilir. Bu ışınım, etkin yüzey sıcaklığı, yüzeydeki kütle çekimi, kimyasal kompozisyon ve yüzeydeki manyetik alanın gücü ve geometrisi gibi önemli parametrelere ve nötron yıldızlarının kütle ve yarıçaplarına dair bilgi barındırmaktadır. Atmosferin kalınlığı nötron yıldızının yüzey sıcaklığına göre değişim göstermektedir. Etkin yüzey sıcaklığı $T_s \sim 3 \times 10^{6-6.5}$ K civarında olan, sıcak nötron yıldızlarında atmosfer kalınlığı onlarca santimetrelere ulaşırken; etkin yüzey sıcaklığı $T_s \sim 3 \times 10^{5-5.5}$ K civarında olan, soğuk olarak nitelendirebileceğimiz nötron yıldızlarında ise yalnızca birkaç milimetreleri bulmaktadır (Yakovlev *ve diğ.*, 2004).

Nötron yıldızlarının atmosferlerinin modellenmesi bir çok açıdan ele alınarak teorik olarak çalışılmıştır (Zavlin *ve diğ.*, 1996). Üretilen bu modeller, etkin yüzey sıcaklığı $\lesssim 10^5$ K ve manyetik alan şiddeti $\gtrsim 10^{11}$ G olan nötron yıldızlarında iyi bir şekilde çalışmamaktadır ve iyonizasyon ve tayfsal opasite gibi önemli problemler hala açıklanamamaktadır. Bunun nedeni, düşük sıcaklıklar ve yüksek manyetik alanların olduğu durumlarda atomların iyonizasyon enerjisinin artması ve bu sebeple de atomlardan elektron koparmanın zorlaşmasıdır. Ayrıca, modeller atmosferde bulunan tüm elementleri hesaba katmamaktadır ve literatürde bulunan modeller H, He ve C elementleri bulunduran atmosferler üzerinde çalışmaktadır (Ho *ve diğ.*, 2009).

### 2.1.2. Dış Kabuk (Dış Zarf)

Dış kabuk, yüzlerce metre kalınlıklara ulaşan ve tamamen iyonize olmuş elektron ve iyon plazmalarından oluşur. Kabuk atmosferin taban kısmından başlar ve yoğunluğun $\rho \approx 4 \times 10^{11}$ g cm $^{-3}$ olduğu tabakaya doğru uzanır. Bu tabakanın sadece bir kaç metreye ulaşan üst kısmı (yüzey tabakası olarak da adlandırılabilir) dejenere olmayan elektron gazı içerir. Yoğunluğun $\rho \approx 10^6$ g cm$^{-3}$'dan daha fazla olduğu daha derin katmanlarda elektronlar oldukça dejenere ve ultra rölativistik durumdadır (Baym *ve diğ.*, 1971; DouchinHaensel *ve diğ.*, 2000). Bu katmanda basınç elektronlar tarafından sağlanmaktadır. Yoğunluğun $\rho \gtrsim 10^4$ g cm$^{-3}$ olduğu durumlarda ise elektron basıncından dolayı atomlar tamamen iyonize duruma

geçer. Elektronların yakalanması ile birlikte çekirdekte nötralizasyon artar ve çekirdek artan yoğunlukla beraber nötronca daha zengin bir duruma ulaşır. Dış kabuğun en alt kısmında yoğunluk nötron sızdırma yoğunluğuna eriştiğinde[1] iç kabuk tabakası başlar.

### 2.1.3. İç Kabuk (İç Zarf)

İç kabuk, 1-2 km kalınlığında ve yoğunluğun oldukça fazla olduğu katmandır. Bu yoğunlukta artık nötronlar çekirdekten dışarı sızmaya başlar. Ortamdaki elektron yakalama ve $\beta$ bozunumu barındırdığı maddenin kompozisyonundan dolayı yerdeki laboratuar koşullarında gerçekleştirilmesi imkansızdır. Bu tabakadaki madde, nötron ve elektronlardan oluşan akışkan madde içerisinde bulunan nötronca zengin çekirdeklerden oluşur. Ortamda bulunan nötronların büyük bir çoğunluğu süper akışkan fazdadır. Dejenere nötronların ortamdaki yoğunluğundan dolayı bu katmanda dejenere nötron basıncı hakimdir.

### 2.1.4. Dış Çekirdek

Dış çekirdek, birkaç kilometre kalınlıkta ve yoğunluğun iç kabuğun yarım veya iki katı olduğu bölgedir ($0.5\rho_0 \lesssim \rho \lesssim 2\rho_0$). Bu katmanda bulunan nötron maddesi elektron, proton ve müonlarla karışık halde bulunur. Bu madde plazma halindedir ve ortamdaki elektron ve müonlar neredeyse Fermi gazı halinde bulunurlar. Maddenin bütün bileşenleri, proton, elektron ve müonlar, oldukça dejenere haldedirler. Sadece nükleer kuvvert vasıtasıyla etkileşen bu nötron ve protonlar, güçlü etkileşimin görüldüğü Fermi sıvısını oluşturur ve bu sıvı süper akışkan halinde bulunabilir (Becker *ve diğ.*, 2009; Potekhin, 2011; Rezzolla *ve diğ.*, 2018).

### 2.1.5. İç Çekirdek

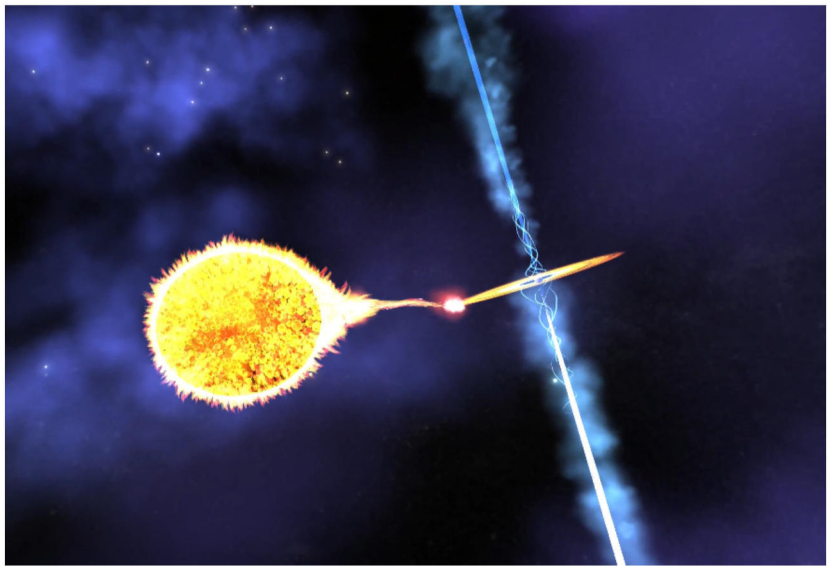
İç çekirdek, yoğunluğun iç kabuğun iki katından daha olan ve kütleli nötron yıldızlarının merkez bölgesinin büyük bir kısmını kaplayan tabakasıdır. Bu tabaka, daha düşük kütleli olan nötron yıldızlarında çok çok küçük bir alanı kapsar ve merkez bölgesine oldukça yakın bulunur. İç çekirdek bir kaç kilometre kalınlığında olabilir ve merkez bölesindeki yoğunluğu iç katmanın 15-20 katına ulaşabilir (Becker *ve diğ.*, 2009; Haensel *ve diğ.*, 2007; Potekhin, 2011; Rezzolla *ve diğ.*, 2018). İç çekirdeğin kompozisyonu ve hal denklemi kurulan modele göre değişiklik gösterir. Ancak, içerisinde ne tür atom altı parçacıklardan oluşan madde

[1] **"nötron sızdırma"** olarak adlandırılmasının nedeni, nötronun yüksek yoğunluktan dolayı çekirdeğin dışına çıkmasıdır. Böylece çekirdeğin dışına çıkan nötronlar nötron gazı oluşturmaya başlar.

barındırdığı bilinmemektedir. Bu katmanda maddenin çok yoğun bir halde olmasından dolayı artık termonükleer yasalar yerine pycnonuclear yasalar çalışmaya başlar. Bu katmanda bulunan madde ile ilgili birçok hipotez mevcuttur ve bu hipotezlere göre madde hiperyonlardan, pionlardan, kaonlardan veya kuarklardan oluşabilir.

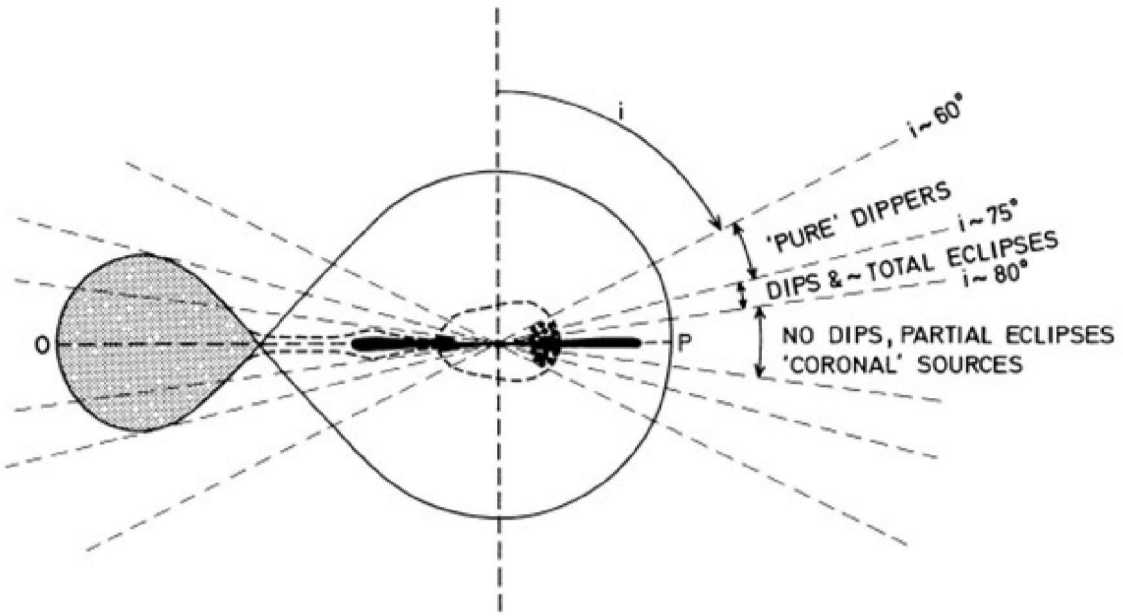
## 2.2. DÜŞÜK KÜTLELİ X-IŞIN ÇİFTLERİ

***Düşük kütleli X-ışın çiftleri (DKXÇ)***, yoldaş yıldızı yaklaşık olarak Güneş kütlesinde veya Güneş kütlesinden daha az olan bir anakol yıldızı ($M \sim M_{\odot}$) ve baş yıldızın bir karadelik veya nötron yıldızı olduğu sistemlerdir. Genel olarak galaktik merkez doğrultusunda, Galaksimizin şişkin (*galactic bulge*) bölgesinde bulunurlar. Bu sistemlerin bir çoğu Galaksimizin şişkin bölgesinde oldukça yoğun olan küresel kümelerde bulunurlar. Küresel kümelerde bulunan yıldızlar oldukça yaşlı sistemlerdir ve çok sayıda yıldız içerir.



**Şekil 2.2** Bir DKXÇ'nin tasviri. E. Stücker; J. Stücker.

DKXÇ'lerde madde aktarımı yoldaş yıldızın Roche lobundan, Lagrange I noktasından, kompakt cismin üzerine doğru yığılma diski oluşturarak olur. Sistemde bulunan yoldaş bileşenin geç tayf tipi, sönük bir yıldız, olmasından dolayı alınan ışınımın büyük bir lısmı X-ışın bölgesinde tespit edilebilmektedir. Yığılma diskinden madde kompakt cismin üzerine yavaş bir şekilde yığılır ve sürtünmeden dolayı yığılma diskinin iç kısımlarında enerji emisyonu olur ve bu emisyon sayesinde gözlemlenen sistem X-ışın bandında aktif olmaya başlar. (Frank *ve diğ.*, 2002; Potekhin, 2011)




**Şekil 2.3** Bir DKXÇ'nin farklı açılardan görünümü. (Frank *ve diğ.*, 2002)

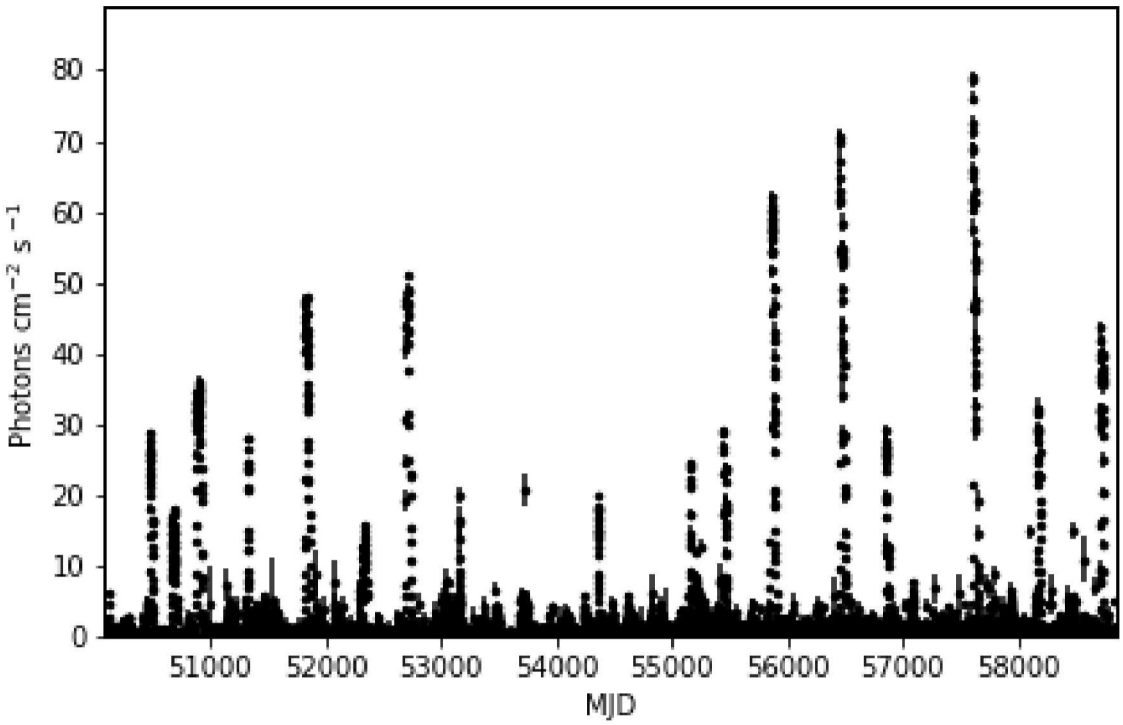
Doğaları gereği DKXÇlerindeki kompakt cisim üzerine çalışmak biraz zordur. Bu zorluk da tıpkı kuasarlarda[2] olduğu gibi, görüş düzlemiyle yaptığı eğim açısı (*i*) ile sistem ayırt edilebilmekte ve sınıflandırılabilmektedir (Frank *ve diğ.*, 2002; Shields, 1999). En parlak ve ışınım şiddeti en yüksek olan kaynaklar genellikle bu açının çok küçük olduğu sistemlerdir ve açının küçük olmasından dolayı bu sistemler gözlemcinin gözlem doğrultusuna göre gözlemlenebilmektedir. Örneğin, gözlem doğrultusu sistemin diski ile çakışıksa sistemin çift bir sistem olup olmadığı kolay bir şekilde belirlenemez. Sistemlerin gözlem doğrultularına göre yaptığı farklı açılar, sistemleri farklı şekillerde sınıflandırmamızı sağlar. Daha düşük ışınıma sahip olan kaynaklarda ışık eğrileri incelendiği zaman tutulmalara ve çukurlara rastlanır. Açının değişimine ek olarak, tıkız cismin etrafında bulunan yığılma diskinin yüksekliği de sistemde neler olduğunu anlamak üzerine önemli bir rol oynamaktadır. Diskin incelip kalınlaşması, görülen soğurma çizgilerinin özellikleri üzerinde bir etkiye sahiptir. Diskin incelip kalınlaşması nedeni, Lagrange noktasından ($L_1$) akan plazmanın plazma akışının ince disk ile etkileşime girdiği noktada kalınlığının daha fazla olması olabilir.

DKXÇ'leri gözlemci doğrultusuyla yaptığı açının dışında, madde yığılımını ele alarak da

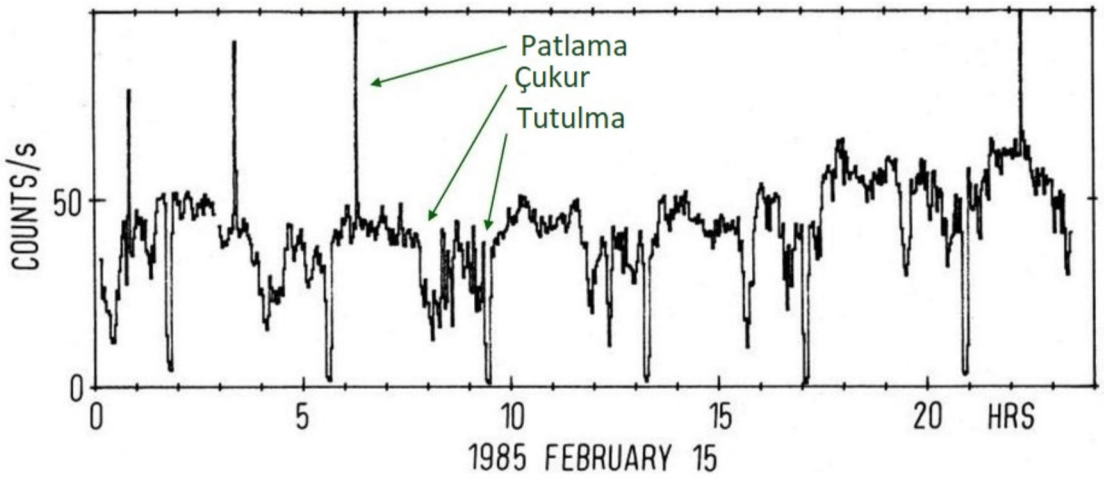
[2] Merkezi parlak, yani aktif bir gökada çekirdeği olan, kırmızıya kayması yüksek olan ve çoklu dalga boylarında ışınım yayan gökcisimleri.

sınıflandırabiliriz. En genel anlamda, ***Sürekli Kaynaklar*** ve ***"Geçici Kaynaklar"*** olarak iki ana başlık altında incelenebilir. ***Geçici kaynaklar***, ışık eğrileri ele alındığında sessiz bir görünüm sergiler ve kısa bir süreliğine birden kaynaktan gelen foton sayısı onlarca, yüzlerce veya binlerce katına çıkarak sönük olan kaynağı çok parlak bir hale getirir. Ancak bu parlaklık geçicidir ve kaynak günler, haftalar veya aylar sonrasında sessiz haline geri döner ve bu hali on yıllar boyunca koruyabilir. Bu parlamalar düzensizdir. Bazen patlama gösteren kaynak 1-2 sene sessiz evrede bulunduktan sonra yeni bir patlama gösterirken, bazı kaynaklar yeniden parlama göstermeyebilir. Bu davranışın nedeninin madde yığılma oranındaki ani bir değişiklik olduğu düşünülmektedir. Arada sırada kaynaklar sessiz evrede olduğu zamanlarda ışık eğrisinde kısa süreli ve düşük şiddete sahip parlamalar gözlemlenebilir. Bu değişime, madde yığılımından sonra bazen diskin geri çekilmesinden dolayı arda kalan maddenin nötron yıldızı üzerine düşmesi, nötron yıldızının manyetosterine düşen madde veya değişken kolon yoğunluğu ($N_H$) neden olarak gösterilebilir. Bu sistemler genellikle yumuşak X-ışınlarında ışınım yaparlar. Ayrıca uzun dönemler boyunca (yıllar, hatta on yıllar) zaman zaman yaşanan bu artık madde yığılımından kaynaklı ışınım artışlarına rağmen ortalamada oldukça düşük ($10^{34}$ erg $s^{-1}$) X-ışın ışıtmasına sahiptirler. Patlamalar olduğunda da böylesi kaynakların ışıma gücü $10^{36-38}$ erg $s^{-1}$'e yükselebilir. Bu artış ve sakinlik evrelerine Aql X-1'in **Şekil 2.4**'de verilen ışık eğrisi örnek olarak gösterilebilir. Işık eğrileri hazırlanırken Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE/ ASM) verilerinde Monitor of All-Sky X-ray Image (MAXI) ile sağlıklı karşılaştırma yapabilmek ve ışık eğrisini iyi bir şekilde anlayabilmek açısından düzeltme faktörü uygulanmıştır. (Gungor *ve diğ.*, 2014)

Geçici olarak kütle aktarımı yapan sistemlerde patlamalar, bileşen yıldızdan kütle transferi başladığı zaman ya da yığılma diskinde viskozite artıp iç bölgelere doğru madde akımı başladığı zaman oluşur. Bu şekilde iç bölgelere doğru madde transferi başlayınca da kaybedilen kütle çekimsel potansiyel enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşerek yayınlanır. Böylece yığılma diskinin iç kısımlarında sıcaklık $10^7$ K'lere kadar yükselebilir. Eğer nötron yıldızının çekirdek sıcaklığı bu değerden daha düşük ise, bu sıcaklığın bir kısmı nötron yıldıznın iç kısımlarına doğru iletilecektir. Ancak, nötron yıldızının okyanus tabakasının altında bulunan maddenin sıkıştırılması, bu tabakaların sıcaklıklarının çok daha üzerinde olan sıcaklıklara hızlıca ısıtılmasına götüren elektron yakalama tepkimelerine neden olacaktır. Bu sebepten dolayı da, çekimsel enerjinin yayımlanmasının yarattığı içe doğru olan ısı akışı durdurulacaktır (Fujimoto *ve diğ.*, 1989; Miralda *ve diğ.*, 1990).




**Şekil 2.4** Aql X-1'e ait RXTE/ ASM ve MAXI'nin verileri kullanılarak elde edilen ışık eğrisi.




**Şekil 2.5** EXO 0748-676'nın 15 Şubat 1985 yılına ait ışık eğrisi. Grafikte patlama, çukur ve tutulma özellikleri açıkça görülmektedir.Parmar *ve diğ.* (1986)

Nötron yıldızı çekirdeği büyük bir olasılıkla kabuğun derinlerinde oluşan reaksiyonlar tarafından daha baskın bir şekilde ısıtılmaktadır (Brown *ve diğ.*, 1998). Madde nötron yıldızı üzerine düştüğünde, altta, daha önce yığılmış olan madde daha derin katmanlara daha yüksek yoğunluklara sıkıştırılmaktadır. Eninde sonunda başlangıçtaki katalize olmuş kabuk yığılma sonucu oluşmuş olan kabuk ile yer değiştirecektir. Bu durumda, başlangıçtaki kabuk bir

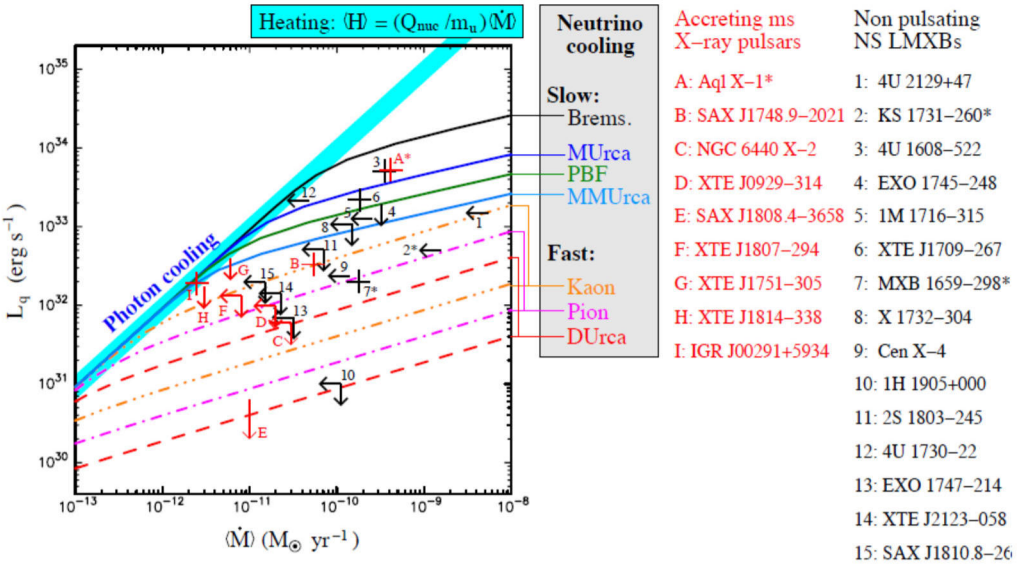
noktadan sonra çekirdek ile kaynaşmış olacaktır (Haensel *ve diğ.*, 1990b; Sato *ve diğ.*, 1979). Böylesi yığılma kaynaklı oluşmuş olan yeni kabuk, başlangıçtaki kabuktan tamamen farklı bir kompozisyona sahip olacaktır. Örneğin düşük atom numaralı elementler bakımından çok daha zengin olacaktır. Böylesi bir kabukta maddenin sıkıştırılması elektron yakalama, nötron salması ve pycnonuclear reaksiyonlar [3] gibi reaksiyonlara sebep olacaktır (Haensel *ve diğ.*, 1990a, 2003, 2008; Sato *ve diğ.*, 1979). Toplamda, bu reaksiyonlar yığılan her nükleon başına 1-2 MeV'luk enerji üretecektir. Enerjinin çoğu $10^{12-13}$ g/cm$_3$ 'lük yoğunluğa sahip kabuk tabakalarında gerçekleşen pycnonuclear reaksiyonlar tarafından üretilir. Bu sürece *"derin kabuksal ısıtma"* modeli adı verilir (Brown vd. 1998). Bu katmanlar bu reaksiyonlar tarafından ısıtılacak ve üretilen enerji yavaşça nötron yıldızı çekirdeğine doğru iletilecektir.

(Brown *ve diğ.*, 1998) tarafından gösterildiği üzere bu şekilde çekirdeğin ısısı $10^4$ yıllık bir zaman ölçeğinde artmaktadır. Sakin evre sırasında yani belirgin miktarda kütle aktarımı yokken bu sıcaklık ısısal olarak salınacak nötron yıldızı soğuyacaktır(Colpi *ve diğ.*, 2001; Wijnands *ve diğ.*, 2013). Gözlenen sakin evre ışıma gücü ortalama zaman üzerinden nötron yıldızı üzerine yığılan madde oranına ve çekirdekte aktif olan nötrino emisyon sürecine bağlıdır.

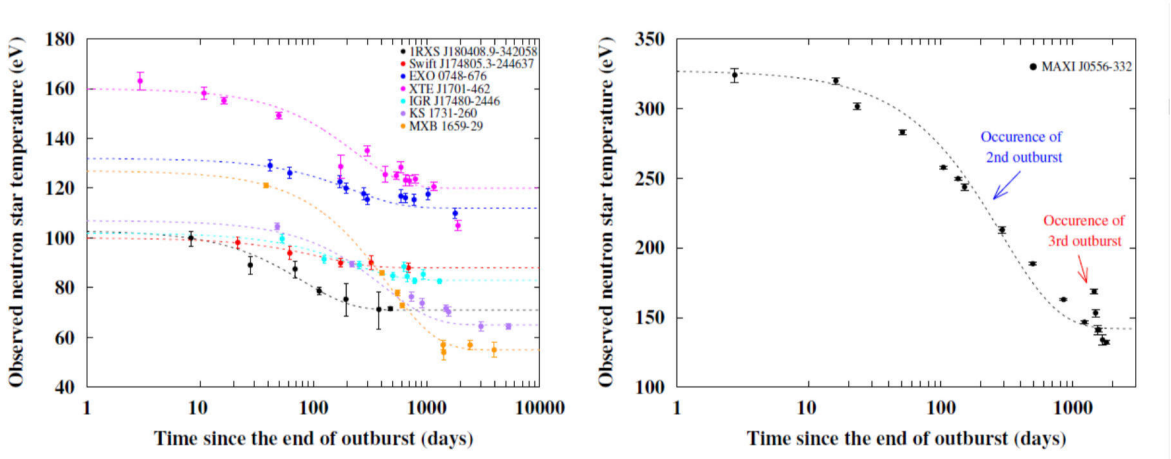
## 2.3. SOĞUYAN KAYNAKLAR

Sakin evrede gözlenen kaynaklarda çekirdeğin ve kabuğun ısısal dengede olduğu varsayılır (Wijnands *ve diğ.*, 2017). Bu varsayım, sistem son patlamanın bitiminden uzunca bir süre sonra gözlemlenmiş ise mantıklıdır. Böylece kabukta üretilen ısının tamamen içe, çekirdeğe ve dışarıya, yüzeye doğru iletilmesine izin verilmiş olur. Kısa süreli patlamalar gösteren sıradan geçici kaynaklar için (haftalarca veya aylarca) patlama sırasında kabuktaki sıcaklığın nispeten minimal bir şekilde artması beklendiği için bu varsayım geçerliliğini korumaktadır. Patlama sona erdiğinde çekirdek ve kabuk yine dengede olacaktır. Bu kaynakların çok uzun süreli patlamaları kabuk içinde yeterli sıcaklığı yaratacak böylece çekirdek ile birlikte kuvvetli bir biçimde dengenin dışına çıkacaktır ve kabuğun soğuyup çekirdek ile ısısal dengeye erişmesi belki de yıllar alacaktır (Wijnands *ve diğ.*, 2017).

[3] Pycnonuclear reaksiyonlar, çekirdekler kafes yapılarında donduğu zaman yüksek yoğunluklu maddelerde meydana gelen reaksiyonlardır. (Lai, 1997)




**Şekil 2.6** Seçilen bazı geçici nötron yıldızı içeren DKXÇ için farklı soğuma senaryolarını da içeren, sessiz evre ışıma gücüne ($L_q$) karşılık madda yığılım ortalamasının oranı grafiği. (Wijnands *ve diğ.*, 2013, 2017)




**Şekil 2.7 Solda:** Literatürdeki soğuması gözlenen tüm sistemlere ait, MAXI J0556-332 hariç, soğuma eğrileri. **Sağda:** MAXI J0556-332'a ait soğuma eğrisi (Wijnands *ve diğ.*, 2017).

(Brown *ve diğ.*, 1998)'de bazı sıradan geçici kaynakların alt gruplarında olanların kabuk soğumalarının patlama bitiminin ardından da gözlenebileceğini öne sürmüştür. Bu bağlamda en iyi adaylar nispeten olarak daha soğuk çekirdeğe sahip olan sistemler (baz sıcaklığı düşük olan sistemler) ve çok parlak patlamalar gösteren sistemler (yaklaşık olarak $10^{37}$ erg/s 'i aşan parlaklıklar) olabilir. Bu hipotez sıradan geçici kaynakların patlama sonrası gözlemleri yapılarak tespit edilebilir. Ayrıca bu gözlemler sayesinde kabukta ısınma veya soğuma olup olmadığı da tespit edilebilir. Bu anlamda şu ana dek literatürde birçok kaynak

üzerine çalışmalar yapılmıştır (Bahramian *ve diğ.*, 2014; Degenaar *ve diğ.*, 2011a; Waterhouse *ve diğ.*, 2016) ve yapılmaya da devam edilmektedir.

## 2.4. DKXÇ'LERDEKİ NÖTRON YILDIZLARININ YÜZEY IŞINIMI

Kara cisim, üzerine düşen tüm ışınımı soğurabilen ve yayabilen teorik bir cisimdir. Ayrıca, tüm dalga boylarında mükemmel bir soğurucu veya mükemmel bir salma gösteren bir cisim olarak ele alınabilir. Nötron yıldızları da Evren'de kara cisim ışımasına yakın bir ışıma beklenenen gökcisimleridir. Ancak, yapılan modellemeler nötron yıldızlarının kabuk tabakasının üzerinde iyonize H; bazen de H'e ek olarak He ve C'den oluşan bir atmosfer olması gerektiğini ortaya koymuştur (Zavlin *ve diğ.*, 1996).

Bu sebeple, her ne kadar bir nötron yıldızından gözlenen yüzeyden salınan ışınım, yığılma, yüzeyde gerçekleşen nükleer reaksiyonlar, manyetik alanın yoldaş yıldızın maddesi ile etkileşimi sebebiyle bozunması, dönme kaynaklı enerji kaybı ve yıldızın iç sıcaklığının salınması gibi pek çok farklı fiziksel mekanizma tarafından oluşturulabilir olsa da gözlediğimiz ışınım nötron yıldızlarının atmosferlerinin fotosfer tabakalarından bize ulaşır ve bu tabakanın altında farklı fiziksel süreçler sonucu oluşan ışınım uzaktaki gözlemciye ulaşmadan önce fotosferde tekrar işlenir. Nötron yıldızlarında atmosfer olması gerekliliğinin sebeplerinden birisi Bondi-Hoyle yığılmasıdır. Yıldızlararası ortam için yaklaşık bir yoğunluk ve ortalama bir nötron yıldızının uzay hızı dikkate alındığında gösterilebilir ki bir nötron yıldızının yüzeyinin tamamının Hidrojen ile kaplanması için gerekli zaman ölçeği 1 yıldan azdır (bkz. ör.; (Ozel *ve diğ.*, 2013)). Tez kapsamında incelenen kaynaklarda yoldaş yıldızdan hali hazırda bir madde aktarımı söz konusu olduğu için bu durum dikkate alınmamıştır. Ancak bu noktada yüzeyde biriken maddenin kimyasal kompozisyonu önem taşımaktadır. Literatürde bu durum için çeşitli opsiyonlar incelenmiş ise de (ör. Zavlin *ve diğ.*, 1996), (Suleimanov *ve diğ.*, 2011)) ve henüz kesin bir kompozisyon modeli ortaya çıkarılamamıştır (Brown *ve diğ.*, 2002).

Yüksek yüzey çekim ivmeleri sebebiyle bir nötron yıldızının yüzeyine aktarılan maddenin kabuğa çökmesi için zaman ölçeği, aktarılan maddenin atom numarasına bağlıdır. Aktarılan maddenin kompozisyonunda bulunan elementin atom numarası küçük ise daha yavaş; yüksek ise daha hızlı bir şekilde çökecektir. Bu bağlamda örneğin Oksijenin çökme zaman ölçeği 0.013 saniye mertebesinde olması beklenmektedir (Brown *ve diğ.*, 2002), (Ozel *ve diğ.*, 2013). Bu yüzden Hidrojen'den daha ağır elementler ancak ortamda daha hafif element yoksa

yüzey ışınımını etkileyebilirler. Bu nedenlerden dolayı da literatürde nötron yıldızı atmosfer modelleri çoğunlukla Hidrojen ya da Helyum atmosferleri varsayılarak geliştirilmektedir. Bu modellerde de H ve He'nin tamamen iyonize bir biçimde ortamda bulundukları varsayılır. Çünkü, oldukça yüksek manyetik alan şiddetleri dışında, gözlenen X-ışınlarının üretilmesi için gerekli sıcaklıklarda Hidrojen ve Helyum tamamen iyonize olması gerekir. Yine de, (Ho *ve diğ.*, 2009) çalışmasında sunulduğu üzere bazı nötron yıldızlarının atmosferinde ek olarak C gibi elementler de gözlemlenebilir. Nötron yıldızının yüzey ışınımının modellenmesi, atmosferin hidrostatik dengede ve yüzeyden gelen ışınımın basıncı ile yüzeydeki kütle çekimsel kuvvetin dengede olmasını gerektirir. Bununla birlikte, nötron yıldızı atmosferinin yüksekliğinin yıldızın yarıçapının yanında oldukça küçük olmasından dolayı düzlem paralel atmosfer varsayımını kullanılabilir. Atmosferin akısını ve akısından yola çıkarak da sıcaklığını bulmak için ise atmosferin radyatif dengede olduğu varsayımı kabul edilir. Tüm bu kabuller ele alındığında, yüzey ışınımını modellemek için: 1) Hidrostatik Denge, 2) Düzlem Paralel Atmosfer ve 3) Radyatif Denge varsayımlarına ait olan üç temel denklemin çözümlenmesi gerekir (Mihalas, 1978). Bu denklemler detaylı bir şekilde Zavlin *ve diğ.*, 1996 ve ayrıca Ozel *ve diğ.*, 2013'de ele alınmıştır.

Nötron yıldızı atmosfer modellerindeki önemli varsayımlardan biri de düzlemsel paralellik varsayımıdır. Bu varsayım;

$$h \approx 2\,\frac{k_b\,T}{m_p\,g} \sim 8.8\,\left(\frac{T}{10^7\,K}\right)\,\left(\frac{R}{10\,km}\right)^2\,\left(\frac{M}{1.4\,M_\odot}\right)^{-1}\,cm \tag{2.1}$$

ile tanımlanabilir. Atmosferdeki maddenin tamamen iyonize olduğu varsayımı altında, eşitlikte **T** atmosferin sıcaklığı, $\mathbf{k}_b$ Boltzmann sabiti, $\mathrm{m}_p$ protonun kütlesidir. Bu yükseklik ölçeği, nötron yıldızı yarıçapından oldukça küçüktür ve düzlem paralel atmosfer yaklaşımını geçerli kılar (Ozel *ve diğ.*, 2013; Zavlin *ve diğ.*, 1996).

Yüzeyden yayınlanan ışınımın modellenmesini açıklayabilmemiz için gereken son varsayım ise radyatif denge varsayımıdır.

$$F_\nu = \frac{-4\pi}{3}\left(\frac{1}{\chi_\nu}\frac{\partial B_\nu}{\partial T}\right)\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right). \tag{2.2}$$

Bu bağıntı, yüksek optik derinlik limitinde geçerlidir. $\chi_\nu$, enerjiye bağımlı sönümleme (soğurmanın yanında saçılma) katsayısı, **B** kara cisim fonksiyonudur. Sonuç olarak, yüzeyden yayınlanan ışınım etkin sıcaklık, kimyasal kompozisyon, yüzeydeki kütle çekimsel ivmelenme ve manyetik alan şiddetine bağlıdır (Ozel *ve diğ.*, 2013).

## 2.5. NÖTRON YILDIZLARININ YÜZEY IŞINIMININ RÖLATİVİSTİK OLARAK AÇIKLANMASI

Uzak bir gözlemci tarafından gözlemlenen fotonların modellenmesi için rölativistik etkilerin de işin içine katılması gerekir. Bu etkiler arasından en basit olanı, literatürdeki modellerin de kullanmakta olduğu Schwarzschild metriğinin kullanıldığı durumda ortaya çıkan kütle çekimsel kırmızıya kaymanın[4] etkileridir (ör. (Pechenick *ve diğ.*, 1983). Ancak, Schwarzschild metriği dönmeyen cisimler için geçerlidir ve sadece düşük dönüş frekanslarında uygulanabilirdir. Dönmenin hesaba katıldığı Kerr metriği ise bir nokta kaynak için hesaplanmakta olduğu için, nötron yıldızlarına doğrudan uygulanamamaktadır (Baubock *ve diğ.*, 2013; Frutos *ve diğ.*, 2017; Kerr, 1963).

Einstein alan denklemlerinin ilk kez 1916 yılında dönmeyen ve küresel simetrik olan cisimler için çözümü Schwarzschild tarafından yapılmıştır (Schwarzschild, 1916). Hemen sonrasında, Reissner tarafından 1916 yılında sıfırdan farklı elektrik yüküne sahip olan küresel simetrik cisimler için çözüm ortaya atılmıştır (Reissner, 1916). Ancak bütün bu çözümler astrofiziksel nesnelerin fiziğini anlamak için yetersiz kalmıştır. Kerr 1963 yılında (Kerr, 1963) ilk kez sıfırdan farklı açısal momentuma sahip olan cisimler için bir çözüm sunmuştur. Kerr metriği dönen bir karadeliğin etrafındaki uzay zamanın tanımlanması için kesin bir çözüm sunar ve kütle dağılımları küresel olarak simetrik olması koşuluyla, dönen astrofiziksel cisimler için de geçerlidir. Kerr ve Schwarzschild metriği, bazı gök cisimleri için ayrı ayrı uygulama açısından yeterli olurken nötron yıldızları gibi cisimler için iki metrik ayrı ayrı yeterli olamamıştır. Bu durum da fizikçileri bu iki metrik arasında ortak bir çözüm bulunmasına itmiştir (ör. Baubock

[4] Yıldızın kompaktlığına bağlı olarak yüzeyden çıkan fotonlar, uzaktaki bir gözlemciye göre kırmızıya kaymış olarak görünürler.

*ve diğ.*, 2013; Glampedakis *ve diğ.*, 2006; Hartle *ve diğ.*, 1968; Morsink *ve diğ.*, 2007). Bu çözüm 1968 yılında bulunan Hartle-Thorne metriğidir. Bu metrik yavaş dönen, eksensel olarak simetrik ve katı olan cisimlerin etrafındaki uzay-zaman için geçerli olan Einstein alan denklemlerinin kesin bir çözümünü sunar (Abramowicz *ve diğ.*, 2003). Bu çözüm, kütle dağılımlarının Einstein alan denklemlerinin multipol moment açısından olan çözümlerini çürütmüştür. Ortaya konulan yaklaşımda, kuadropol kütle momentine sahip herhangi bir cisim için ikinci dereceden bir çözüm sunulmuştur (Hartle *ve diğ.*, 1968). Bu sayede de, dönen bir astrofiziksel cismin yüzeyinden çıkan fotonların rölativistik açıdan ele alınması sağlanmıştır.

Yüzeyden çıkan fotonlara dönmenin iki önemli ve temel etkisi vardır. Bu etkiler Doppler kayması ve uzay-zamanda oluşan alan sürüklenmesidir. Uzaktaki bir gözlemci için nötron yıldızından gelen fotonların enerji dağılımı, nötron yıldızının kütlesi (M), yarıçapı (R), dönme frekansı ($\nu$), dönme ekseninin kutbu ile gözlemcinin bakış doğrultusunun yaptığı açı ($\phi$), dönme açısal momentumu (J), uzay-zamanın kuadropol momenti (Q) ve yüzey eksentirisitesine (e) bağlıdır. Bu parametrelerin hepsi ayrı ayrı gözlenen ışınımın tayfsal ve zamansal özelliklerini değiştiriyor olsa da, dönme açısal momenti, yıldızın yüzey elliptisitesi (basıkığı) ve uzay-zaman kuadropol momentini nötron yıldızının kütle ve yarıçapı cinsinden yazabilmek mümkündür (Baubock *ve diğ.*, 2013; Lattimer *ve diğ.*, 2001; Ravenhall *ve diğ.*, 1994; Yagi *ve diğ.*, 2013).

### 2.5.1. Dönmeyen Yıldızlar İçin Uzay-Zaman

Küresel simetriye sahip, dönmeyen cisimlerin etrafındaki uzay-zaman *Schwarzschild metriği* ile tanımlanır. v=c olmak üzere;

$$\begin{aligned} U &= K \\ \frac{GMm}{r_s} &= \frac{1}{2}mc^2 \\ r_s &= \frac{2GM}{c^2} \end{aligned} \tag{2.3}$$

eşitlikte $r_s$ Schwarzschild yarıçapı, $c$ ışık hızı ve $G$ ise evrensel kütle çekim sabitidir. Schwarzschild koordinatlarında Schwarzschild metriğine ait çizgi elementini tanımlanacak

olursa;

$$ds^2 \;=\; -\left(1-\frac{2GM}{r}\right)\,dt^2+\left(\frac{1}{1-\frac{2GM}{r}}\right)\,dr^2+r^2\,d\theta^2+r^2\,sin^2\theta\,d\phi^2 \tag{2.4}$$

burada $M$ nötron yıldızının kütlesidir. Denklemde işlem kolaylığı olması açısından tezin devamındaki denklemlerde G= c= 1 olarak alınmıştır (Baubock, 2016).

Schwarzschild metriğindeki yıldızın dönüşü, düz bir uzay-zamanda bulunan bir yıldızdan iki şekilde farklılık gösterecektir. Bunlardan birincisi, yıldızın yüzeyinden salınan ışınımın uzaktaki bir gözlemciye giden yolda merceklenmeye maruz kalmasıdır (Baubock *ve diğ.*, 2012, 2013; Baubock, 2016). Bu merceklenme, yüzey alanının daha büyük bir kısmının sonsuzdaki bir gözlemci tarafından görülebilmesine ve sonuç olarak da görünen yarıçapının sahip olduğu asıl $R$ yarıçapından daha büyük görünmesine neden olur. İkincisi ise, yıldızın yüzeyinden gelen fotonlar $\sqrt{1-\frac{2GM}{R}}$'nin bir katı olarak kırmızıya kayacak olmasıdır. Bundan dolayı da, sonsuzdaki bir gözlemci tarafından ölçülen sıcaklık yıldız yüzeyinde yerel olarak ölçülen sıcaklıktan daha düşük olacaktır (Baubock *ve diğ.*, 2012, 2013; Baubock, 2016).

### 2.5.2. Dönen Yıldızlar

Herhangi bir şekilde dönme etkisinde olan yıldızların etrafındaki uzay-zamanı anlamak için Schwarzschild metriği dışında bir metrik kullanılması gerekir. Bu metrikler arasında literatürde en yaygın olarak kullanılanı Doppler etkilerinin de hesaba katıldığı Schwarzschild yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda, tıpkı standart Schwarzschild metriğinde olduğu gibi uzay-zaman küresel simetrik olarak ele alınır. Ancak sonsuzda hesaplanan tayf ve ışık eğrilerine yüksek hızlardan kaynaklanan özel Doppler terimleri eklenir (Glampedakis *ve diğ.*, 2006). Bu yaklaşım her ne kadar özensiz gözükse de, dönüşü kütle çekimsel etkilerden ayırabildiği için oldukça yavaş bir dönüşe sahip olan yıdızlar için son derece kullanışlıdır. Uzay-zamanın küresel simetrisi, bazı merceklenme etkilerinin analitik olarak hesaplanmasına izin verir ve gerektiği durumlarda ışın izlemesinin[5] hesaplama karmaşıklığını azaltır.

[5] ışın izlemesi, *"ray tracing"*: Fizikte ışın izleme veya "ray tracing", değişen hız vektörü, soğurma karakteristikleri ve yansıma yapan yüzeylere sahip sistemlerdeki dalga veya parçacıkların izlediği yolu hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir.

Yavaş dönen nötron yıldızları için bu yaklaşım pek uygun bir çözüm sunmasa da yaklaşık bir çözüm sunar. Kerr metriği ise, dönen ve küresel kütle dağılımına sahip cisimler için kesin çözüm sunan bir metriktir. Metrik, alan sürüklenmesini[6] hesaba katar. Bu etki, dönen nötron yıldızının yakınındaki eylemsiz bir gözlemcinin yıldız ile birlikte belli bir açısal hıza eşit olarak dönmesine neden olur. Diğer bir yandan Kerr metriği kuadropol manyetik moment varsayımında da bulununur. Örneğin, karadeliklerin aksine nötron yıldızları, dönüş frekansları arttıkça küresel simetrik olarak kalamazlar. Bunun yerine şekil olarak kutup kısımlarıdan yassılaşmaya başlarlar bu da daha fazla manyetik kutup momenti olmasına neden olur. Bu sebepten dolayı Kerr metriği, çok daha hızlı dönen cisimler için tek başına uygun bir yaklaşım değildir.

Yıldızın yüzeyinden yayımlanan tayf hızlı dönen yıldızın dönüşünden dolayı etkilenmektedir. Önce dönme frekansı yüzeyden yayınlanan fotonlardan dolayı Doppler kaymasına uğrar ve toplam akı korunurken yüzeyden gözlemlenen tayf genişler (Glampedakis *ve diğ.*, 2006). Sonrasında yine dönmenin etkisinden dolayı yıldızın yüzeyi basıklaşmaya başlar ve yıldızda sıfırdan faklı olmak üzere, kuadropol moment etkileri gözlenmeye başlar (Hartle *ve diğ.*, 1968). Bu etkilerin gözlendiği yaklaşım Hartle-Thorne yaklaşımıdır (Hartle *ve diğ.*, 1968). Bu yaklaşım, en genel anlamda nötron yıldızının etrafındaki uzay-zamanı çok kutuplu momentleri dikkate alarak çözüm sunar ve Kerr metriğinin yaklaşık bir çözümüdür. Bu yaklaşım doğrultusunda metrikteki dörtten fazla kutbu temsil eden yüksek dereceli momentrler sıfır alınırken; dört kutba kadar olan kütle momentleri olduğu gibi kullanılır. Hartle-Thorne metriğinde ifade edilebilecek bir çizgi elementi;

$$\begin{aligned} ds^2 = &-\left(1-\frac{2Mr}{\Sigma}\right)\,dt^2 \;-\; \left(\frac{4Mar\,sin^2\theta}{\Sigma}\right)dt\,d\phi \;+\; \left(\frac{\Sigma}{\Delta}\right)dr^2 \\ &+\sum d\theta^2 \;+\; \left(r^2 \;+\; a^2 \;+\; \frac{2Ma^2r\,sin^2\theta}{\Sigma}\right) + \sin^2\theta\; d\phi^2. \end{aligned} \tag{2.5}$$

olarak tanımlanır (Alfaro *ve diğ.*, 2017; Baubock *ve diğ.*, 2013). Denklemdeki $\Delta$ ve $\sum$; tanımlanacak olursa;

[6] alan sürüklenmesi, "frame dragging", Lens-Thirring efekti: dönmeye sahip bir kütlenin etrafındaki uzay zamanı sürüklemesi.

$$\Delta = r^2 - 2Mr + a^2 \tag{2.6}$$

$\Sigma$;

$$\sum = r^2 + a^2 cos^2\theta \tag{2.7}$$

terimleri yerine işlem kolaylığı için kullanılmıştır. a ise, nötron yıldına ait boyutsuz dönüş parametresini temsil etmektedir;

$$a = \frac{J}{M^2}. \tag{2.8}$$

Burada J, açısal momentumdur.

Glampedakis-Babak yaklaşımı, kuadropol momentin makul bir değerde alınmasına izin veren Kerr metriği etrafında bir genişlemedir. Kerr metriğinin yarı yaklaşık bir çözümüdür. Aslında, Hartle-Thorne metriğinin hızlı dönen nötron yıldızları için Glampedakis-Babak tarafından (Glampedakis *ve diğ.*, 2006) modifiye edilmiş bir versiyonudur. $f_s$, nötron yıldızının dönüş frekansı ve $f_0 = \sqrt{GM / R^3} / 2\pi$ karakteristik dönüş frekansı olmak üzere (Hartle *ve diğ.*, 1968); $f_s/f_0$ oranında nötron yıldızının dönme göstermediği durum, sadece yıldızın kütlesine bağlı olan ve küresel simetrinin olduğu Schwarzschild metriğidir (metrikteki sıfırıncı dereceden terim). $f_s/f_0$ oranının sıfırdan farklı olduğu durumda ise belirli bir dönme vardır ve yıldız hala küresel olarak simetrisini korumaktadır. Yani, Kerr metriği oranının birinci dereceden olan formunda karşımıza çıkmaktadır. Dönüşün daha büyük olduğu durumlarda ise yıldız artık küresel simetriden sıyrılarak kutuplardan basıklaşmaya başlar. Bu noktada Hartle-Thorne metriği devreye girer (ikinci dereceden terimler). Çok çok daha yüksek dönmenin olduğu durumlarda ise nötron yıldızının etrafındaki uzay-zamanı anlamak için analitik hesaplamalar yeterli olmaz ve ancak nümerik hesaplamalarla belirli sonuçlar elde edilebilir (Cook *ve diğ.*,

1994; Stergioulas *ve diğ.*, 1995).

Boyer-Lindquist koordinatlarında Hartle-Thorne Glampedakis *ve diğ.* 2006 yaklaşımını yazacak olursak;

$$g_{\mu\nu} = g^{K}_{\mu\nu} + \eta a^2 h_{\mu\nu} \tag{2.9}$$

burada $g_{\mu\nu}$, Kerr metriğine ait 2.5'e karşılık gelen metrik elementidir. Kuadropol düzeltme kovaryant biçimde yazılacak olursa;

$$\begin{aligned} h^{tt} &= \left(1-\frac{2M}{r}\right)^{-1} \left[\left(1-3cos^2\theta\right)\mathscr{F}_1(r)\right], \\ h^{rr} &= \left(1-\frac{2M}{r}\right) \left[\left(1-3cos^2\theta\right)\mathscr{F}_1(r)\right], \\ h^{\theta\theta} &= -\frac{1}{r^2} \left[\left(1-3cos^2\theta\right)\mathscr{F}_2(r)\right], \\ h^{\phi\phi} &= -\frac{1}{r^2 sin^2\theta} \left[\left(1-3cos^2\theta\right)\mathscr{F}_2(r)\right], \\ h^{t\theta} &= 0 \end{aligned} \tag{2.10}$$

denklemlerde yer alan $\mathscr{F}_{1,2}(r)$ fonksiyonları Glampedakis ve Babak 2006'nın ek kısımlarında ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Burada önemli olan nokta, denklemlerin ikinci dereceden alınmasından dolayı kuadropol moment Kerr metriğindeki diyagonal terimlere etki eder.

# 3. MALZEME VE YÖNTEM

Önceki bölümlerde de değinildiği gibi, nötron yıldızlarının yüzey ışınımlarının doğru bir şekilde modellenebilmesi için, atmosferik kompozisyonun, manyetik alan şiddetinin ve benzeri bazı faktörlerin hesaba katılması gerekir (Ozel *ve diğ.*, 2013; Zavlin *ve diğ.*, 1996). Ancak her durumda, yüzeyden çıkan bir fotonun çok uzaktaki bir gözlemciye ulaşırken aşması gereken bazı kütle çekimsel etkiler vardır. Bu etkilerden birisi de Schwarzschild metriği kullanılarak anlaşılabilen kütle çekimsel kırmızıya kaymadır (ör. (Pechenick *ve diğ.*, 1983). Bu etki sadece nötron yıldızının kompaktlığına (kütle ve yarıçapına) bağlıdır ve günümüzde literatürde kullanılan tüm modellerde hesaba katılmaktadır. Model kullanılırken bir kütle ve yarıçap varsayımı yapılır ve buna göre oluşan kütle çekimsel kırmızıya kayma miktarı kadar atmosferden çıkan ışınımın tayfı kırmızıya kaydırılır. Bazı durumlarda bu etki literatürde nötron yıldızı kütle ve yarıçapına sınırlar koymak üzere de kullanılmıştır (bkz. Marino *ve diğ.*, 2017). Ancak tanımı gereği Schwarzschild metriği dönmeyen cisimler için geçerlidir ve konu nötron yıldızları olunca sadece düşük dönme frekanslarında uygulanabilirdir. Dönen (açısal momentumu olan) cisimler için geçerli olan Kerr metriğinde ise cisim nokta kaynak olarak kabul edilmiştir. Bu da elbette nötron yıldızları için kabul edilebilir bir durum değildir. Bu sebeple bu iki metrik arasında bir çözüm bulmak gereklidir (Baubock *ve diğ.*, 2013; Hartle *ve diğ.*, 1968; Morsink *ve diğ.*, 2007, ör.). Günümüzde kabul edilen en başarılı çözüm Hartle-Thorne metriği ya da yaklaşımı olarak ifade edilen (Hartle *ve diğ.*, 1968) metriğin kullanılmasıdır. Yüzeyden çıkan fotonlara dönmenin iki önemli ve temel etkisi vardır. Bu etkiler Doppler ivmelenmesi (Doppler boosting) ve uzay-zamanda oluşan alan sürüklenmesi olarak sıralanabilir. Bu durumda uzaktaki bir gözlemci için nötron yıldızından gelen fotonların enerji dağılımı şu parametrelere bağlıdır, nötron yıldızının kütlesi (M), yarıçapı (R), dönme frekansı ($\nu$), dönme ekseninin kutbu ile gözlemcinin bakış doğrultusunun yaptığı açı ($\phi$), dönme açısal momentumu (J), uzay-zamanın kuadropol momenti (Q) ve yüzey eksentirisitesi (e). Bu parametrelerin hepsi ayrı ayrı gözlenen ışınımın tayfsal ve zamansal özelliklerini değiştiriyor olsa da, dönme açısal momenti, yıldızın yüzey eliptisitesi (basıkığı) ve uzay-zaman kuadrupol momentini nötron yıldızının kütle ve yarıçapı cinsinden yazabilmek mümkündür (Baubock *ve diğ.*, 2013; Lattimer *ve diğ.*, 2001; Ravenhall *ve diğ.*, 1994; Yagi *ve diğ.*, 2013). (Baubock *ve diğ.*, 2012, 2013, 2015) bu ek etkilerin özellile nötron yıldızı yarıçap ölçümlerine

olan etkisini hesaplamışlardır. Ancak bu hesabı yaparken kullandıkları yöntemlerde, nötron yıldızının yüzeyinden çıkan ışınımı karacisim ışınımı olarak kabul etmişlerdir.

## 3.1. VERİLERİ KULLANILAN UYDULAR VE ANALİZ TEKNİKLERİ

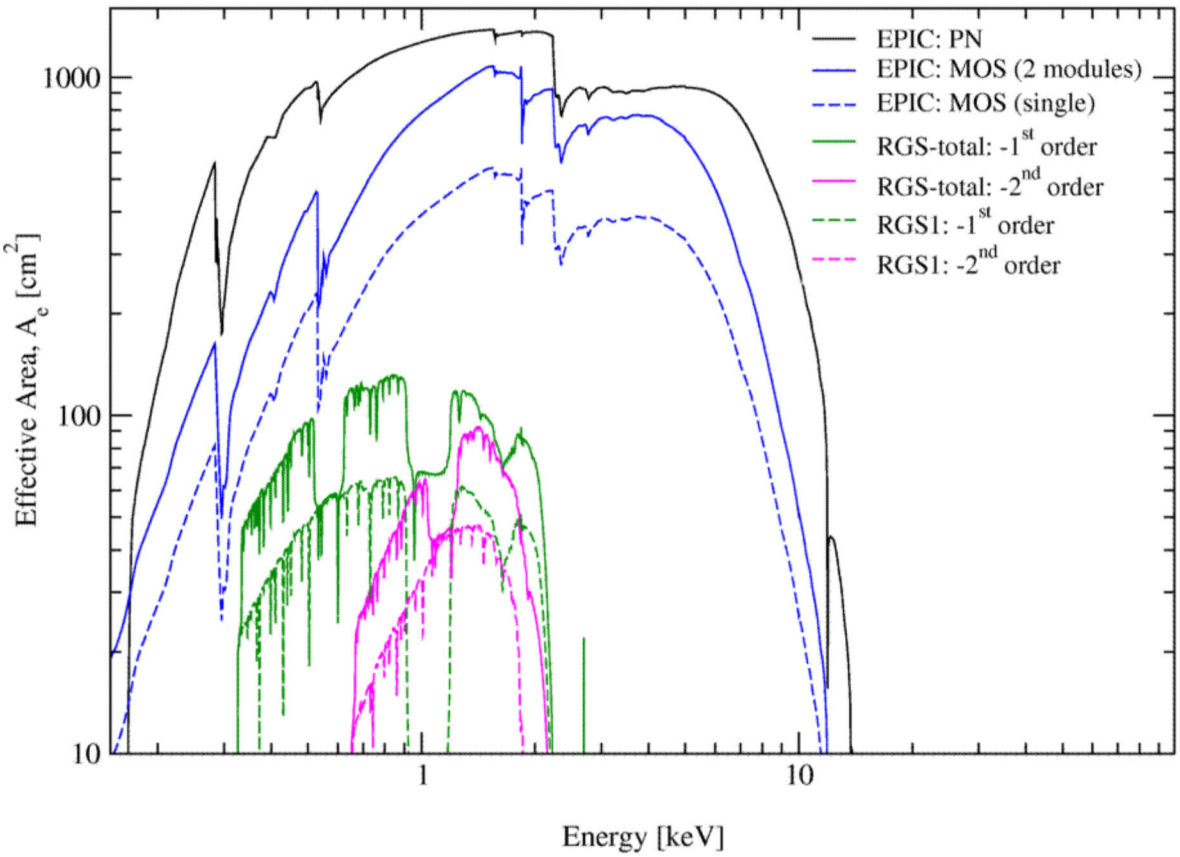
Tez kapsamında, Chandra ve XMM-Newton X-ışın gözlemevlerinden elde edilmiş veriler kullanılmıştır. Proje için kullanılabileceği düşünülen kaynaklar RITTERLMXB (Ritter Düşük Kütleli X-Işın Çiftleri Kataloğu) (Ritter *ve diğ.*, 2003) üzerinden TOPCAT[7] kullanılarak seçilmiştir. Kaynakların sakin olduğu evreler ele alınmış ve patlama (outburst) geçirdiği gözlemlerden yararlanılmamıştır. Seçim, katalogtaki kaynakların kabuk soğuması gösteren kaynaklar olup olmadığı üzerine yapılmıştır (Wijnands *ve diğ.*, 2017). Her bir kaynağa ait tüm gözlem verileri elde edildikten sonra, RXTE/ ASM ya da MAXI ile gözlenebilmiş kaynakların uzun dönemli ışık eğrileri çıkarılmış ve patlama zamanları ve patlama sonrasında kaynaklar sakin evrelerine geçtikten sonra elde edilmiş Chandra ve/veya XMM-Newton gözlemleri listelenmiştir. Bu liste daha sonra uygun gözlemlerin seçiminde kullanılmıştır. Uygun gözlemleri seçerken; gözlemlerin patlamadan sonra kaynak sakin evrede iken yapılmış olmasına, soğumanın en azından bir miktar gözlenebilmiş olması için kaynakların Chandra ya da XMM-Newton uyduları ile birden fazla gözleminin yapılmış olmasına, gözlem sırasında kaynağın görüş alanında ve tespit edilmiş olmasına ve bazı durumlarda ise kaynağın satüre olmamış olmasına dikkat edilmiştir. Ortaya çıkan listedeki kaynakların bir kısmı yukarıdaki şartlardan en azından birini (çoğunlukla sakin evrede birden fazla gözlemi olmama ya da ASM ya da MAXI ile belirgin bir patlama ve sonrası sakin evre aşaması görülememe) sağlamadığı için tez kapsamında kullanılmamıştır. Bazı durumlarda ufak farklılıklar gerekse de tüm veriler sistematik olarak ve benzer şekilde analiz edilmişlerdir. Bu sebeple burada veri analizi kısaca özetlenmiştir.

### 3.1.1. XMM-Newton X-Işın Teleskobu

XMM-Newton X-Işın Teleskobu (X-Işın Çoklu Ayna Görevi, *X-ray Multi-Mirror Mission*) Avrupa Uzay Ajansı'nın (European Space Agency, *ESA*) 1999 yılında fırlattığı, şimdiye dek fırlatılmış en büyük X-ışın teleskobudur. Oldukça büyük bir efektif alana sahiptir. 0.1-12 keV enerji aralığında çalışmaktadır. En verimli olduğu enerji aralığı 0.1-10 keV

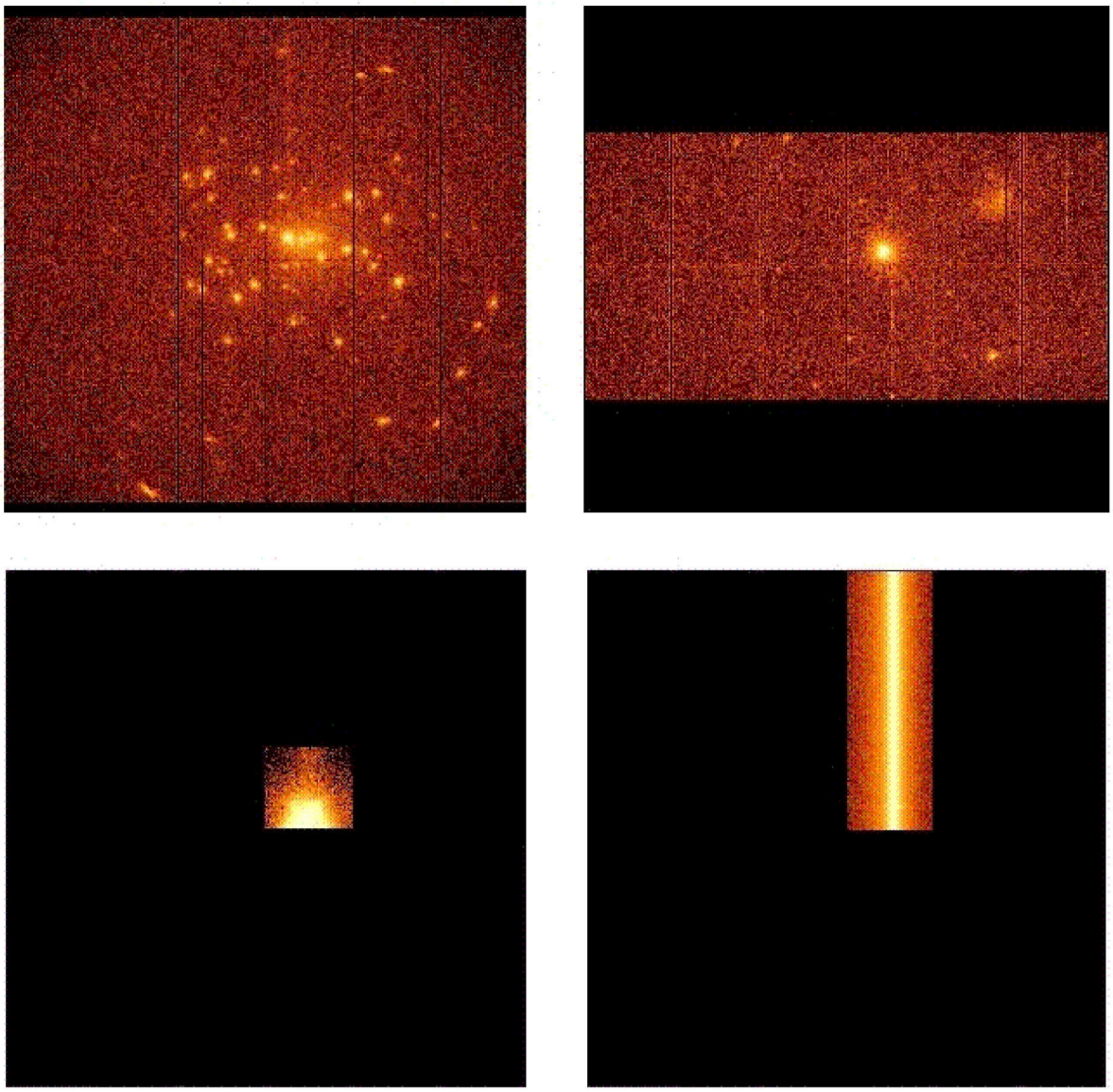
[7] **T**ool for **OP**erations on **C**atalogues **A**nd **T**ables, http://www.star.bris.ac.uk/ mbt/topcat/

olup; maksimum etkinlik gösterdiği enerji aralığı ise 1.5-2 keV arasındadır. Üzerinde kendi aralarında ikiye ayrılan bir X-ışın dedektörü *European Photon Imaging Camera (EPIC)*, bir tayfçeker spektrometre *Reflection Grating Spectrometer (RGS)* ve bir optik dedektör *Optical Monitor (OM)* bulunur. *EPIC*, yarı iletken tipine göre isimlendirilen *MOS* ve *PN* isimli iki adet dedektör bulundurur. Üzerinde bulunan bütün enstrumanlar simultane olarak çalışabilirler. *PN* dedektörü 12 adet CCD içerirken; *MOS* dedektörü 7 adet CCD içerir. Aynı şekilde, bu iki dedektörün etkin alanı kıyaslandığında, *PN*'in etkin alanının *MOS* dedektörüne göre daha büyük olduğu görülür.



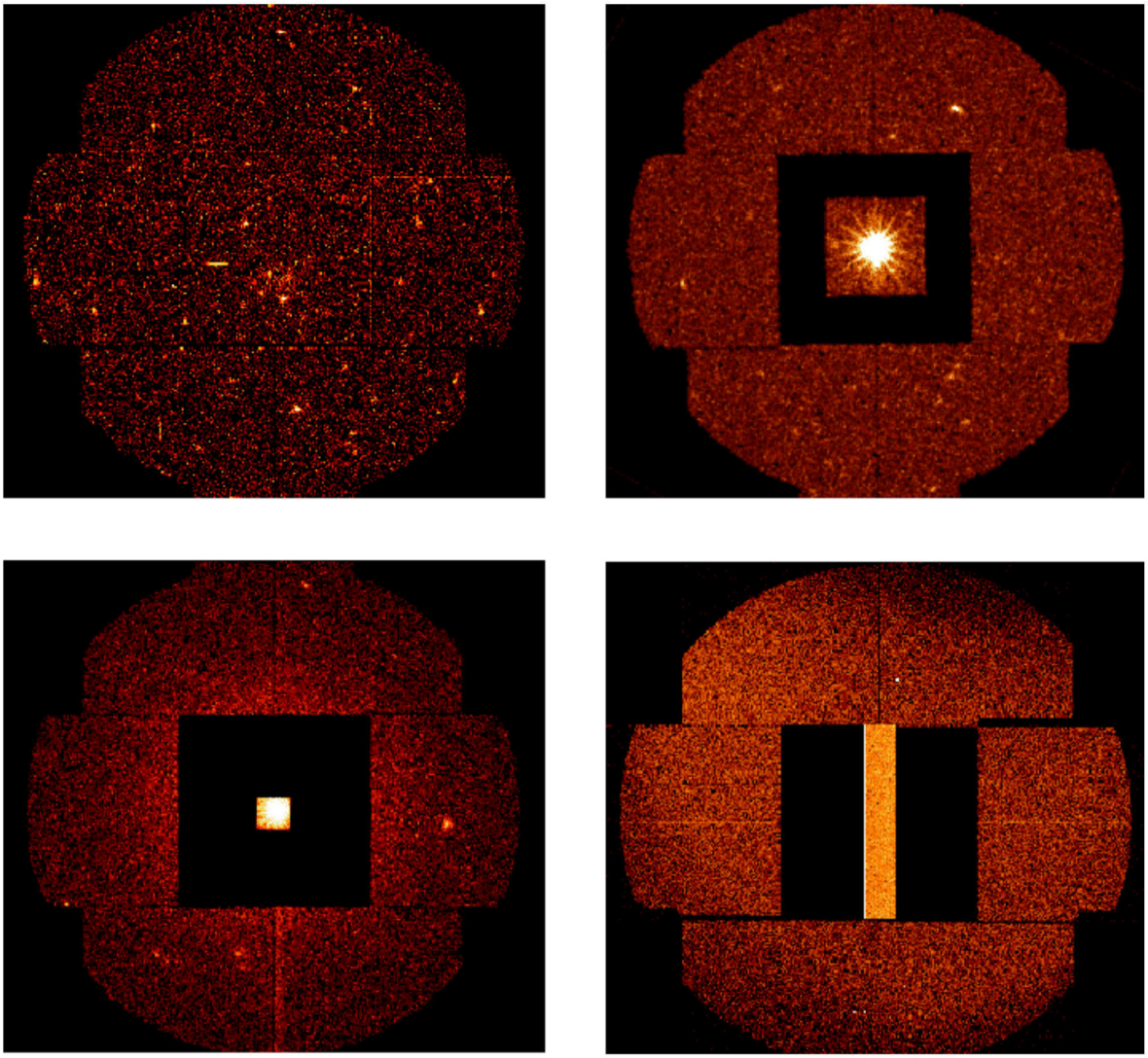

**Şekil 3.1** XMM-Newton Teleskobu'nun efektif alanı. (XMM-Newton Users Handbook, 2020)

EPIC dedektörleri, bir çok farklı modda çalışabilmektedir.PN dedektörüne ait CCD'lerin tamamı Full Frame, Extended Full Frame ve Large Window modunda kullanılabilir. Ancak, Small Window, Timing ve Burst modlarının kullanımı sırasında sadece 4 numaralı CCD kullanımda olur. Ancak, MOS CDD'leri için sadece Full Frame, Large Window, Small Window ve Timing modları kullanılabilmektedir. MOS CCD'lerinde Small Window modunda CCD çipine gelen verinin bir kısmı okunurken, Timing modunda ise hedef doğrultusu etrafındaki aktif alan yaklaşık olarak 100 sütun kadar azaltılarak okunur.



**Şekil 3.2** PN CCD kamerasına ait çalıştırma modları. *Sol üst:* Full Frame ve Extended Full Frame modu. *Sağ üst:* Large Window modu. *Sol alt:* Small Window modu. *Sağ alt:* Timing modu. (XMM-Newton Users Handbook, 2020)

XMM-Newton verilerini analiz etmek için uydunun standart SAS programının (versiyon xmmsas_20180620_1732-17.0.0) veri indirgeme programları (*epproc*, *emproc*) uygulanmıştır. Her bir gözlem için, gözlem verileri el verdikçe EPIC pn ve EPIC MOS verileri epproc ve emproc programları kullanılarak ve Kasım 2019 tarihi itibariyle sunulan kalibrasyon verileri ile kalibre edilmiştir. XMM-Newton gözlemleri, bu uydunun yörüngesinin de bir sonucu olarak zaman zaman güneşten gelen yüksek enerjili parçacıklarca etkilenmektedir. Bu etkiler özellikle sakin evredeki DKXÇ'ler gibi sönük kaynakların tayflarında önemli etkiler yaratabildiği için bu zamanların gözlemlerden atılması gerekir. Bunun için SAS bünyesindeki espfilt programı kullanılmış ve her bir gözlem için Good Time Interval'lar (GTI) oluşturulmuş



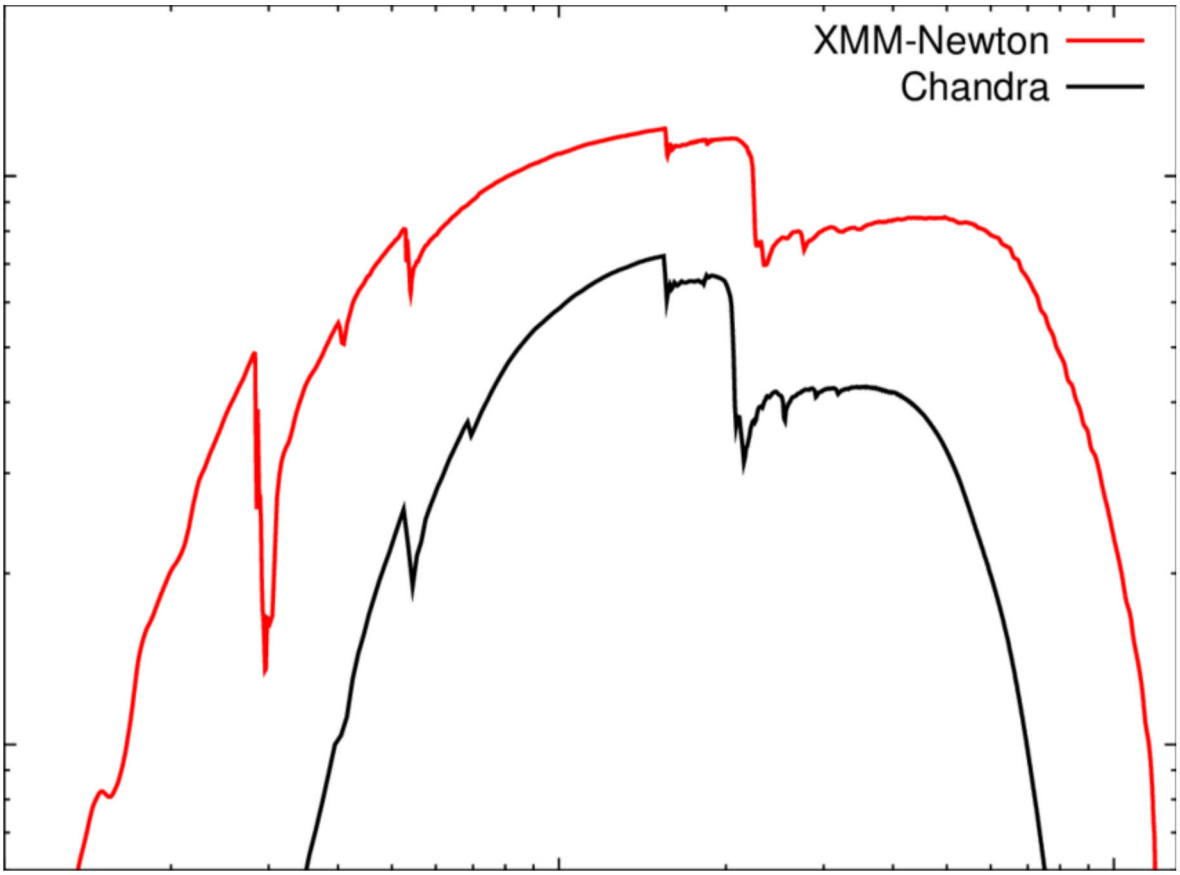
**Şekil 3.3** MOS CCD kamerasına ait çalıştırma modları. *Sol üst:* Full Frame *Sağ üst:* Large Window modu. *Sol alt:* Small Window modu. *Sağ alt:* Timing modu. (XMM-Newton Users Handbook, 2020)

ve kaynaklara ait X-ışın tayfları gözlemlerin geriye kalan kısımlarından elde edilmiştir. Her bir X-ışın tayfı için ayrıca aynı CCD çipi üzerinden olmak üzere boş bir bölgeden bir de arkaplan bölgesi seçilmiş ve spektrel analizde bu tayf kaynak tayfından çıkarılmıştır. Oluşan tüm X-ışın tayfları her bir kanalda en az 25 sayım olacak şekilde gruplanmıştır.

### 3.1.2. Chandra X-Işın Teleskobu

Chandra X-ışın Teleskobu, NASA tarafından fırlatılmış, XMM-Newtonia kıyasla efektif alanı daha düşük ancak daha yüksek açısal çözünürlüğe sahip X-ışın teleskobudur. Advanced CCD Imaging Spectrometer (ACIS), High Resolution Camera (HRC), High Energy Transmission

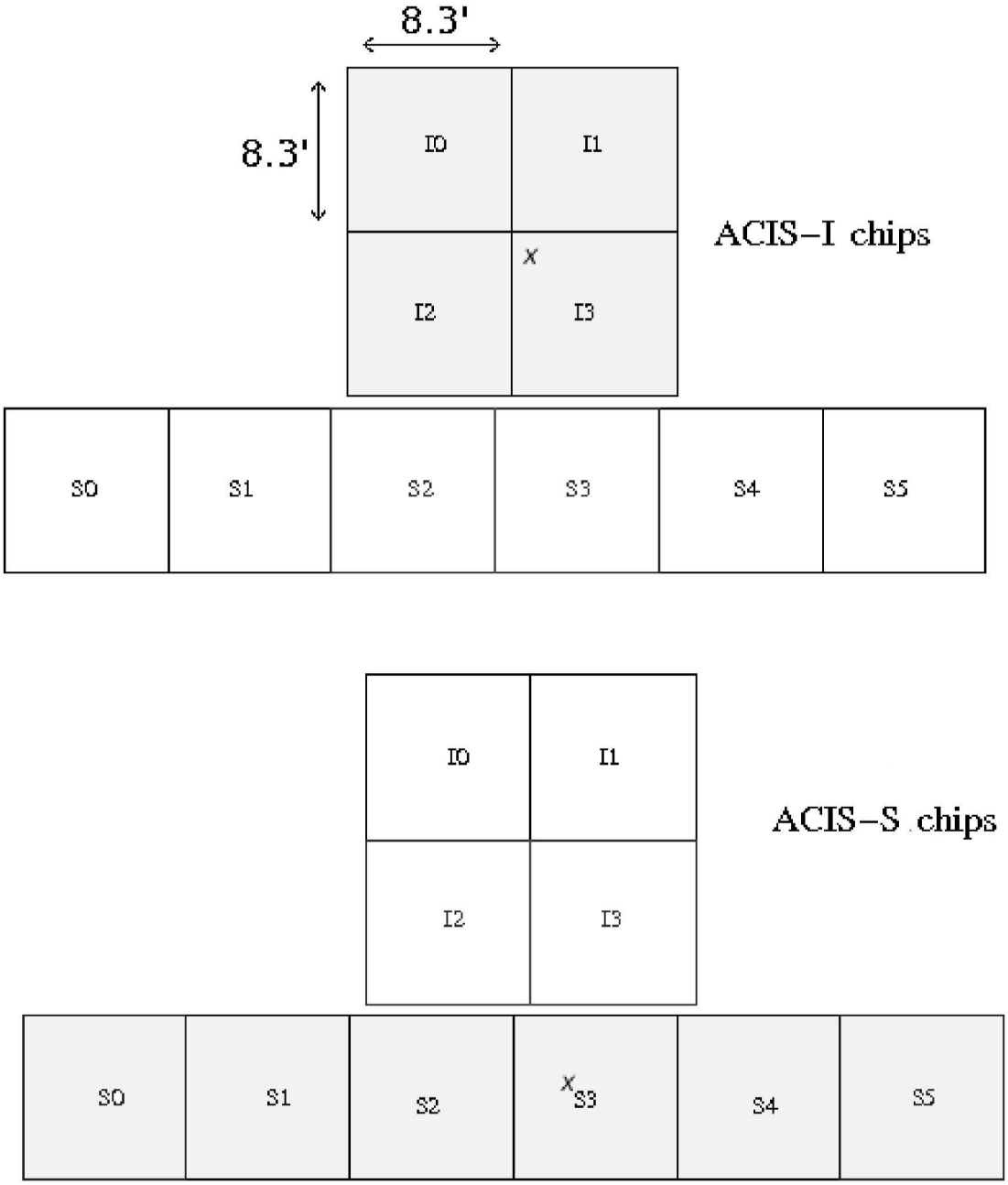
Grating (HETG) ve Low Energy Transmission Grating (LETG)) isimli dedektörlere sahiptir. Tez kapsamında, ACIS dedektörü ile elde edilen veriler üzerinde çalışılmıştır.




**Şekil 3.4** Chandra ve XMM-Newton X-ışın teleskoplarının efektif alanlarının karşılaştırılması. (Bogdan *ve diğ.*, 2010)

The Advanced CCD Imaging Spectrometer (ACIS), teleskobun üzerinde bulunan bir x-ışın görüntüleme aletidir. X-ışın fotonları teker teker tespit edilir ve pozisyonları, enerjileri ve varış zamanları kayıt altına alınır. Bu durum, ortalama çözünürlükte tayfasal ve timing çalışmalarının yanı sıra; yüksek çözünürlükte görüntülemeye olanak sağlar ( 1 arcsec). ACIS dedektörü CCD'lerine göre ACIS-I ve ACIS-S olarak iki farklı gruba ayrılır. ACIS-I en geniş görüş alanını sunar. I0, I1, I2 ve I3 olmak üzere 3 adet CCD çipinden oluşur ve Geniş Alan Görüntülemesi (*Wide Field Imaging*) görevlerinde kullanılır (Chandra Proposers Observatory Guide, 2019). ACIS-S ise S0, S1, S2, S3, S4 ve S5 olmak üzere 6 adet CCD çipinden oluşur ve Geniş Alan Görüntülemesi (S2-S3, diğer S çipleri de seçilebilir) Yüksek Çözünürlüklü Görüntüleme (*High Resolution Imaging*, S3), Bright Source Fast Timing (S3) ve Bright Source High Resolution Spectroscopy (S0-S5 + HETG) görevlerinde kullanılır. Bu çiplerden sadece S1 ve S3 arkadan aydınlatmalıdır. Geri kalan çipler önden aydınlatmalıdır. Arkadan

aydınlatmalı S3 çipi, grating kullanmadan en iyi tayfsal çözünürlüğü sunar. Bu nedenle, birçok gözlemci oldukça küçük (birkaç arkdakika) olan alanları yüksek çözünürlüklü görüntülemek için arkadan aydınlatmalı S3 çipini seçmektedir.




**Şekil 3.5** ACIS odak düzleminin ölçekli değil şematik çizimi. ACIS-I dizisi, I0-I3 çiplerinden oluşur (üst şekilde, gölgeli kısımlar). ACIS-S dizisi, S0-S5 çiplerinden oluşur (alt şekilde gölgeli kısımlar). Varsayılan hedef noktaları x ile işaretlenmiştir. Daha ayrıntılı bilgi için; Chandra Proposers Observatory Guide 2019

Chandra verileri CIAO programının 4.9 sürümü ve CALDB 4.7.6 sürümü kullanılarak analiz edilmiştir. Her bir veri CIAO'nun bir paketi olarak dağıtılan chandra_repro ile indirgenmiş

specextract ile de X-ışın tayfları çıkarılmıştır. XMM-Newton'da olduğu gibi kaynak ile aynı çip üzerinde olmak üzere uygun bir bölgeden background spektrumu da bu aşamada çıkarılmıştır. Seçilen backgrounlar kaynakların regionlarının 2 katı olmak üzere alınmıştır. Oluşan tüm X-ışın tayfları, tıpkı XMM-Newton tayflarında olduğu gibi, her bir kanalda en az 25 sayım olacak şekilde gruplanmıştır.

## 3.2. NÖTRON YILDIZI TAYFININ MODELLENMESİ

X-ışın tayfları Xspec programı (Arnaud, 1996) ve $\chi^2$ istatistiği[8] kullanılarak modellenmiştir. Her bir analizde yıldızlararası soğurma Xspec'de tanımlı phabs modeli yıldızlararası ortamın metal bollukları kullanılarak (wilm, (Wilms *ve diğ.*, 2000)) hesaba katılmıştır. Analiz için öncelikle her bir patlama sonrasında elde edilmiş tüm tayflar simultane olarak fit edilmiştir. Bu modelleme sırasında hidrojen kolon yoğunluğu ve ısısal olmayan bileşeni temsilen kullanılan güç kanunu modelinin eğimi (foton indeksi) bütün tayflarda aynı olacak şekilde birbirine bağlanmıştır. Isısal olmayan bileşenin her bir tayftaki katkısı önceden belirlenemeyeceği için, bu modelin normalizasyonu serbest bırakılmış böylece, örneğin istatistiksel olarak hiçbir etkisinin olmadığı durumlarda bu modelin normalizasyonu çok küçük değerlere gidebilmiştir. Bu şekilde NSA modeli kapsamında sıcaklık ve akının patlama sonrası evrimi çıkarılabilmiştir. Bu aşamadan sonra belirlenmiş yıldızlararası ortam değeri ve ısısal olmayan bileşene ait değerler sabit alınarak aynı veriler NSA ve rNSA modeli ile modellenmiştir. rNSA ile modelleme sırasında nötron yıldızının dönme ekseni ile bizim bakış doğrultumuz arasındaki açı her durumda 90 derece alınmış ve yıldızın dönme frekansı olarak ölçülebilmiş değere en yakın olacak şekilde tablo edilmiş değerler arasından seçilmiştir. Eğim açısının 90 derece alınmasının sebebi rölativistik etkilerin bu durumda en fazla olmasının beklenmesinden dolayıdır. Bu şekilde tekrar yapılan modelleme ile rNSA modelinin öngördüğü sıcaklıklar tayin edilmiştir.

### 3.2.1. Dönen Nötron Yıldızı Atmosfer Modeli

Dönen Nötron Yıldızı Atmosfer Modeli (Rotating Neutron Star Atmosphere (**rNSA**)), Baubock *ve diğ.* 2012 ve Baubock *ve diğ.* 2013 çalışmalarında açıklanan ışın izleme algoritması kullanılarak C ve Python programlama dilleri kullanılarak Xspec programında

[8] https://heasarc.gsfc.nasa.gov/xanadu/xspec/manual/XSappendixStatistics.html

kullanılmak üzere oluşturulmuştur. Işın izleme algoritması, sonsuzdaki bir gözlemci tarafından gözlenen nötron yıldızlarına ait tayfların parametrelerinin hesaplanması için kullanılmıştır. Ayrıca, nötron yıldızlarının modellenmesi için, kuadropol momentin varlığına, orta derecede bir dönüşe ve basıklığa izin vermesi nedeni ile Hartle-Thorne metriği (Glampedakis *ve diğ.*, 2006; Hartle *ve diğ.*, 1968) kullanılmıştır.

En basit anlamda nötron yıldızının etrafındaki uzay-zamanın metriği altı parametreye bağlıdır. Bu parametreler $M$ nötron yıldızının kütlesi, $R$ nötron yıldızının yarıçapı, $f_{NS}$ nötron yıldızının dönüş frekansı, $I$ eylemsizlik momenti, $Q$ kuadropol moment ve $\varepsilon$ yıldız yüzeyinin elipsitesidir. Ayrıca hesaplamalarda nötron yıldızının dönüş ekseninin gözlemcinin bakış açısıyla yaptığı açı ($\theta_0$) da hesaba katılmıştır. Empirik ve analitik modeller kullanılarak (Baubock *ve diğ.*, 2013); (Morsink *ve diğ.*, 2007); (AlGendy *ve diğ.*, 2014) bu parametrelerden I, Q ve $\varepsilon$ parametreleri kütle, yarıçap ve dönüş frekansı üzerinden hesaplanabilir.

(Baubock *ve diğ.*, 2013)'de belirtilen hesaplamalar ve kabuller modelin oluşturulması için kullanılmıştır. Bu çalışmada tayfsal modellemeler, kütleleri 1.0 - 2.5 $M_{\odot}$, yarıçapları 8 - 16 km ve dönüş frekansları 50- 800 Hz aralığında değişen nötron yıldızları üzerine kurulmuş ve hesaplamalar bütün $\theta_0$ olasılıkları için ele alınmıştır. Her farklı parametre denemesi için transfer fonksiyonları yeniden hesaplanmıştır ve transfer fonksiyonları sonsuzdaki gözlemci için ele alınmıştır.

(Baubock *ve diğ.*, 2012)'de ışın izleme algoritması kullanılılarak transfer denklemi hesaplanmıştır. Buna göre fotonlar, asimptotik olarak düz uzay-zamanında, nötron yıldızlarından büyük bir radyal uzaklıkta bulunan bir görüntü düzleminde başlatılır. Fotonlar yıldız yüzeyi ile kesişene dek geriye doğru izlenir. Yüzeydeki her bir fotonun konumu ve enerjisi kaydedilir ve görüntü düzleminde kaynağın görüntüsünü elde etmek için bu bilgiler kullanılır. Bu durumda sonsuzdaki gözlemci tarafından elde edilecek akı miktarını hesaplamak istersek;

$$F_{\infty}(E_{\infty}) \;=\; \frac{1}{D^2}\iint I_{\infty}(E_{\infty},\alpha,\beta)\; d\alpha\, d\beta \tag{3.1}$$

denklemde $E_{\infty}$ sonsuzda ölçülen enerjiyi, $D$ nötron yıldızına olan uzaklığı, $\alpha$ ve $\beta$ da görüntü düzlemindeki kartezyen koordinatları temsil etmektedir. $I/E^3$ niceliği Lorentz invaryantı olmak

üzere (Baubock *ve diğ.*, 2013);

$$\frac{I_\infty(E_\infty)}{E_\infty^3} = \frac{I_s(E_s)}{E_s^3} \tag{3.2}$$

burada $E_s$ nötron yıldızının yüzeyinde ölçülen enerji, $I_s$ ise spesifik yoğunluktur. Yıldız yüzeyinden yayınlanan ışınımın her yerde aynı ve izotropik olduğunu; koordinatlara ve spesifik yoğunluktan bağımsız olduğunu varsayarsak;

$$g(\alpha,\beta) \equiv E_\infty / E_s. \tag{3.3}$$

3.3 denklemini düzenleyip 3.1 denkleminde yerine yazacak olursak;

$$F_\infty(E_\infty) = \frac{1}{D^2}\iint g^3 I_s\left(\frac{E_\infty}{g}\right) d\alpha\, d\beta. \tag{3.4}$$

Bu işlem basamaklarını $G(E_\infty, E_s)$ gibi bir transfer fonksiyonuna ihtiyaç duyduğumuz için göz önünde bulundurmaktayız. Eğer, sonsuzdaki akıyı $G(E_\infty, E_s)$ transfer fonksiyonu için modifiye edecek olursak;

$$F_\infty(E_\infty) = \int I_s(E_s)\; G(E_\infty, E_s)\, dE_s. \tag{3.5}$$

formunu alacaktır. Bu fonksiyon, kaynağın tayfından bağımsız olarak, hızlı dönmenin ne gibi etkileri olduğunun anlaşılmasını sağlar. 3.4 numaralı denklemi bu forma dönüştürmek için, görüntü düzlemi üzerinden alınmakta olan integralin yıldız yüzeyinden alınması gerekmektedir. Bu, yüzeyde $E_s$'nin $E_\infty$'ye eşit olduğu nokta dışında, görüntü düzleminin her noktasında sıfıra denk gelen bir Dirac delta fonksiyonu ile sağlanabilir. Bu durumda Dirac delta fonksiyonu yazılacak olursa;

$$\delta(\alpha x) \;=\; \frac{1}{|a|}\,\delta\,(x) \tag{3.6}$$

düzenleyecek olursak;

$$\delta\left(\frac{E_\infty}{g} - E_s\right) \;=\; g\delta\,(E_\infty - gE_s) \tag{3.7}$$

buradan 3.4 numaralı denkleme geçilirse;

$$F_\infty\,(E_\infty) \;=\; \frac{1}{D^2}\iiint I_s\,(E_s)\,g^4\delta\,(E_\infty - gE_s)\,dE_s d\alpha d\beta \tag{3.8}$$

3.5 numaralı denklemi 3.8 numaralı denklemde düzenlersek;

$$G\,(E_\infty, E_s) \;=\; \frac{1}{D^2}\iint g^4\delta\,(E_\infty - gE_s))\,d\alpha d\beta \tag{3.9}$$

halini alacaktır. Bu denklem, verilen nötron yıldızı parametreleri için gözlenen tayfın oluşturulması için gereken ***"transfer denklemi"***dir. Tıpkı 3.5 denklemindeki gibi yüzey kısmına ait bir tayf ile konvülsiyon için çekirdek olarak kullanılabilir.

(Baubock *ve diğ.*, 2013) çalışmasında tayflar kara cisim modeli için oluşturulmuştur. Ancak, tek başına kara cisim model fitleri nötron yıldızları için olması gerektiğinden daha küçük yarıçap hesaplamaktadır (Ruthledge *ve diğ.*, 1999). NSA modeli, 0.05 - 10.0 keV enerji aralığında hidrojen atmosfere sahip nötron yıldızlarının tayflarının modellenmesini sağlar. Sahip olduğu parametreler, $T_{eff}$ efektif sıcaklık, Kelvin (K) cinsinden ve kırmızıya kayma etkileri uygulanmamış, (manyetik olmayan (B $< 10^8 - 10^9$ G) nötron yıldızları için $\log T_{eff}(K) = 5.0 - 7.0$, manyetik olan (B= $10^{12}$) nötron yıldızları için $\log T_{eff}(K) = 5.5 - 6.8$, yüksek manyetizme sahip olan nötron yıldızları için $\log T_{eff}(K) = 5.5 - 6.8$), kütle

$M_{NS}$ (0.5 - 2.5 $M_{\odot}$), yarıçap $R_{NS}$ (5-20 $R_{\odot}$), normalizasyon norm ($1/D^2$, burada $D$, parsek (pc) cinsinden cismin uzaklığıdır) ve nötron yıldızının manyetik alan şiddetidir (0, $10^{12}$ ve $10^{13}$ G). Modele göre, atmosfer radyatif ve hidrostatik dengede, yıldıza dair ısısal olan kaynaklar bu atmosferin altında ve tüm Comptonisation etkileri ($T_{eff} > 3 \times 10^6$ K'den sonra göze çarpan) hesaba katılmaktadır.Gözlenen kaynaklar için tayflar, GR efektleri göz önünde bulundurularak uzaktaki bir gözlemci için hesaplanmaktadır. NSA modeli için efektif sıcaklık $T_{eff}$;

$$T_{eff}^{\inf} = T_{eff} \times g_r R_{ns}^{\inf} = R_{ns}/g_r \tag{3.10}$$

ile hesaplanır. Burada $g_r$ kütle çekimsel kırmızıya kayma olup;

$$g_r = \sqrt{1 - 2.952 \times M_{ns}/R_{ns}} \tag{3.11}$$

olarak ifade edilmektedir. Tez kapsamında, (Baubock *ve diğ.*, 2013) ve (Zavlin *ve diğ.*, 1996) makaleleri göz önünde bulundurularak rNSA modeli hazırlanmıştır. Model, XSPEC'in kullanma kılavuzundaki **"Appendix C: Adding Models to XSPEC"**[9] bölümü temel alınarak oluşturulmuştur.

Model fonksiyonları, enerji aralıklarının girdi dizisi ve verilen bir dizi parametre için model tayfının hesaplanmasını sağlayan alt programlardır. Enerji aralıklarının girdi dizileri, enerji aralıkları için olan sınırları verir ve böylece çıktı olarak elde edilen akı dizileri dışında da girdilerin olmasını sağlar. Enerji aralıklarının ardışık olduğu varsayılır ve kullanılan karşılık matrisi tarafından belirlenilir. Alt programlarda bu nedenle enerji aralığı ve aralık büyüklükleri ile ilgili herhangi bir varsayımda bulunmamalıdır. Ek bir model için çıktı akı dizisi foton/$cm^2$/s cinsinden olmalıdır. Çünkü model tayfları enerji aralıkları üzerinden integrali alınarak hesaplanmaktadır. Çarpımsal bir model için çıktı dizisi, o aralık için olan çarpımsal faktöre eşittir. Konvolüsyon modelleri eklenen veya çarpılan modellerden farklıdır. Bu modellerin ara programları Fortran veya C kullanılarak yazılabilir.

[9] https://heasarc.gsfc.nasa.gov/xanadu/xspec/manual/XSappendixLocal.html

XSPEC, hazırlanan model alt programına ek olarak, modele ait parametrelerin açıklamalarının olduğu bir dosyaya ihtiyaç duymaktadır. *"model.dat"* isimli bir parametre dosyası yaratırsak bu dosyadaki parametreler;

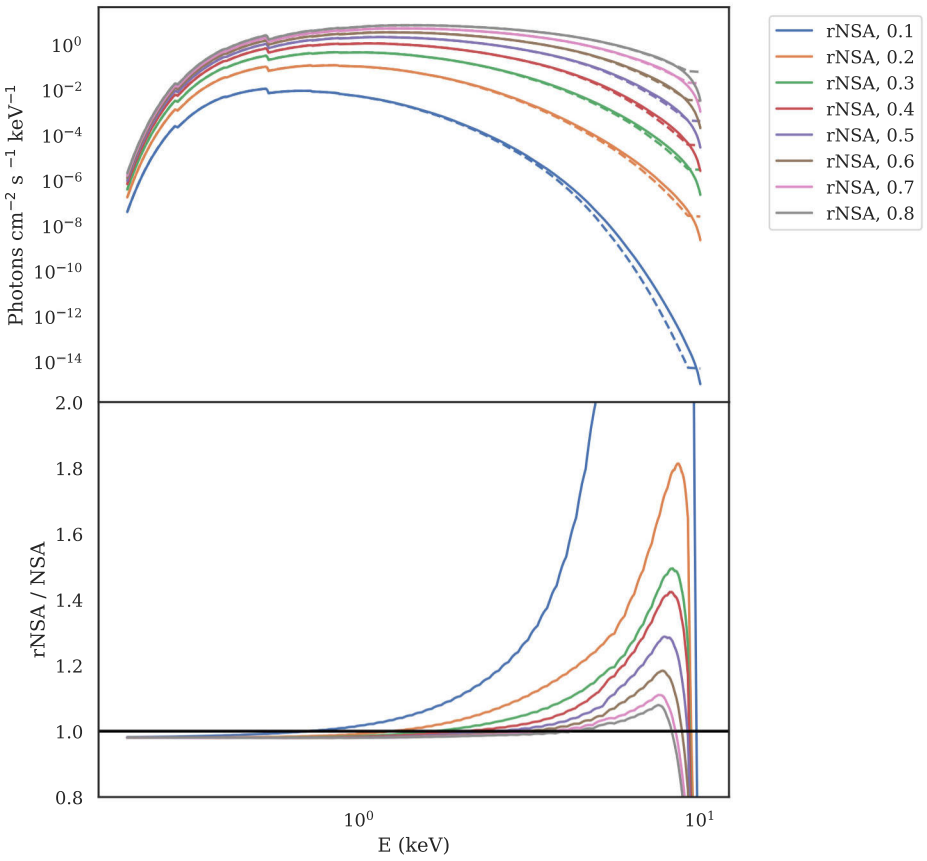
```
modelentry        4  0.    1.e20      modelfunc    add  0 0
lowT    keV     0.1   0.0808  0.0808 79.9      79.9       0.001
highT   keV     4.    0.0808  0.0808 79.9      79.9       0.001
Abundanc " "    1.    0.      0.      5.        5.        0.01
redshift " "   0.0
```

ile tanımlanacaktır. Tanımlama yapılırken birinci satırdaki bilgilerin doğru bir şekilde girilmesi gerekir. İlk satırda sırasıyla model adı, modelde bulunan parametre sayısı, modelin geçerli olacağı düşük ve yüksel enerji aralıkları, çağırılacak alt programın adı, modelin türü, model değişenlerinin alt program tarafından hesaplanıp hesaplanmadığı ve tanımlanan modelin tayf hesabını zorla yapıp yapmayacağı ile ilgli bilgiler tanımlanır. Geri kalan satırlarda ise hesaplanması istenilen parametreler tanımlanır.

## 3.3. RNSA İLE NSA MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

Yüksek frekanslarda dönme sonucu ortaya çıkan rölativistik etkilerin hesaba katılması ile öngörülen yüzey ışınımı aynı tayfsal parametreler için yapılan ilk çalışmalarda önemli farklar göstermektedir. Bu durum **Şekil 3.6**'de rahatça görülebilir.

Fiziksel olarak doğru süreçleri dikkate alan bir atmosfer modeli yüksek kaliteli veriler ile birleştiği zaman nötron yıldızlarının etkin sıcaklık, küte, yarıçap ya da manyetik alan şiddeti gibi önemli fiziksel parametrelerini belirlemek için kullanılabilir. Aşağıda açıklandığı gibi, geçici X-ışın çiftlerindeki nötron yıldızlarının aktif olarak kütle aktardıkları patlama zamanlarından sonraki soğumalarının atmosfer modelleri ile takibi, aktarım sırasında ısınan kabuğun soğumasını anlamamızda yardımcı olacaktır.



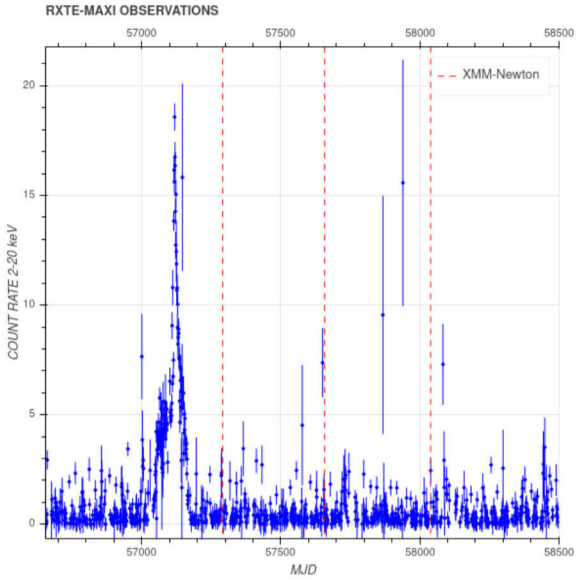

**Şekil 3.6** *Üst panel:* NSA ve rNSA modellerinin akı değerlerinin karşılaştırılması. Yüksek dönme frekansına, 550 Hz, doğru geçildiğinde rölativistik etkinin oluşturduğu fark belirgin bir biçimde görülebiliyor. *Alt panel:* NSA ve rNSA modellerinin akının bir oranı olarak enerji üzerinden bir karşılaştırılması. Grafikte dönmenin etkisi belirgin olarak görülmektedir. Grafik kT=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 ve 0.8 keV sıcaklıkları için hazırlanmıştır.

## 3.4. VERİLERİ KULLANILAN KAYNAKLAR

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda yukarıda değinilen şartları sağlayan kaynaklara ait X-ışın verileri analiz edilmiştir. Bu kaynaklara ait kısa bazı tanıtıcı bilgiler aşağıda sunulmuştur. Kullanılan tüm gözlemler, Bulgular başlığı altında her bir kaynak için ayrı ayrı tablolar halinde toplanmıştır. Kaynakların akı değerleri, soğurulmamış akı değerleri olarak hesaplanmıştır. [10]

[10] Bunun için XSPEC'in "cflux" komutu kullanılmıştır. Bknz. https://heasarc.gsfc.nasa.gov/xanadu/xspec/manual/node280.html

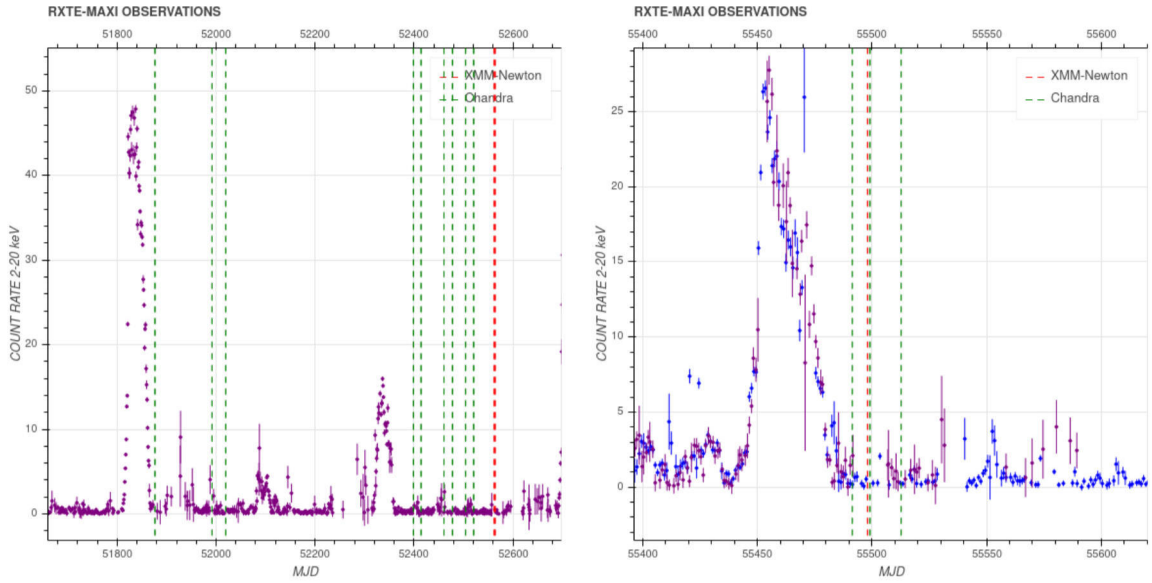
### 3.4.1. 1RXS J180408.9-342058




**Şekil 3.7** 1RXS J180408.9-342058'e ait MAXI verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrisi. Kaynağın patlama sonrası, sakin evreye geçtiği andan itibaren elde edilmiş olan XMM ve Chandra gözlemleri kullanılmıştır.

1RXS J180408.9-342058 X-ışın kaynağı, ilk kez 2012 yılında INTEGRAL uydusunun bir Tip I termonükleer X-ışın patlaması keşfetmesi sonrasında nötron yıldızı (NY) düşük kütleli X-ışın kaynağı (DKXÇ) olarak tanımlandı (Chenevez *ve diğ.*, 2012). (Chenevez *ve diğ.*, 2012) çalışmasında kaynağın uzaklığı Eddington ışıma gücü üst limit olarak varsayılarak 5.8 kpc olarak hesaplanmıştır. 22 Ocak 2015 tarihine kadar kaynak sakin evrede kalmış sonrasında ise Swift (Neil Gehrels Swift Observatory)'in BAT (The Burst Alert Telescope) dedektörü ile yeni bir patlama tespit edilmiştir (Krimm *ve diğ.*, 2015a). Tespit edilen bu patlamada Tip I termonükleer X-ışın patlaması görülmemiş olup yavaş bir parlama gözlemlenmiştir. 3 Nisan 2015'te ise, baskın olan sert X-ışınlarının düşüşe geçtiği ve kaynağın çok daha yumuşak X-ışın bölgesinde (2-10 keV) parlaklığının arttığı tespit edilmiştir. Böylece, kaynağın tayfsal olarak daha yumuşak X-ışın bölgesine geçiş yaptığı fikri ortaya atılmıştır (Degenaar *ve diğ.*, 2015).

### 3.4.2. AQL X-1




(a) (b)

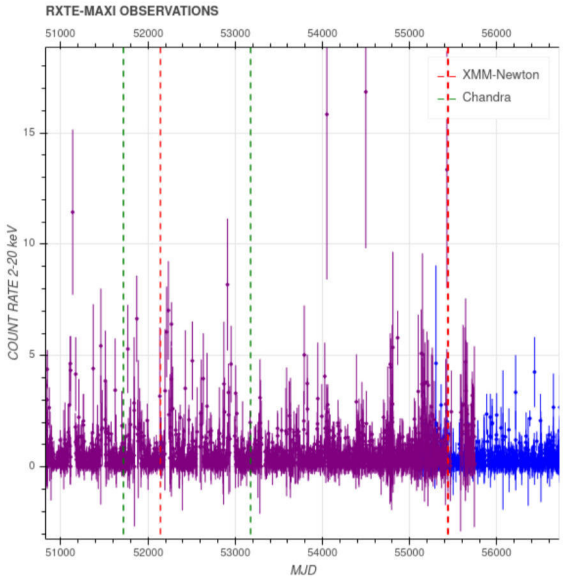
**Şekil 3.8** Aql X-1'e ait MAXI ve XTE verileri kullanılarak oluşturulmuş iki farklı patlama sırasında ve sonrasında alınmış ışık eğrisi. Kaynağın patlama sonrası, sakin evreye geçtiği andan itibaren elde edilmiş olan XMM ve Chandra gözlemleri kullanılmıştır.

Aql X-1, yılda en az bir kez düzenli olarak X-ışın ve optik bölgede patlama gösteren bir kaynaktır (Charles *ve diğ.*, 1980; Kaluzienski *ve diğ.*, 1977; Priedhorsky *ve diğ.*, 1984). Bu nedenden dolayı DKXÇ değişenlerini daha iyi modelleyebilerek X-ışın patlamalarının nasıl oluştuğunu anlamamız açısından iyi bir zemin sağlar. Aql X-1, Tip I X-ışın patlamaları gösterir. Kompakt bileşen bir nötron yıldızıdır. Bileşen yıldızı ise K1IV tipi bir yıldızdır. (Waterhouse *ve diğ.*, 2016) çalışmasında Aql X-1'in sakin evresinde yapılan gözlemlerinin ayrıca kabuk soğumasını da iyi bir şekilde açıklayabileceği durumu tartışılmıştır. Sisteme dair yapılan ilk gözlemler 1965 yılına dayanır ve o tarihten bu yana X-ışınlarında da bu sisteme dair birçok gözlem yapılmıştır. Son 20 yılda RXTE/ ASM, MAXI, ve Swift sayesinde Aql X-1'in davranışına dair birçok gözlem yapılmış ve iyi bir veri seti elde edilmiştir. Kaynağın uzaklığı 5 kpc olarak kabul edilmekte olup, sergilediği geçici davranışın kökeni hala tartışma konusudur (Brown *ve diğ.*, 2002; Cackett *ve diğ.*, 2011; Campana *ve diğ.*, 2003; Rutledge *ve diğ.*, 2002a; Waterhouse *ve diğ.*, 2016). Kaynak şu ana dek hem kısa ($<10^4$ s) hem de uzun dönemli (aylar, yıllar) değişimler göstermiştir.

Aql X-1 üzerine çalışma yapmadan evvel diğer kaynaklarda rutin olarak yapıldığı üzere,

MAXI ve RXTE ışık eğrilerini elde ederek patlama gösterdiği zamanlar üzerinden sakin evrede olduğu zamanları tespit edilmiştir. 2001 yılı ve 2010 yılına ait olan patlamalardan sonraki sakin evreye ait olan XMM-Newton ve Chandra gözlemleri üzerinde çalışılmıştır (Cackett *ve diğ.*, 2011; Campana *ve diğ.*, 2014).

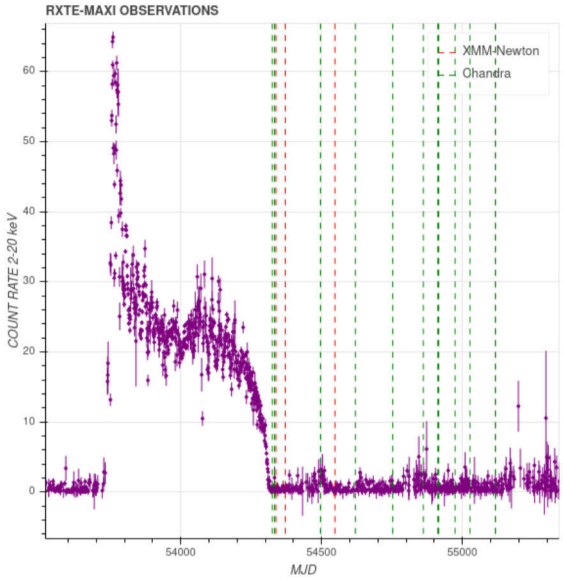
### 3.4.3. Cen X-4




**Şekil 3.9** Cen X-4'e ait RXTE/ASM (mor) ve MAXI (mavi) verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrisi.

Cen X-4 şu ana kadar soğuması en iyi çalışılabilmiş geçici nötron yıldızlarından biridir ve birçok X-ışın gözlemevi tarafından gözlemlenmiştir. Cen X-4 bilinen en yakın sakin evre nötron yıldızı DKXÇ'lerinden biridir (D= 1.2 $\pm$ 0.3 kpc; (Chevalier *ve diğ.*, 1989) ve on yıldan fazladır sakin evredeki X-ışın değişimi olduğu bilinmektedir (Campana *ve diğ.*, 1997). Bu evrede alınan tayfı hem ısısal hem de ısısal olmayan bileşen içerir.

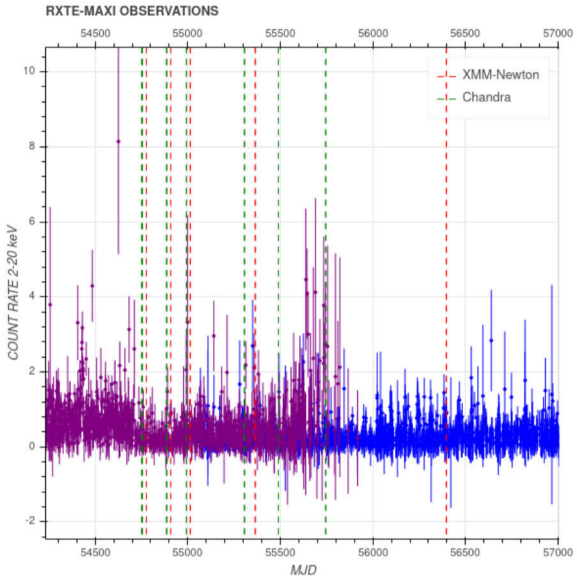
### 3.4.4. XTE J1701-462




**Şekil 3.10** XTE J1701-462'ye ait RXTE/ASM (mor) verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrisi. Kaynağın sakin evreye geçtiği andan itibaren elde edilmiş olan XMM ve Chandra gözlemleri kullanılmıştır.

XTE J1701-462, Rossi X-Ray Timing Explorer (RXTE)'ın üzerinde bulunan the All-Sky Monitor (ASM; (Levine *ve diğ.*, 1996)) tarafından patlamaya geçtikten hemen sonra 18 Ocak 2006'da ilk kez görüntülendi. 1.6 yıllık uzun patlaması boyunca 1.5 $L_{Edd}$ parlaklığı ile galaksimizde gözlemlenen en parlak NY-DKXÇlerinden biri oldu. Kaynak 2007 yılı Ağustos ayında geçici evreye geçti. Kaynak NS-DKXÇnin gösterebileceği bütün tayfsal değişimleri gösterdi. Kaynak patlaması boyunca ayrıca üç tane Tip I X-ışın patlaması da göstermiştir. Bu patlamalardan son iki tanesi fotosferik yarıçap genişlemesi de göstermiştir.

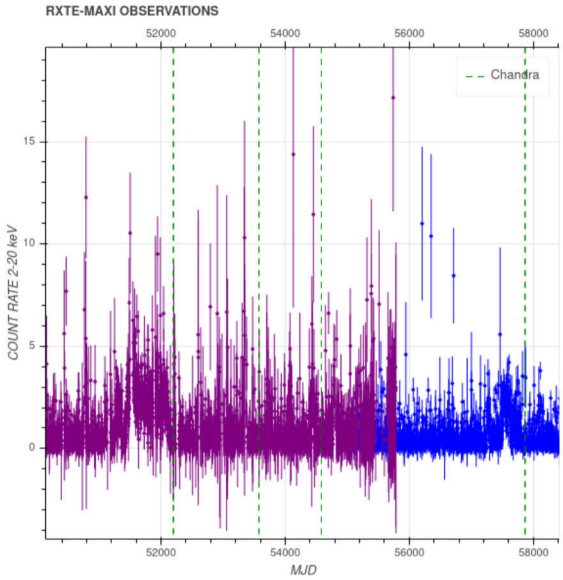
### 3.4.5. EXO 0748-676




**Şekil 3.11** EXO 0748-676'a ait RXTE/ASM (mor) verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrisi. Kaynağın patlama sonrasında elde edilmiş olan gözlemleri dikkate alınmıştır.

EXO 0748-676, 1985 Şubat ayında EXOSAT ile keşfedildiğinden beri yoğun bir şekilde çalışılan bir DKXÇ'dir (Parmar *ve diğ.*, 1985). (Gottwald *ve diğ.*, 1986) çalışmasında tespit ettikleri Tip I X-ışın patlaması ile kaynakğın barındırdığı kompakt baş bileşenin nötron yıldızı olduğu anlaşıldı. Uzaklığı yine Tip I X-ışın patlamalarından itibaren, Helyum baskın fotosfer yaklaşımıyla $7.4 \pm 0.9$ kpc; Güneş kompozisyonu varsayımıyla ise $5.9 \pm 0.9$ kpc olarak hesaplandı. Parlama zamanı ve fotosferik yarıçap genişlemesi gözlemlenen sistemde sadece Helyum yanması olduğu varsayılarak uzaklık 7.4 kpc olarak en iyi şekilde bulundu (Galloway *ve diğ.*, 2008). Yıllar içerisinde kaynağın X-ışın akısındaki değişimler kaynağın geçici X-ışın değişeni olarak tanımlanmasını sağladı. Tez için EXO 0748-676'nın 2008 yılındaki patlamasından sonraki sakin evre gözlemleri kullanılmıştır.

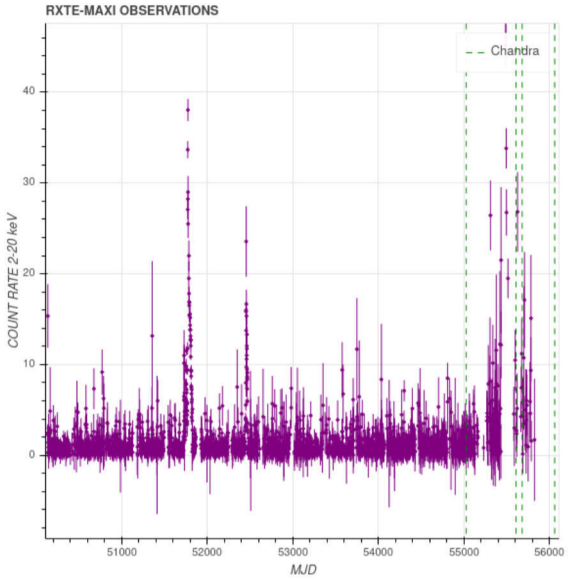
### 3.4.6. MXB 1659-298




**Şekil 3.12** MXB 1659-297'ye ait RXTE/ASM (mor) ve MAXI (mavi) verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrileri eğrisi. Kaynak sakin evreye geçtikten sonra alınan gözlemlerden faydalanılmıştır.

MXB 1659-29, (Lewin *ve diğ.*, 1976) tarafından keşfedilmiş bir geçici X-ışın kaynağıdır. Keşfedildiği sırada gösterdiği Tip X-ışın patlamalarından dolayı sistemde bulunan kompakt cismin bir nötron yıldızı olduğu sonucuna varılmıştır. Kaynağın ayrıca X-ışınlarında tutulmalar gösterdiği de sonradan gözlemlenmiştir. 1979 yılında kaynak tekrar gözlenmek istemiş ancak tesbit edilememiştir. 0.5-10 keV aralığında ROSAT teleskobu ile yapılan gözlemler ışığında kaynağın akısı 1991 ve 1992 yıllarında yaklaşık olarak $10^{-12}$ erg. $s^{-2}$. $cm^{-2}$ olarak tespit edilmiştir (Verbunt *ve diğ.*, 2001; Wijnands *ve diğ.*, 2002). Yaklaşık olarak 21 yıl boyunca sakin evrede kalan kaynağın 1999 yılı Nisan ayında BeppoSAX X-ışın teleskobu ile bir patlama gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir (in't Zand *ve diğ.*, 1999). Bu patlama ayrıca RXTE ASM, RXTE PCA ve XMM-Newton X-ışın teleskobu tarafından da etraflıca çalışılmıştır. Yaklaşık olarak 2.5 yıl süren patlama sonrasında MXB 1659-29, 2001 yılında yeniden sakin evreye geçiş yaptı ve RXTE'nin PCA dedektörü tarafından alanda bir daha gözlemlenemedi. Kaynağın sakin evreye geçmesi ile birlikte kabuğun soğumaya başladığı düşünülerek birçok XMM-Newton ve Chandra gözlemi yapılmış ve soğumaya dair varsayımlar üzerinde durulmuştur (Wijnands *ve diğ.*, 2003, 2004, 2005a).

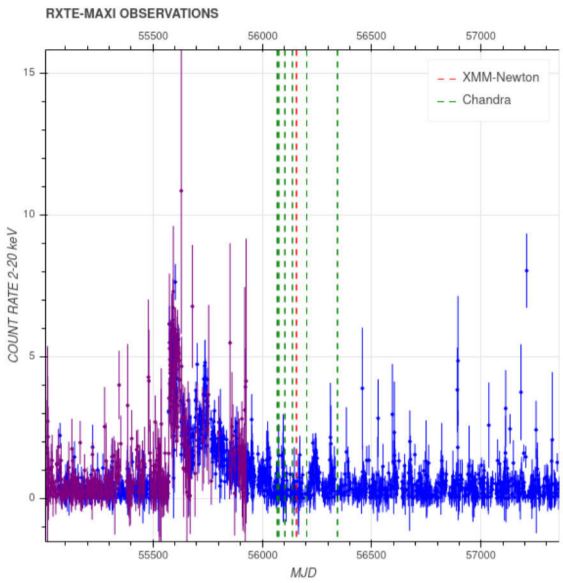
### 3.4.7. Swift J174805.3-244637




**Şekil 3.13** Swift J174805.3-244637 ait RXTE/ASM (mor) verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrisi.

Terzan 5, Samanyolu'nda bulunan, 4.6-8.7 kpc ($N_H \simeq 10^{22}$ cm$^{-2}$; (Heinke *ve diğ.*, 2006b); (Bahramian *ve diğ.*, 2014)) uzaklıkta bulunan ve oldukça soğurulmuş bir küresel kümedir. Bünyesinde büyük sayılarda birçoğu sakin evre nötron yıldızı DKXÇ olduğu düşünülen sönük X-ışın nokta kaynağı barındırmaktadır (Heinke *ve diğ.*, 2006b). Bu kaynaklardan birisi de 2012 yılında keşfedilen bir DKXÇ, geçici nötron yıldızı kaynağı olan Swift J174805.3-244637 oldu (Bahramian *ve diğ.*, 2014). Kaynağın patlaması ilk kez 2012 Temmuz ayında gözlemlenmiştir. Sonrasında ise 7-8 hafta kadar boyunca parlaklığını korumaya devam etmiştir. Bu sırada kaynağın parlaklığı yaklaşık olarak $\sim 10^{36}$ erg/s mertebelerinde ölçülmüştür. Ayrıca bu sırada gözlenen bir termonükleer X-ışın patlaması sayesinde kaynağın uzaklığı 5.5 kpc (Degenaar *ve diğ.*, 2015) olarak tespit edilmiştir. 2003 ve 2012 yılları arasında ufak tefek ışık değişimleri gözlense de kaynak sakin evre akısını korumaya devam etti. 2012 yılında ise tekrar patlama geçirmesi ve hemen sonrasında tekrar sakin evreye geçmesi, nötron yıldızlarının kabuk soğumalarının doğasını anlamamız açısından bu kaynağı eşsiz bir deney aracı yapmaktadır.

### 3.4.8. MAXI J0556-332




**Şekil 3.14** MAXI J0556-332'e ait RXTE/ASM (mor) ve MAXI (mavi) verileri kullanılarak oluşturulmuş uzun dönemli ışık eğrisi.

MAXI J0556-332, 2011 yılında keşfedilmiş bir geçici X-ışın nötron yıldızı içeren DKXÇ'dir. Keşfedildikten hemen sonra yaklaşık olarak 16 ay süren bir patlama sergilemiştir. Sonrasında 2012 yılında yaklaşık olarak 2 ay (Sugizaki *ve diğ.*, 2012) ve 2016 yılında da yaklaşık olarak 3 ay (Negoro *ve diğ.*, 2016) süren iki patlama daha gerçekleştirmiştir. (Sugizaki *ve diğ.*, 2013) çalışmasında MAXI, Swift ve RXTE gözlemlerini kullanarak kaynağın 17 kpc; sonrasında da (Homan *ve diğ.*, 2014) yılında hemen sonrasında Swift, Chandra ve XMM-Newton gözlemleri kullanarak yaptıkları çalışma ile kaynağın 45 kpc uzaklıkta olduğunu öne sürmüşlerdir. (Ho *ve diğ.*, 2014) çalışmasında birinci ve ikinci patlama sonrasındaki sakin evre üzerine çalışmış ve çok sıcak bir nötron yıldızı kabuğu olduğu sonucuna varılmıştır. Bundan yola çıkarak ise, ikinci patlamanın aslında nötron yıldızının kabuğunu pek de ısıtmamış olduğu varsayımını ortaya atmışlardır. (Deibel *ve diğ.*, 2015) çalışmasında ise birinci patlama sonrasında büyük bir miktarda sığ ısıtma sürecinin olduğu bulmuştur.

# 4. BULGULAR

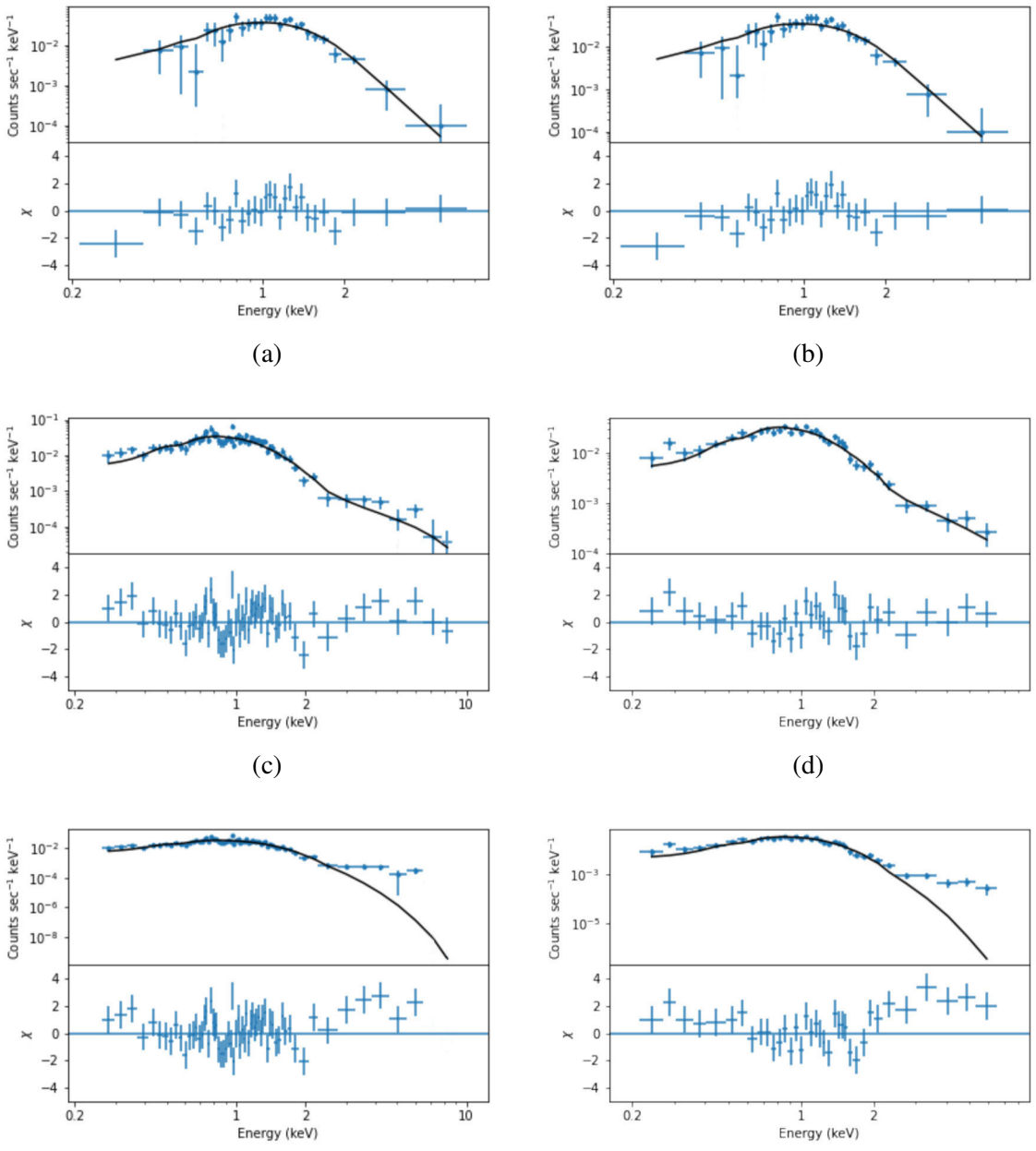
Aşağıda her bir kaynak için kullanılan gözlemler, elde edilen X-ışın tayfları ve veri ile en iyi uyum sağlayan NSA ve rNSA model parametreleri verilmiştir.

## 4.1. 1RXS J180408.9-342058

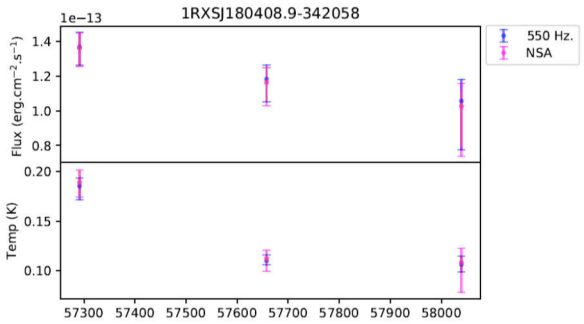
Kaynağın tezin amaçlarına uygun az sayıda (üç adet) gözlemi bulunmaktadır. Bu gözlemler hem NSA hem de rNSA modeli ile modellenmiştir. Hidrojen kolon yoğunluğu ve foton indeksi değerleri Bölüm 3.2'de açıklandığı şekilde, sırasıyla $N_H = 0.348 \pm 0.05 \times 10^{22}$ cm$^{-2}$ ve $\Gamma = 2.97 \pm 0.02$ olarak bulunmuştur. D, cismin parsek (pc) cinsinden uzaklığı olmak üzere, normalizasyon $2.97 \times 10^{-8}$ olarak hesaplanmış ve analizde bu şekilde kullanılmıştır. Her bir gözlemde elde edilen X-ışın tayfları **Şekil 4.1**'de gösterilmiştir. Ayrıca elde edilen tayfsal parametreler **Tablo 4.1**'de verilmiştir. Modelleme sonucu elde edilen $\chi^2$ / dof NSA ve rNSA modelleri için sırasıyla 192/125 ve 191/125'dir.

**Tablo 4.1** 1RXS J180408.9-342058 için yapılan simültane fitlere ait sonuçlar.

| Tarih (MJD) | Poz Süresi (ks) | $kT_{NSA}$ (keV) | $kT_{rNSA}$ (keV) | $F_{x,NSA}$[1] $\times 10^{-13}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ | $F_{x,rNSA}$ $\times 10^{-13}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 57291 | 32.7 | 0.19 $\pm$0.01 | 0.19 $\pm$0.01 | 0.133$\pm$0.009 | 0.134 $\pm$0.009 |
| 57658 | 78.0 | 0.13 $\pm$0.01 | 0.13 $\pm$0.01 | 0.125$\pm$0.005 | 0.126 $\pm$0.005 |
| 58039 | 81.7 | 0.14 $\pm$0.01 | 0.14 $\pm$0.01 | 0.122 $\pm$0.005 | 0.122 $\pm$0.005 |




**Şekil 4.1** 1RXS J180408.9-342058'den patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir.



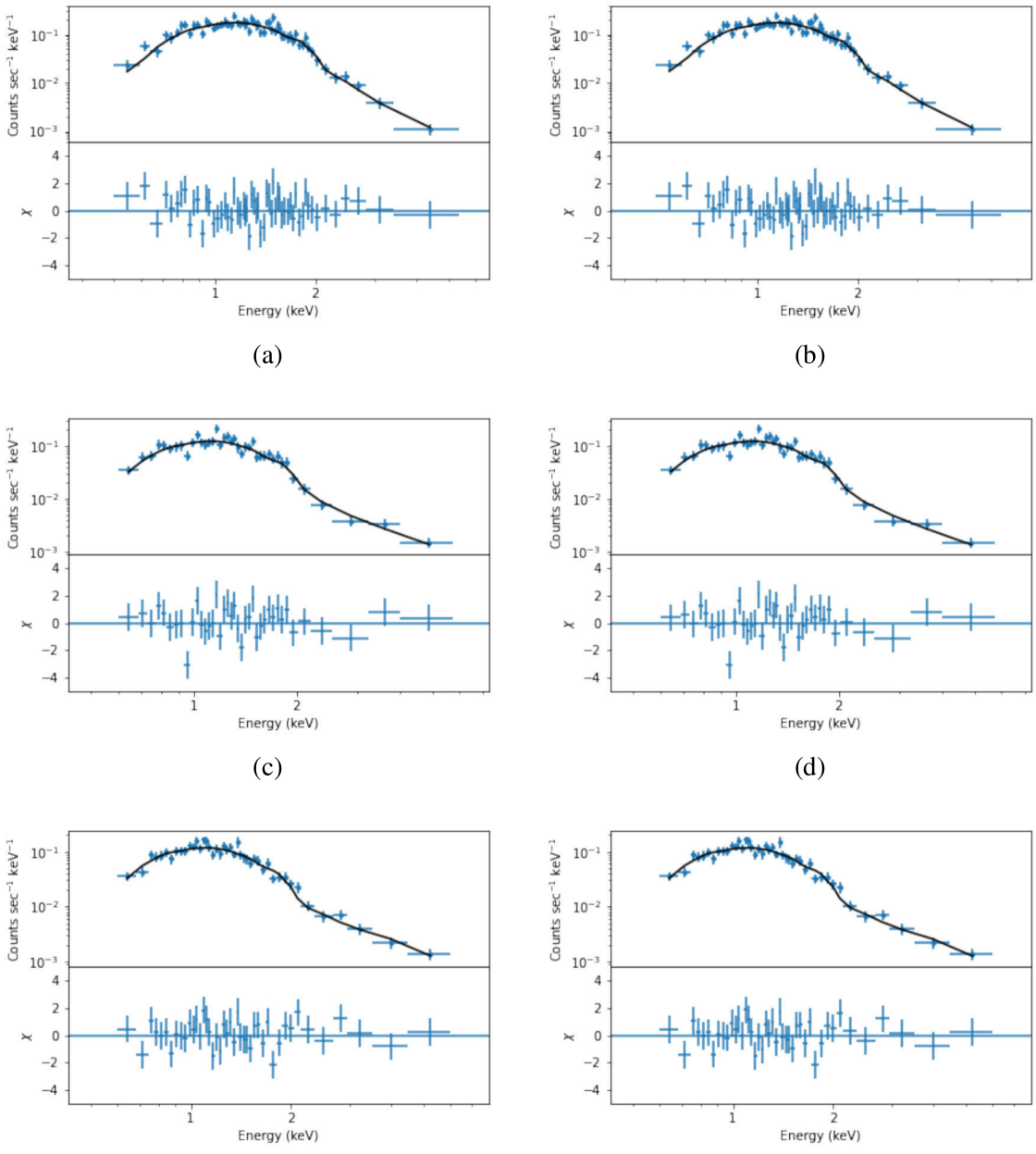

**Şekil 4.2** 1RXS J180408.9-342058'e ait soğuma eğrisi. Üst panel akı; alt panel ise keV biriminden sıcaklığı göstermektedir. X-ekseni, MJD biriminden zamanı temsil etmektedir.

## 4.2. AQL X-1

Aql X-1 çok sık patlamalar yapmasıyla tanınan bir geçici X-ışın kaynağıdır. Sıklıkla patlamalar yapsa da patlamalar sonrasında sakin evrede yapılan gözlemler incelendiğinde projemiz amaçlarına uygun şekilde gözlenmiş elde edilmiş iki farklı patlaması olduğu görülmektedir. Bu gözlemler hem NSA hem de rNSA modeli ile modellenmiştir. Hidrojen kolon yoğunluğu ve foton indeksi değerleri Bölüm 3.2'de açıklandığı şekilde, sırasıyla $N_H$= 0.55±0.04 $\times 10^{22}$ $cm^{-2}$ ve Γ=1.24 ±0.07 olarak bulunmuştur. D, cismin parsek (pc) cinsinden uzaklığı olmak üzere, normalizasyon $4\times\ 10^{-8}$ olarak hesaplanmış ve analizde bu şekilde kullanılmıştır. Her bir gözlemde elde edilen X-ışın tayfları **Şekil 4.3**, **Şekil 4.4**, **Şekil 4.5**, **Şekil 4.6**, **Şekil 4.7** ve **Şekil 4.8** gösterilmiştir. Ayrıca elde edilen tayfsal parametreler Tablo 3'de NSA ve rNSA modelleri için verilmiştir. Son olarak **Tablo 4.2** ve **Tablo 4.3**'de elde edilen verilerden itibaren nötron yıldızının soğuma trendi gösterilmiştir. Modelleme sonucu elde edilen $\chi^2$ / dof NSA ve rNSA modelleri için sırasıyla 471/473 ve 471/473'dür ve ikinci patlama için ise 352/401 ve 356/401'dir.

**Tablo 4.2** Aql X-1'in seçilen 2011 yılına ait patlama için yapılan simültane fitlere ait sonuçlar.

| Tarih (MJD) | Poz Süresi (ks) | $kT_{NSA}$ (keV) | $kT_{rNSA}$ (keV) | $F_{x,NSA}$[1] $\times 10^{-12}$ erg/ $cm^2$ / $s^{-1}$ | $F_{x,rNSA}$ $\times 10^{-12}$ erg/ $cm^2$ / $s^{-1}$ | $norm_{PL}$[2] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 51876 | 7.31 | 0.17±0.01 | 0.16±0.01 | 1.76±014 | 1.70±0.06 | 1.55±0.60 |
| 51991 | 8.15 | 0.15±0.01 | 0.14±0.01 | 1.23±0.07 | 1.17±0.06 | – |
| 52019 | 10.19 | 0.14±0.01 | 0.13±0.01 | 1.19±0.06 | 1.14±0.06 | 3.77±0.60 |
| 52399 | 7.16 | 0.16±0.01 | 0.15±0.01 | 1.60±0.09 | 1.61±0.08 | 3.9±0.60 |
| 52414 | 7.67 | 0.15±0.01 | 0.14±0.01 | 1.67±0.09 | 1.65±0.09 | 7.35±0.80 |
| 52461 | 6.55 | 0.14±0.01 | 0.13±0.01 | 1.11±0.08 | 1.04±0.07 | 1.61±0.10 |
| 52478 | 7.17 | 0.17±0.1 | 0.16±0.01 | 0.96±0.07 | 0.91±0.05 | – |
| 52504 | 7.86 | 0.16±0.01 | 0.15±0.01 | 0.92±0.07 | 0.87±0.05 | – |
| 52521 | 7.65 | 0.16±0.08 | 0.15±0.01 | 1.06±0.06 | 1.01±0.06 | 2.22±0.50 |
| 52562 | 7.453 | 0.14±0.07 | 0.14±0.01 | 0.94±0.07 | 0.90±0.06 | – |
| 52564 | 13.93 | 0.15±0.08 | 0.14±0.01 | 0.83±0.08 | 0.80±0.04 | 0.40±0.10 |

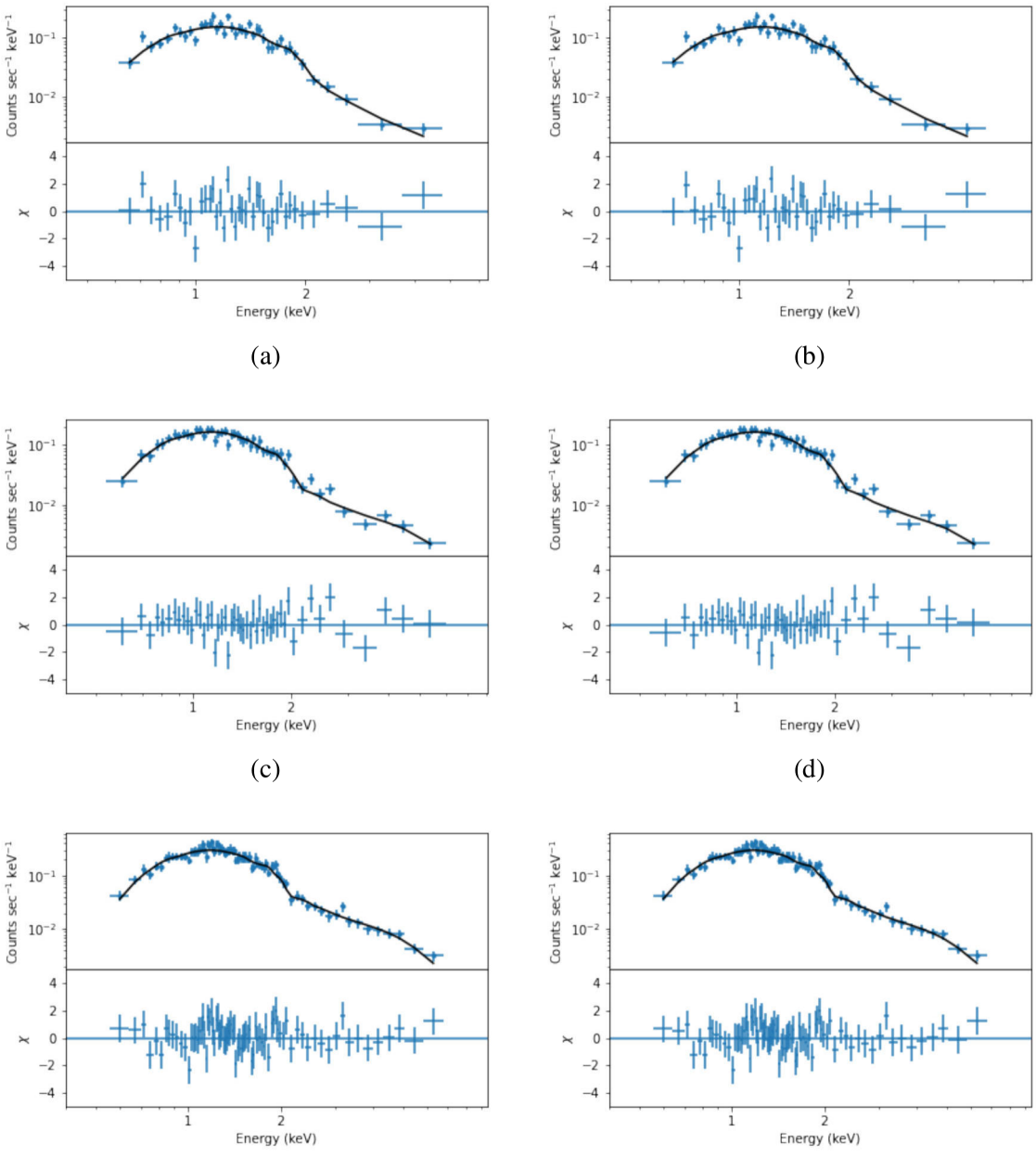



(a) (b)

(c) (d)

(e) (f)

**Şekil 4.3** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir.

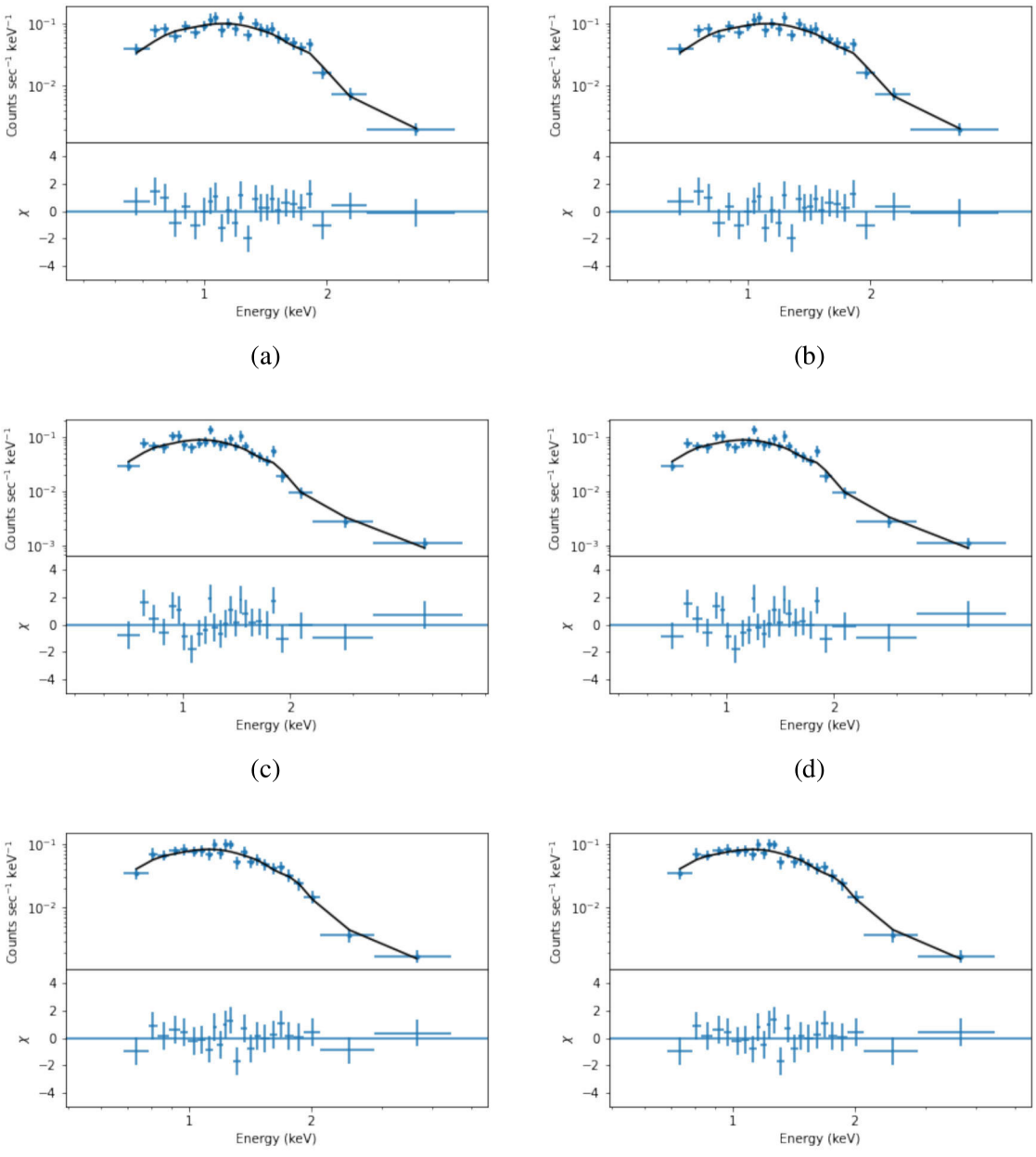



(a) (b)

(c) (d)

(e) (f)

**Şekil 4.4** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir.

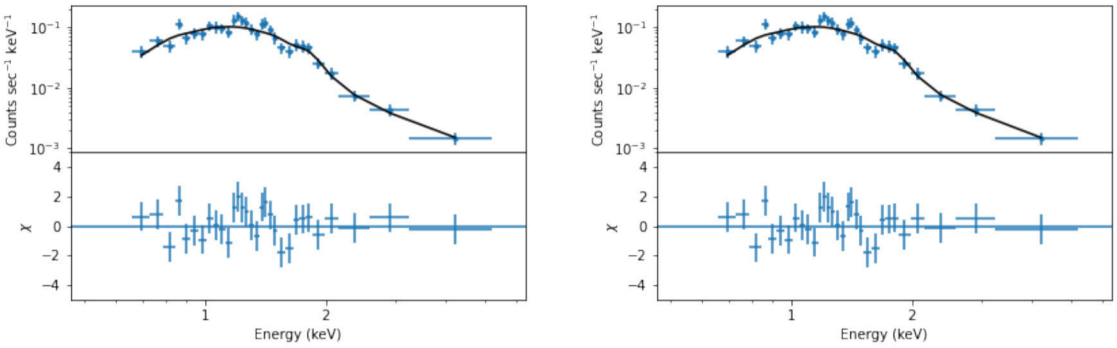



(a) (b)

(c) (d)

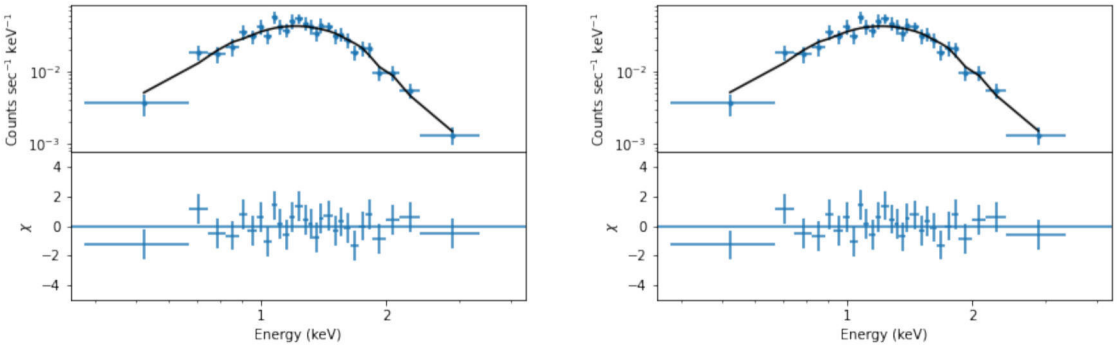
(e) (f)

**Şekil 4.5** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir.



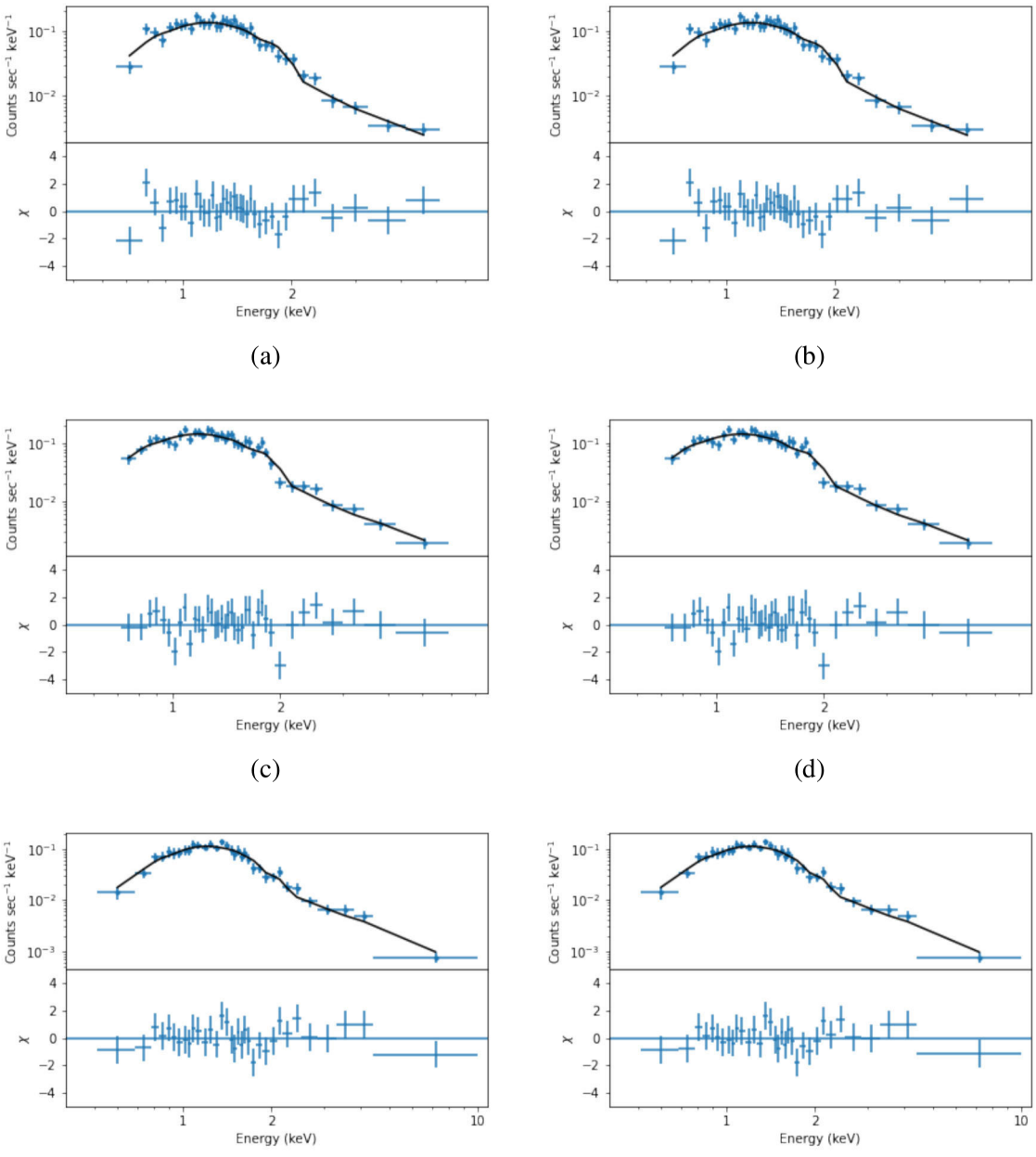

(a) (b)

**Şekil 4.6** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir.

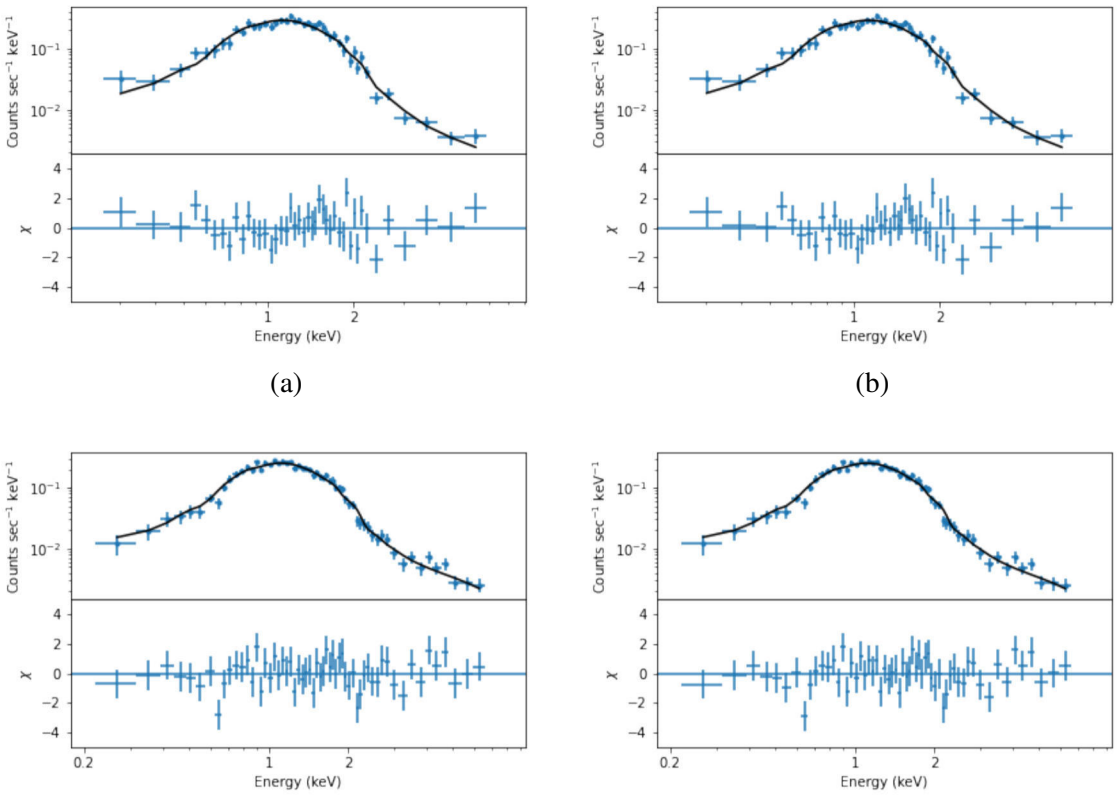



(a) (b)

**Şekil 4.7** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir.



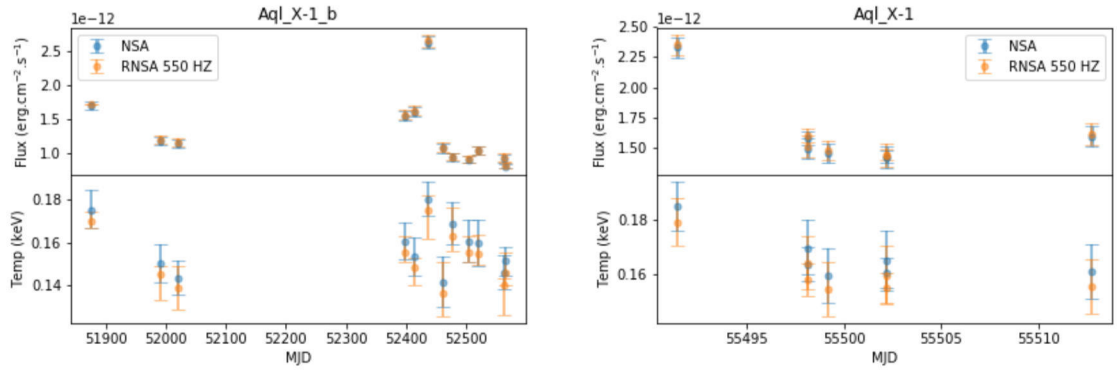

**Şekil 4.8** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir.




(a) (b)

(c) (d)

**Şekil 4.9** Aql X-1'dan birinci patlaması sonrasında elde edilen sakin evre X-ışın tayfları. Her panelde X-ışın verileri ile en iyi uyum sağlayan model siyah çizgi ile gösterilmiştir. Alt paneller veri ile model arasındaki farkı her bir verinin hatasına normalize edilmiş şekilde göstermektedir. Sol ve sağ paneller sırasıyla NSA ve rNSA modellemelerini göstermektedir.




(a) (b)

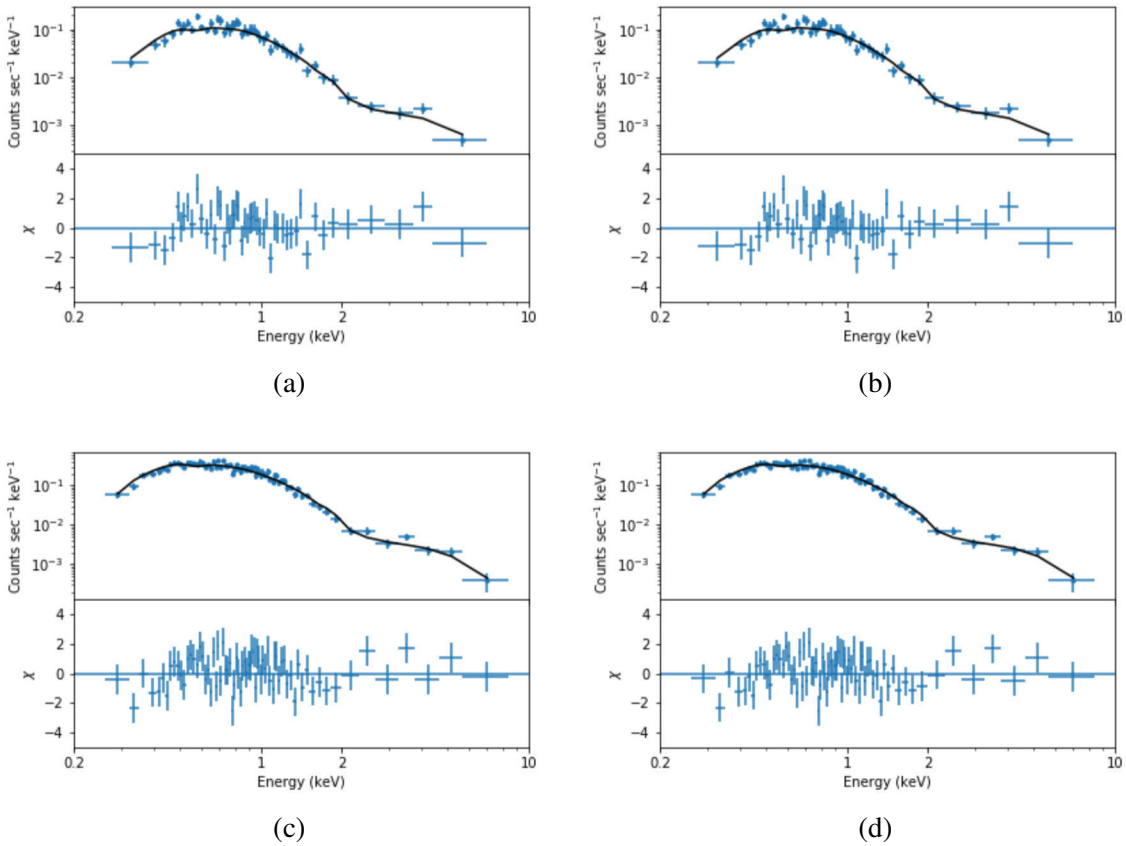
**Şekil 4.10** Aql X-1'e ait soğuma eğrisi. Üst paneller akı, alt paneller ise sıcaklığı göstermektedir.

**Tablo 4.3** Aql X-1'in seçilen 2014 yılına ait patlama sonrası elde edilen soğuma yapılan simültane fitlere ait sonuçlar.

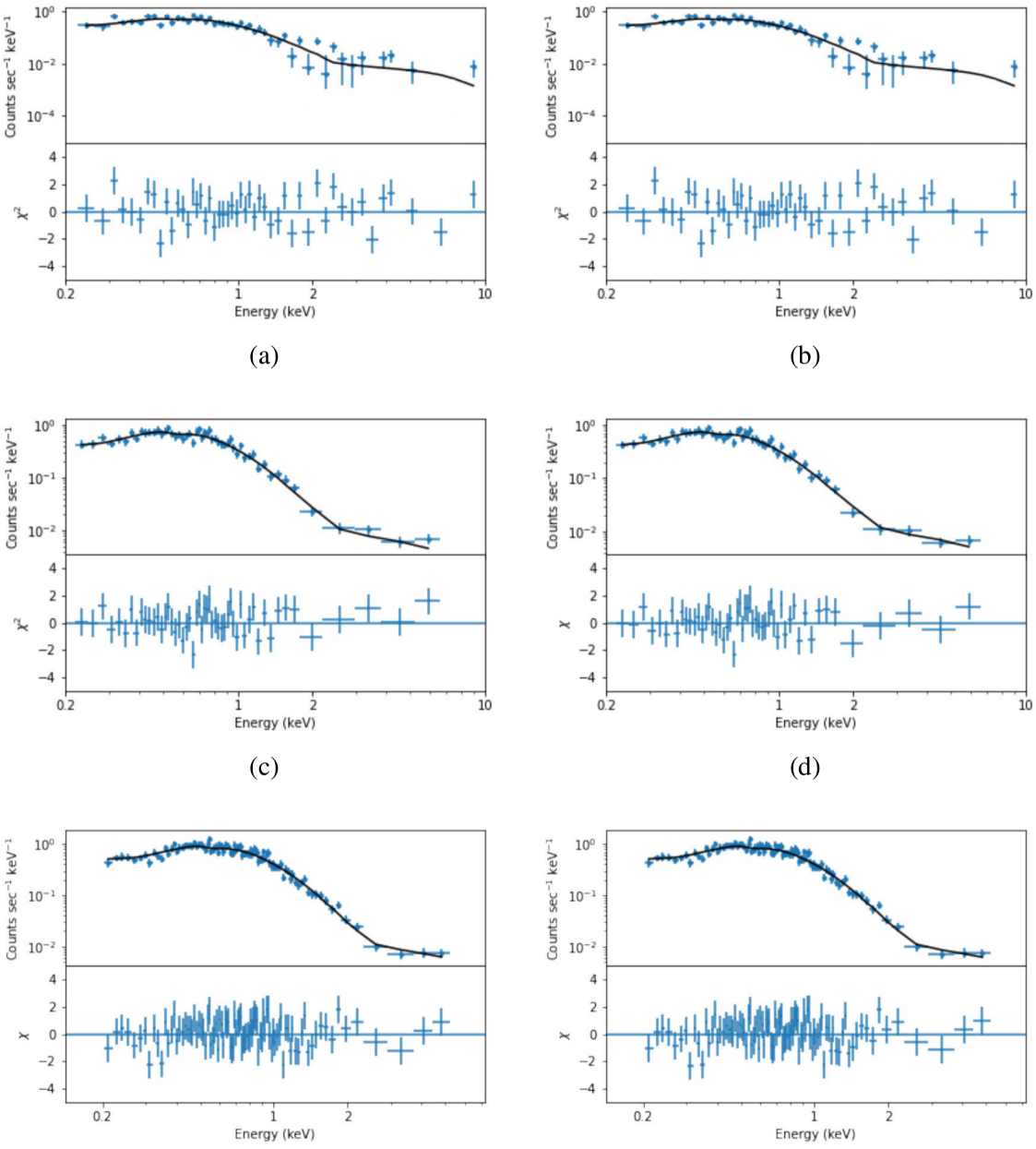
| Tarih (MJD) | Poz Süresi (ks) | $kT_{NSA}$ (keV) | $kT_{rNSA}$ (keV) | $F_{x,NSA}$[1] $\times 10^{-12}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ | $F_{x,rNSA}$ $\times 10^{-12}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ | $norm_{PL}$[2] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 55491 | 7.01 | 0.18±0.09 | 0.18±0.09 | 2.32 ±1.16 | 2.35±0.04 | 8.35±0.90 |
| 55499 | 7.01 | 0.16±0.01 | 0.16±0.01 | 1.46±0.09 | 1.47±0.03 | 4.45±0.70 |
| 55512 | 7.01 | 0.16±0.01 | 0.16±0.01 | 1.59±0.10 | 1.61±0.03 | 4.69±0.60 |
| 55498 | 7.62 | 0.16±0.06 | 0.17±0.06 | 1.58±0.05 | 1.59±0.02 | 3.11±0.30 |
| 55502 | 14.90 | 0.16±0.05 | 0.16±0.05 | 1.43±0.04 | 1.44±0.01 | 2.89±0.20 |

## 4.3. CEN X-4

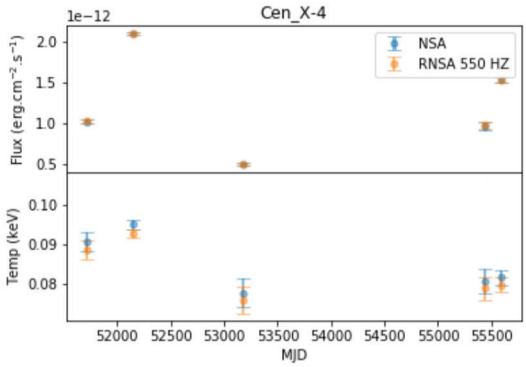
Cen X-4 şu ana kadar soğuması en iyi çalışılabilmiş geçici nötron yıldızlarından biridir ve birçok X-ışın gözlemevi tarafından gözlemlenmiştir ve sakin evrede olduğu gözlemleri projemiz kapsamında kullanılmıştır. Bu gözlemler hem NSA hem de rNSA modeli ile modellenmiştir. Hidrojen kolon yoğunluğu ve foton indeksi değerleri Bölüm 3.2'de açıklandığı şekilde, sırasıyla $N_H$= 6.3$\pm$0.02 $\times 10^{20}$ cm$^{-2}$ ve $\Gamma$=0.92 $\pm$0.02 olarak bulunmuştur. D, cismin parsek (pc) cinsinden uzaklığı olmak üzere, normalizasyon $7\times10^{-7}$ olarak hesaplanmış ve analizde bu şekilde kullanılmıştır. Tayfsal parametreleri **Tablo 4.4**'te ve tayfları **Şekil 4.11** ve **Şekil 4.12**'de gösterilmiştir. Son olarak ise, uzun dönemli akı ve sıcaklık değişimi **Şekil 4.13**'de gösterilmiştir. Modelleme sonucu elde edilen $\chi^2$ / dof NSA ve rNSA modelleri için sırasıyla 665/583 ve 665/583'dür.




**Şekil 4.11** Cen X-4 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol kolondaki grafikler NSA, sağ kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir.




**Şekil 4.12** Cen X-4 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol kolondaki grafikler NSA, sağ kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir.




**Şekil 4.13** Cen X-4' e ait ışık eğrisi. Üst tarafta bulunan panel akı; alt tarafta bulunan panel ise sıcaklığı göstermektedir. X-ekseni, MJD biriminden zamanı temsil etmektedir.

**Tablo 4.4** Cen X-4'a ait tayfsal parametreler.

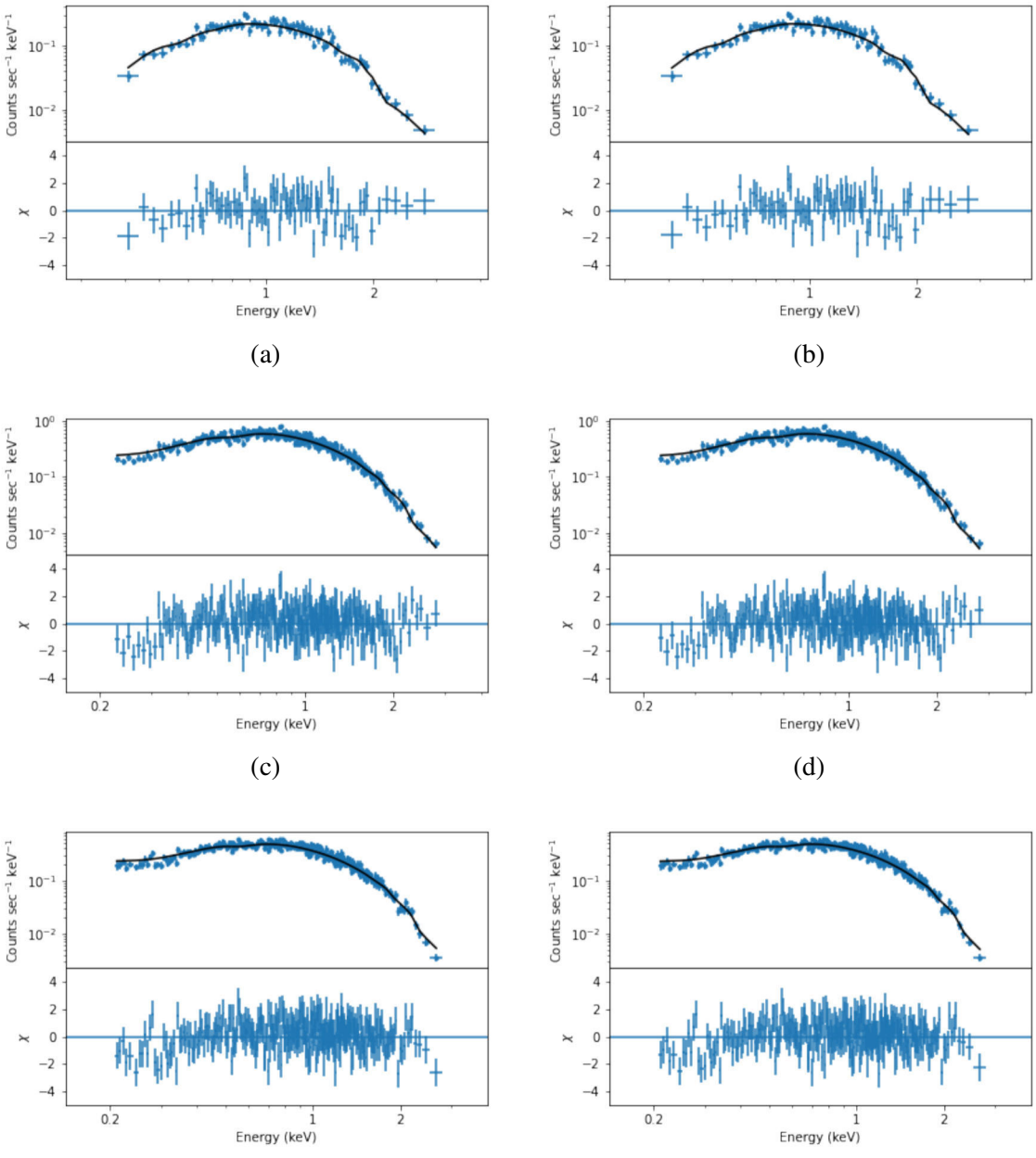
| Tarih (MJD) | Poz Süresi (ks) | $kT_{NSA}$ (keV) | $kT_{rNSA}$ (keV) | $F_{x,NSA}$[1] $\times 10^{-12}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ | $F_{x,rNSA}$ $\times 10^{-12}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ | $norm_{PL}$[2] $\times 10^{-5}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 53177 | 11.2 | $0.078^{-0.003}_{0.004}$ | 0.076±0.003 | 0.49 ±0.02 | 0.49 ±0.02 | 1.38 |
| 51718 | 10.5 | $0.091^{-0.003}_{0.002}$ | 0.089 ±0.002 | 1.02 ±0.02 | 1.02 ±0.02 | 2.59 |
| 52141 | 53.4 | 0.095±0.001 | 0.093 ±0.001 | 2.10 ±0.02 | 2.11 ±0.02 | 4.62 |
| 55443 | 22.8 | 0.081 ±0.003 | 0.079 ±0.003 | 1.23 ±0.04 | 1.24 ±0.04 | 3.47 |
| 55586 | 14.9 | 0.082 ±0.002 | 0.080 ±0.002 | 1.53 ±0.03 | 1.53 ±0.03 | 3.30 |

## 4.4. EXO 0748-676

EXO 0748-676, oldukça yoğun olarak çalışılan bir nötron yıldızı barındıran X-ışın çiftidir. Gösterdiği patlamalar sonrasında elde edilen sakin evre gözlemleri kabuk soğumasının anlaşılması için büyük bir olanak sağlanmaktadır. Proje kapsamında alınan sakin evre gözlemleri NSA ve rNSA modelleri ile modellenmiştir. Hidrojen kolon yoğunluğu Bölüm 3.2'de açıklandığı şekilde, $N_H = 0.54 \pm 0.05 \times 10^{22}$ cm$^{-2}$ olarak bulunmuştur. Bu kaynağın verilerinde ısısal olmayan bileşene gerek duyulmamıştır. D, cismin parsek (pc) cinsinden uzaklığı olmak üzere, normalizasyon $2 \times 10^{-8}$ olarak hesaplanmış ve analizde bu şekilde kullanılmıştır. Tayfsal parametreler Tablo 6'da, tayflar **Şekil 4.14**, **Şekil 4.15**, **Şekil 4.16**, **Şekil 4.17**,'de ve ışık eğrisi ise **Şekil 4.18**'de gösterilmiştir. Modelleme sonucu elde edilen $\chi^2$ / dof NSA ve rNSA modelleri için sırasıyla 1957/1900 ve 1976/1900'dür.

**Tablo 4.5** EXO 0748-676'e ait tayfsal parametreler.

| Tarih (MJD) | Poz Süresi (ks) | $kT_{NSA}$ (keV) | $kT_{rNSA}$ (keV) | $F_{x,NSA}$[1] $\times 10^{-12}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ | $F_{x,rNSA}$ $\times 10^{-12}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 54752 | 15.2 | 0.183 ±0.004 | 0.189 ±0.004 | 1.17 ±0.02 | 1.18 ±0.02 |
| 54776 | 29.8 | 0.160 ±0.002 | 0.166 ±0.002 | 1.19 ±0.01 | 1.20 ±0.01 |
| 54908 | 47.2 | 0.151 ±0.001 | 0.158 ±0.001 | 0.97±0.01 | 0.98±0.01 |
| 55013 | 109.8 | 0.158 ±0.002 | 0.145 ±0.002 | 0.86 ±0.01 | 0.86 ±0.01 |
| 55364 | 104.9 | 0.151 ±0.004 | 0.158 ±0.004 | 0.86 ±0.02 | 0.86 ±0.02 |
| 56397 | 104.4 | 0.148 ±0.001 | 0.135 ±0.001 | 0.71 ±0.01 | 0.72 ±0.01 |
| 54886 | 17.5 | 0.176 ±0.004 | 0.162 ±0.004 | 0.90 ±0.02 | 0.90 ±0.02 |
| 54993 | 30.0 | 0.169 ±0.003 | 0.165 ±0.003 | 0.83 ±0.01 | 0.83 ±0.01 |
| 54755 | 14.6 | 0.175±0.004 | 0.170 ±0.004 | 1.20 ±0.02 | 1.20 ±0.02 |
| 54888 | 10.6 | 0.167 ±0.005 | 0.161±0.005 | 0.94 ±0.02 | 0.95 ±0.02 |
| 55306 | 30.2 | 0.161 ±0.003 | 0.167 ±0.003 | 0.78±0.01 | 0.78±0.01 |

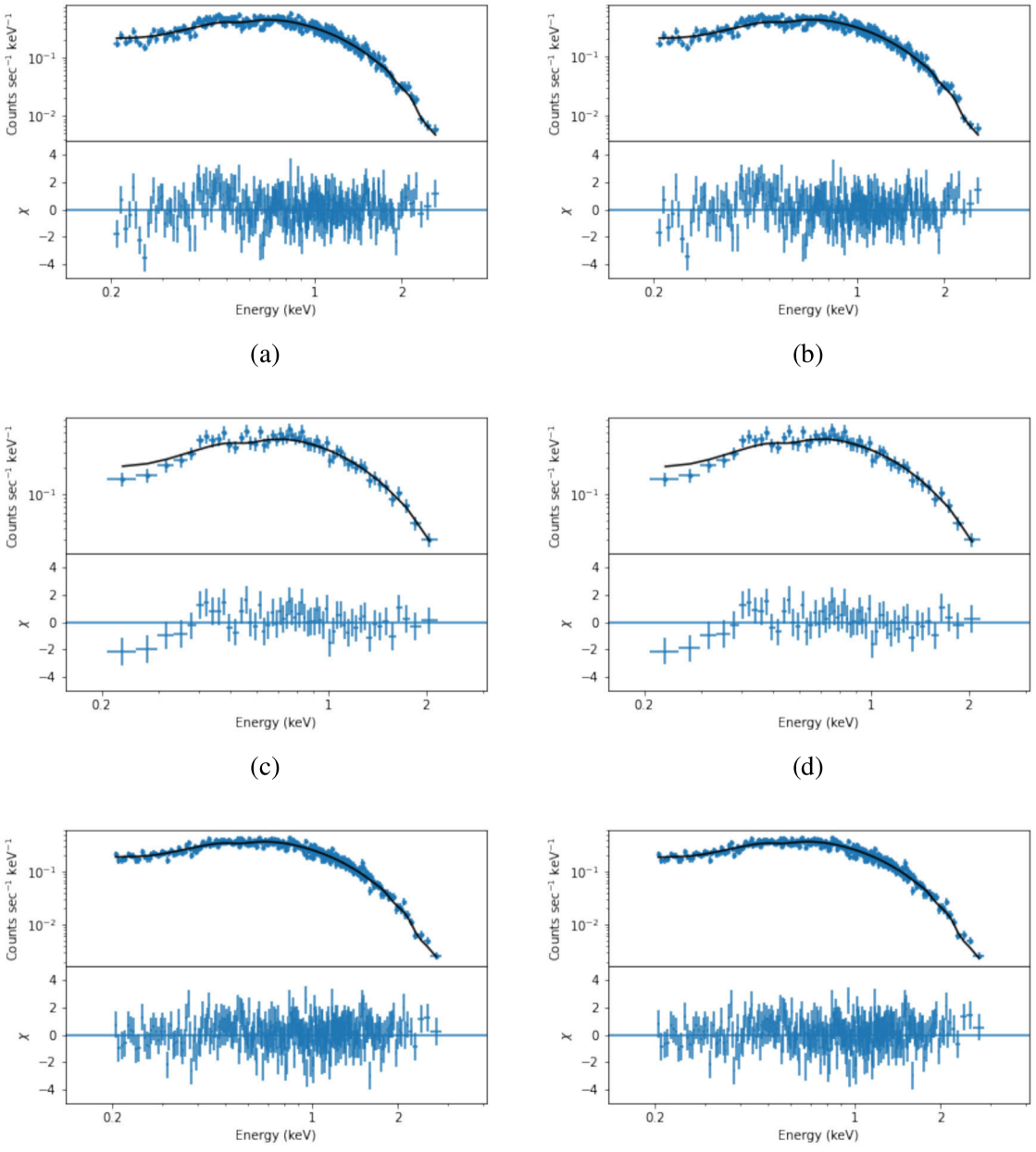



(a) (b)

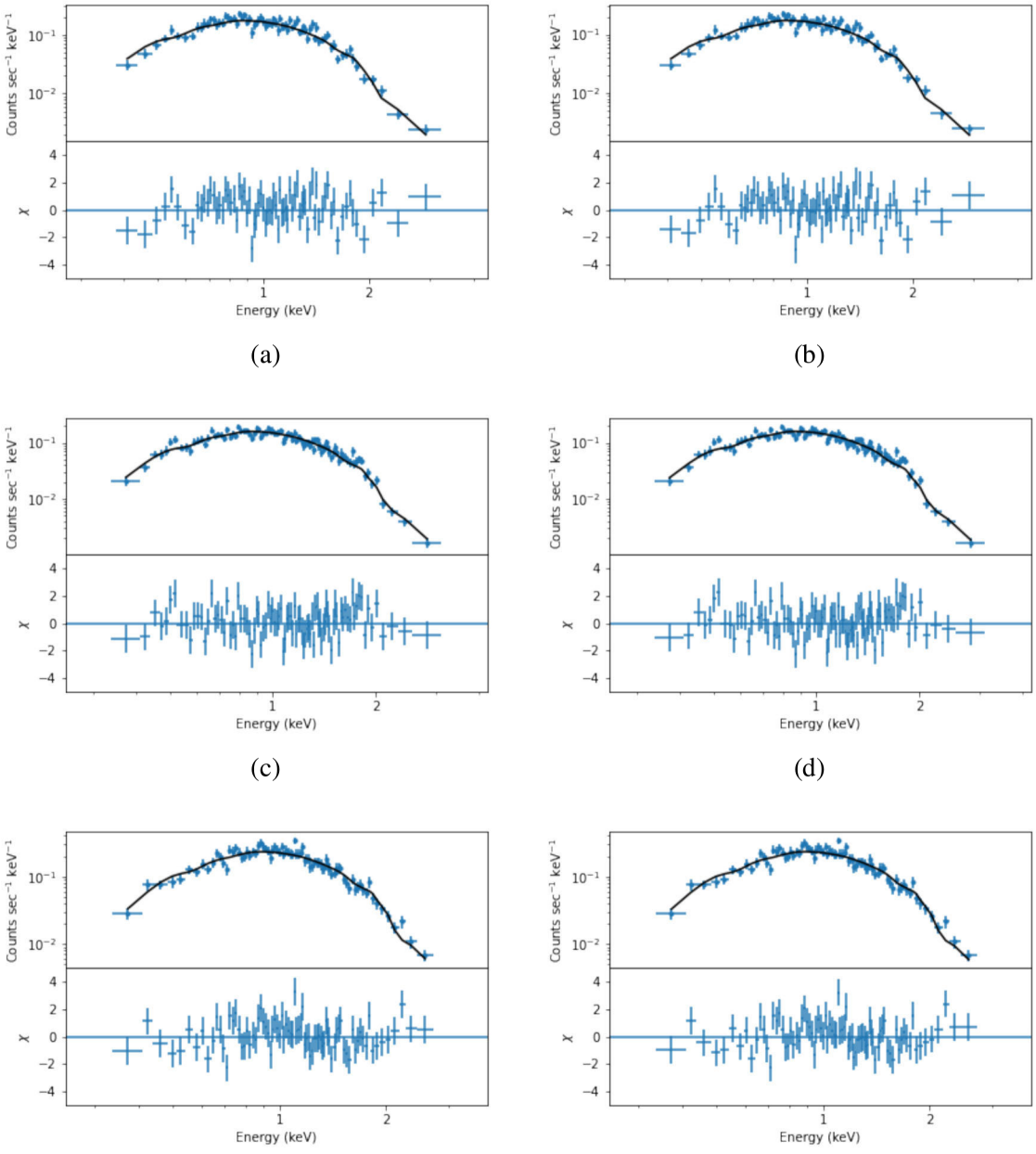
(c) (d)

(e) (f)

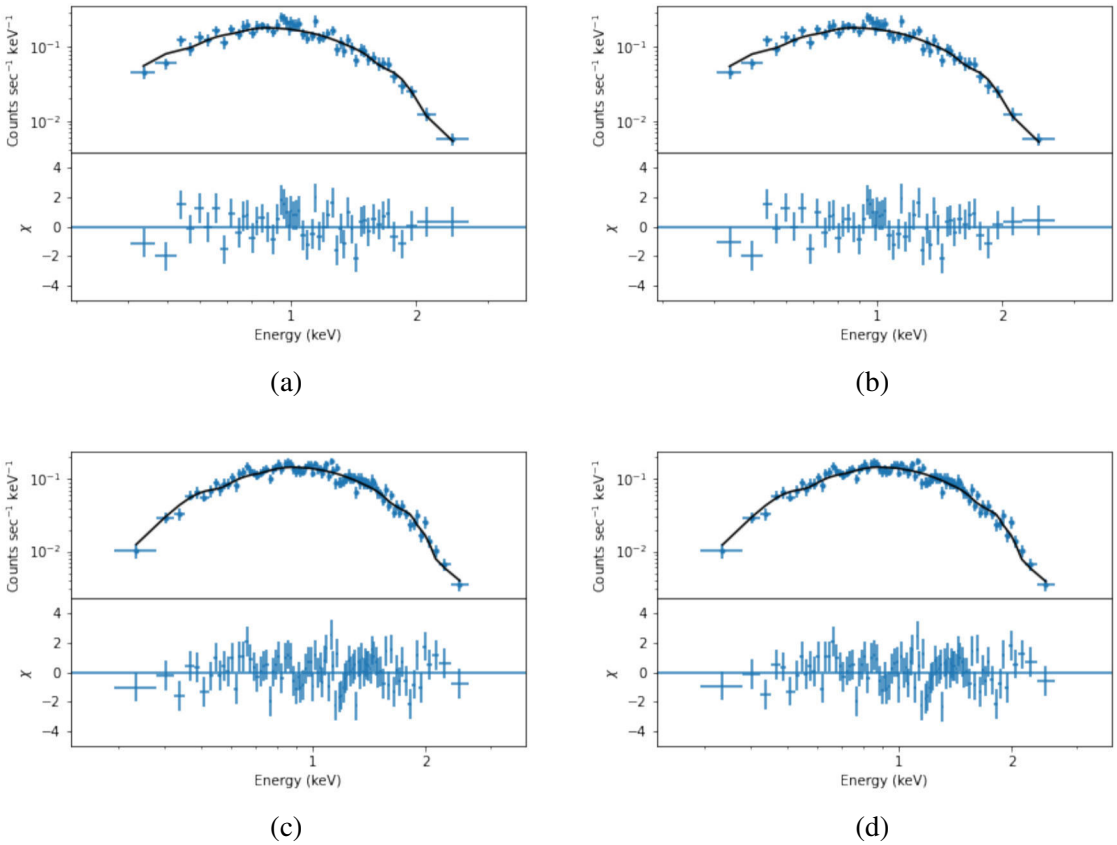
**Şekil 4.14** EXO 0748-676 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütün grafikler NSA, sağ kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir.



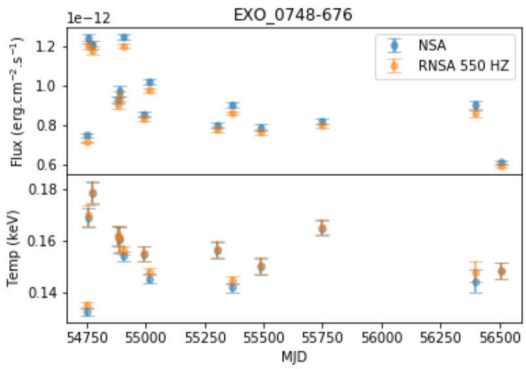

**Şekil 4.15** EXO 0748-676 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütün grafikler NSA, sağ kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir.




**Şekil 4.16** EXO 0748-676 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütün grafikler NSA, sağ kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir.




**Şekil 4.17** EXO 0748-676 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütün grafikler NSA, sağ kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir.



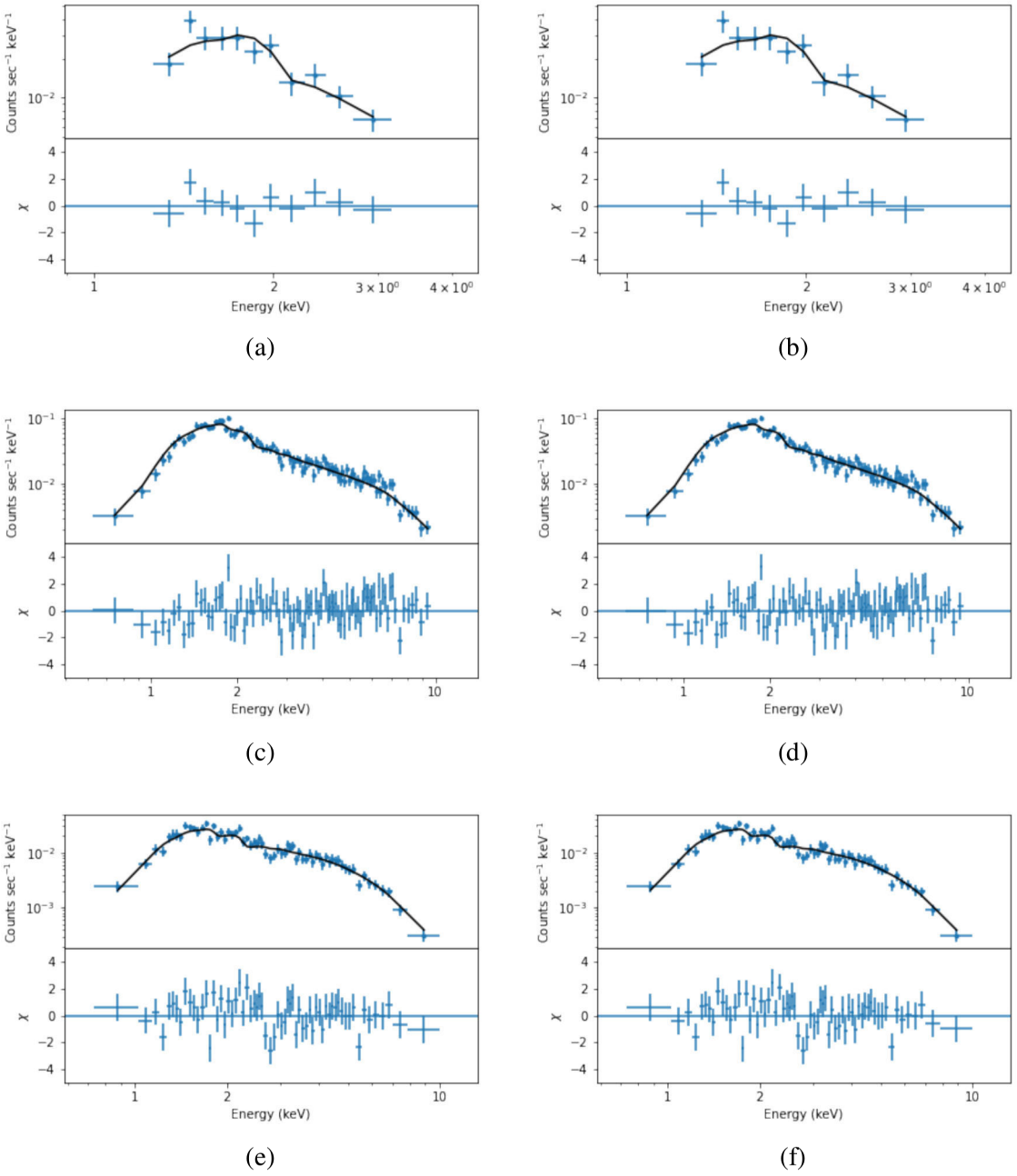

**Şekil 4.18** EXO 0748-676'e ait ışık eğrisi. Üst tarafta bulunan panel akı; alt tarafta bulunan panel ise sıcaklığı göstermektedir. x-ekseni, MJD biriminden zamanı temsil etmektedir.

## 4.5. XTE J1701-462

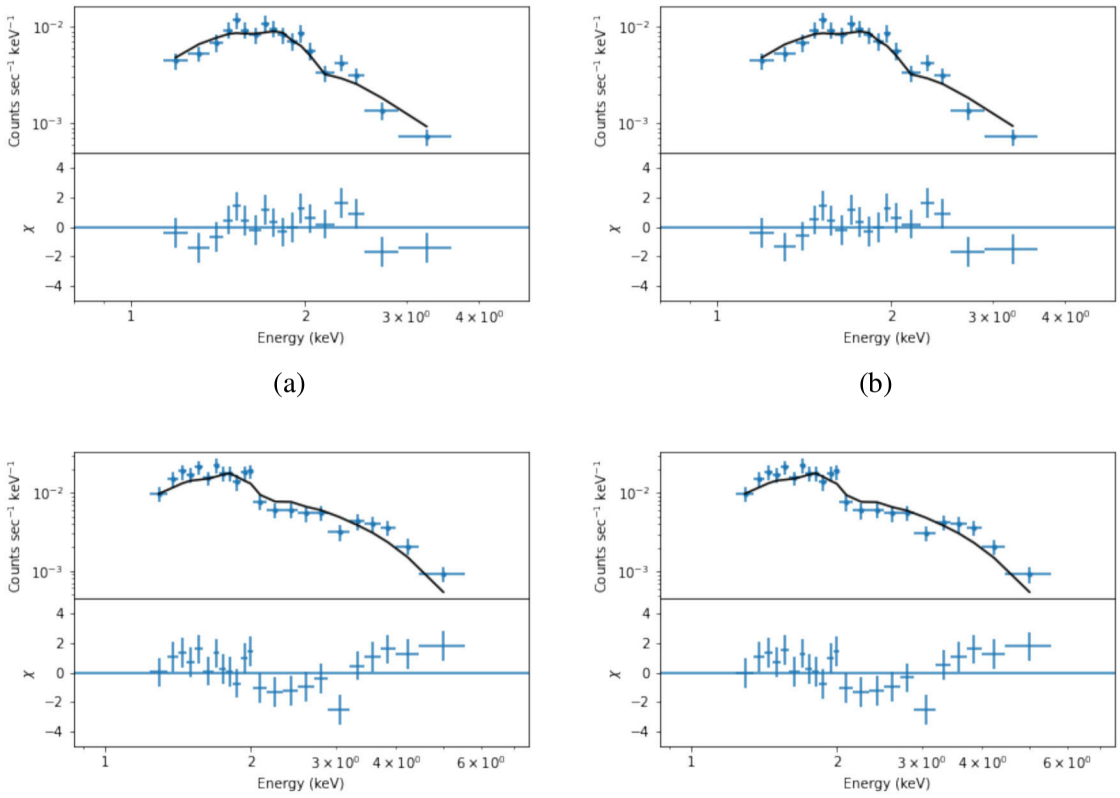
XTE J1701-462, 2007'de geçtiği sakin evre ile soğuma araştırmalarına katkıda bulunmuş bir kaynaktır. Bu bağlamda, alınan sakin evre gözlemleri NSA ve rNSA modelleri ile modellenmiştir. Hidrojen kolon yoğunluğu Bölüm 3.2'de açıklandığı şekilde, $N_H$= 2.95±0.3 $\times 10^{22}$ cm$^{-2}$ olarak bulunmuştur. Bu kaynağında veri analizi sırasında ısısal olmayan bileşene gerek görülmemiştir. D, cismin parsek (pc) cinsinden uzaklığı olmak üzere, normalizasyon $1.2\times10^{-8}$ olarak hesaplanmış ve analizde bu şekilde kullanılmıştır. Tayfsal parametreler **Tablo 4.6**'da, tayflar **Şekil 4.19**, **Şekil 4.20**, **Şekil 4.21**, **Şekil 4.22**, **Şekil 4.23**, **Şekil 4.24**'de ve ışık eğrisi ise **Şekil 4.25**,'de gösterilmiştir. Modelleme sonucu elde edilen $\chi^2$ / dof NSA ve rNSA modelleri için sırasıyla 891/474 ve 877/474'dür.

**Tablo 4.6** XTE J1701-462'ye ait tayfsal parametreler.

| Tarih (MJD) | Poz Süresi (ks) | $kT_{NSA}$ (keV) | $kT_{rNSA}$ (keV) | $F_{x,NSA}$[1] $\times10^{-13}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ | $F_{x,rNSA}$ $\times10^{-13}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 54325 | 5.17 | 0.33±0.02 | 0.33±0.02 | 8.81±0.07 | 8.84±0.07 |
| 54333 | 9.68 | 0.36±0.03 | 0.36±0.03 | 7.81±0.05 | 7.86±0.05 |
| 54338 | 28.90 | 0.31±0.02 | 0.30±0.02 | 5.90±0.03 | 5.93±0.03 |
| 54371 | 27.90 | 0.28±0.01 | 0.28±0.01 | 5.22±0.03 | 5.25±0.03 |
| 54496 | 20.20 | 0.43±0.03 | 0.43±0.03 | 4.50±0.02 | 4.53±0.03 |
| 54547 | 55.50 | 0.65±0.02 | 0.65±0.03 | 12.00 ±0.02 | 1.23±0.02 |
| 54620 | 30.10 | 0.29±0.02 | 0.29±0.02 | 3.75±0.02 | 3.76±0.02 |
| 54753 | 40.40 | 0.39±0.02 | 0.38±0.02 | 3.36±0.01 | 3.39±0.01 |
| 54862 | 30.20 | 0.27±0.01 | 0.26±0.01 | 2.39±0.01 | 2.40±0.01 |
| 54913 | 40.40 | 0.41±0.03 | 0.40±0.04 | 3.65±0.03 | 3.68±0.03 |
| 54914 | 9.10 | 0.38±0.05 | 0.37±0.05 | 3.08±0.04 | 3.10±0.04 |
| 54916 | 19.80 | 0.28±0.02 | 0.27±0.02 | 3.53±0.03 | 3.55±0.03 |
| 54974 | 63.10 | 0.35±0.02 | 0.35±0.02 | 2.62±0.01 | 2.64±0.01 |
| 55027 | 66.30 | 0.32±0.02 | 0.30±0.01 | 2.57±0.01 | 2.58±0.01 |
| 55117 | 44.10 | 0.30±0.02 | 0.29±0.02 | 2.65±0.01 | 2.66±0.01 |
| 55118 | 26.10 | 0.31±0.03 | 0.30±0.03 | 1.93±0.02 | 1.94±0.02 |



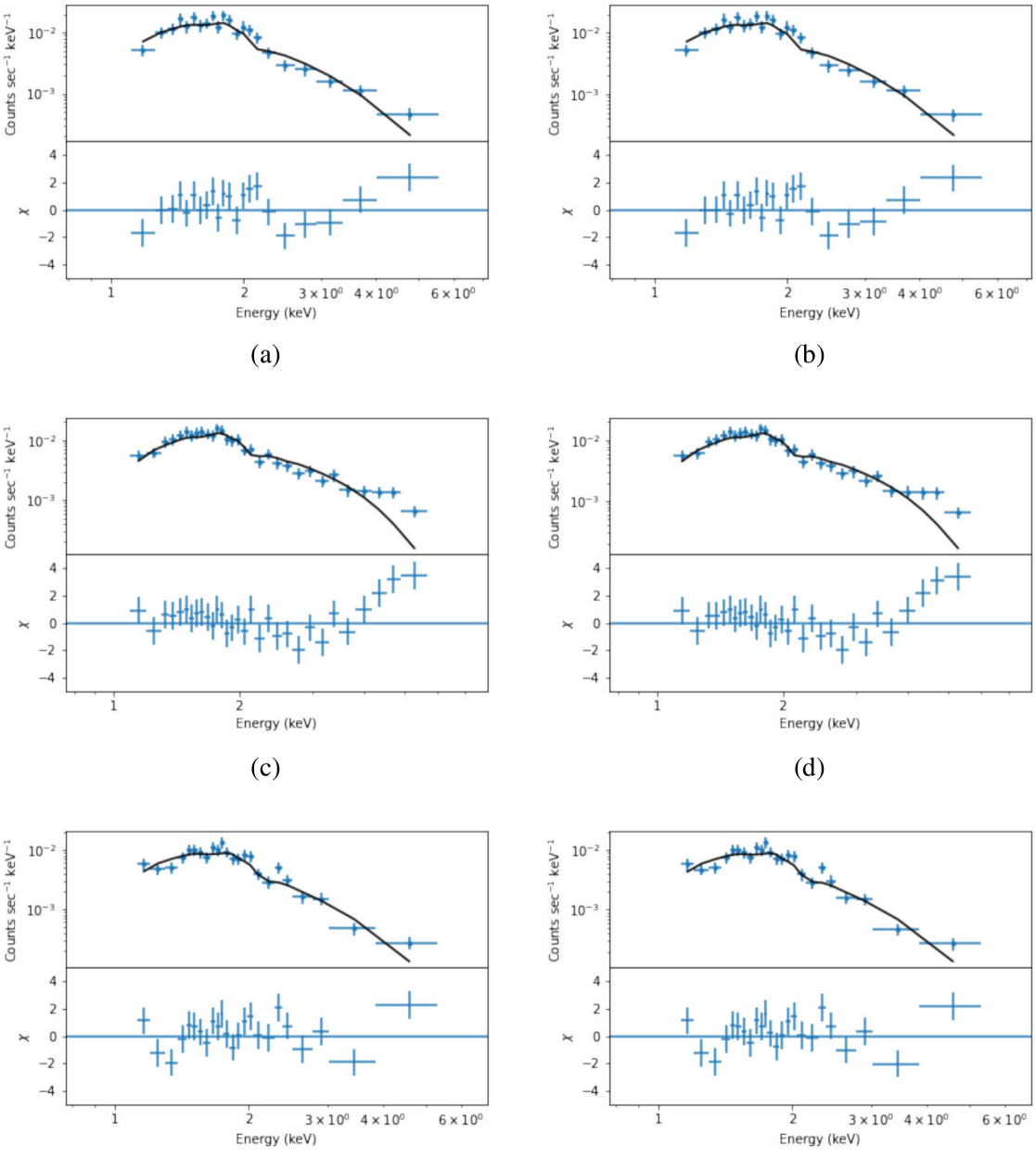

**Şekil 4.19** XTE J1701-462 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütun NSA, sağ sütun ise rNSA modeline ait sonuçları göstermektedir.



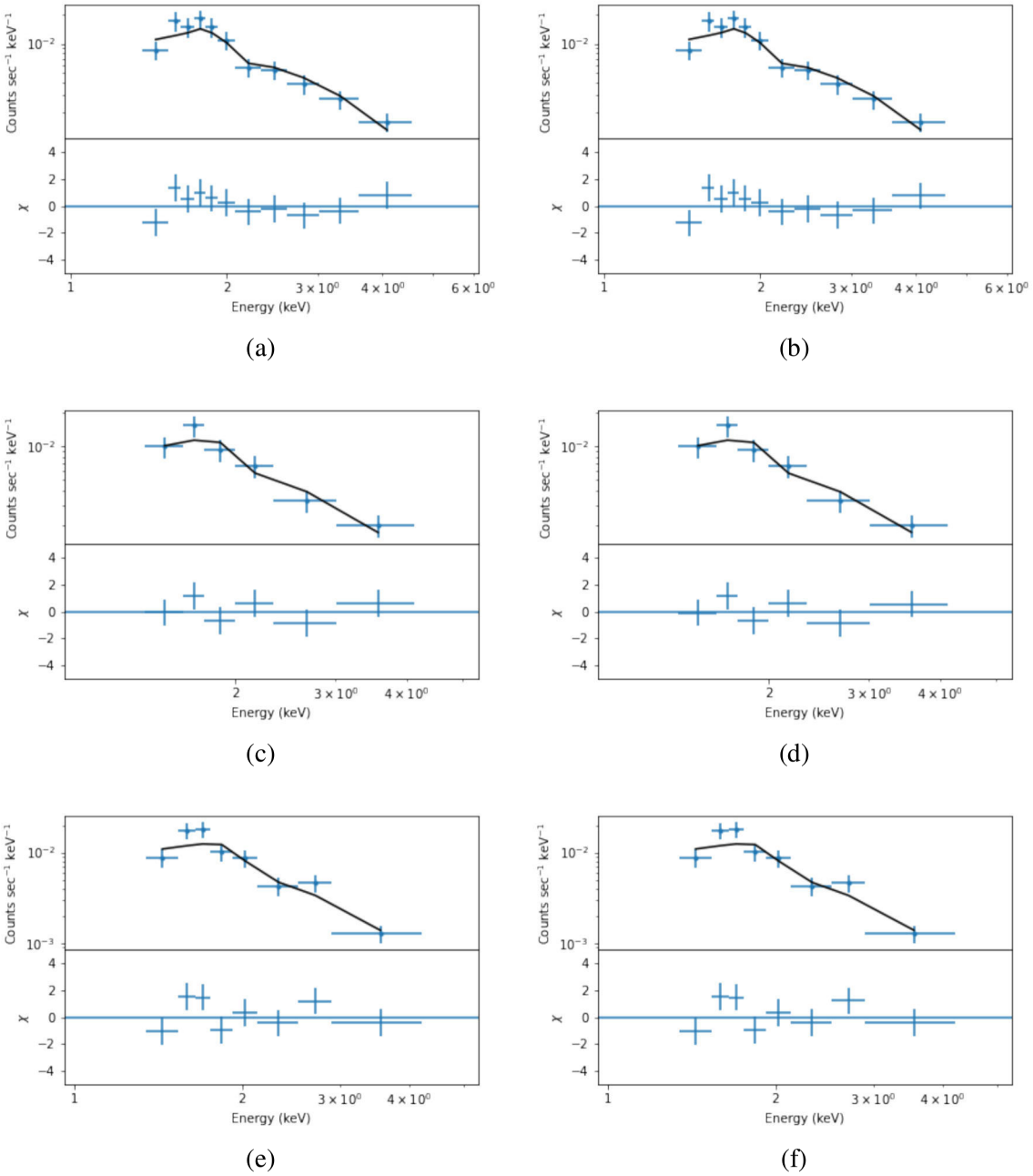

(a) (b)

(c) (d)

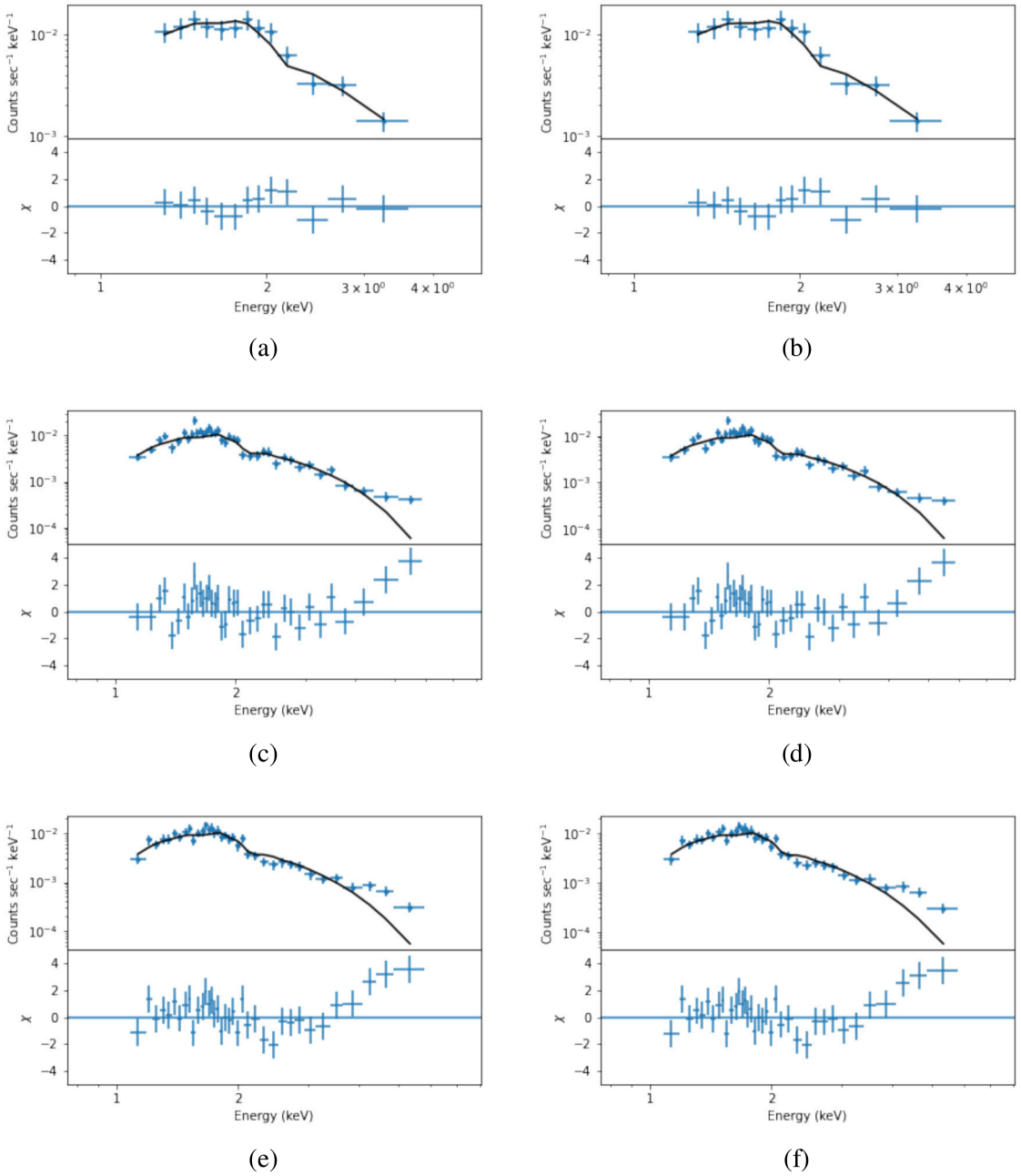
**Şekil 4.20** XTE J1701-462 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütun NSA, sağ sütun ise rNSA modeline ait sonuçları göstermektedir.



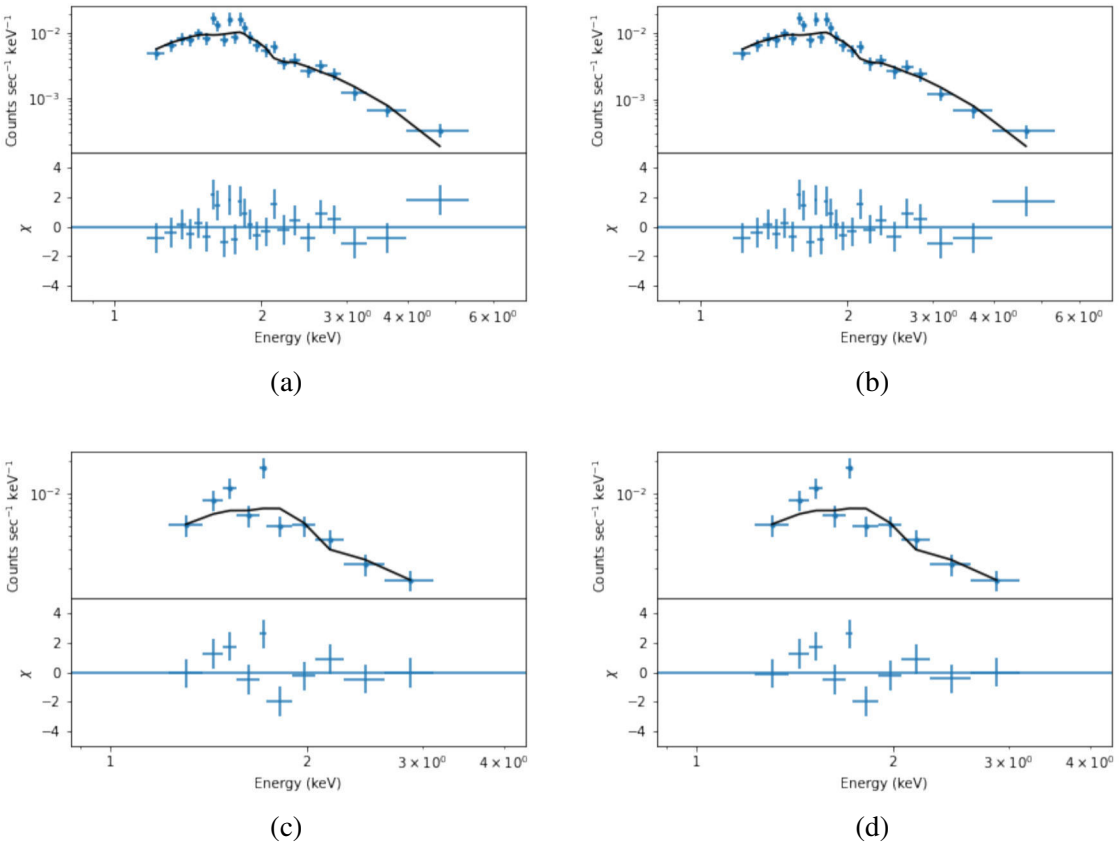

**Şekil 4.21** XTE J1701-462 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütun NSA, sağ sütun ise rNSA modeline ait sonuçları göstermektedir.



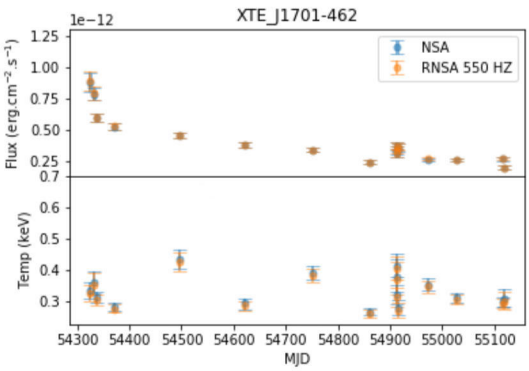

**Şekil 4.22** XTE J1701-462 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütun NSA, sağ sütun ise rNSA modeline ait sonuçları göstermektedir.




**Şekil 4.23** XTE J1701-462 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütun NSA, sağ sütun ise rNSA modeline ait sonuçları göstermektedir.




**Şekil 4.24** XTE J1701-462 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol sütun NSA, sağ sütun ise rNSA modeline ait sonuçları göstermektedir.



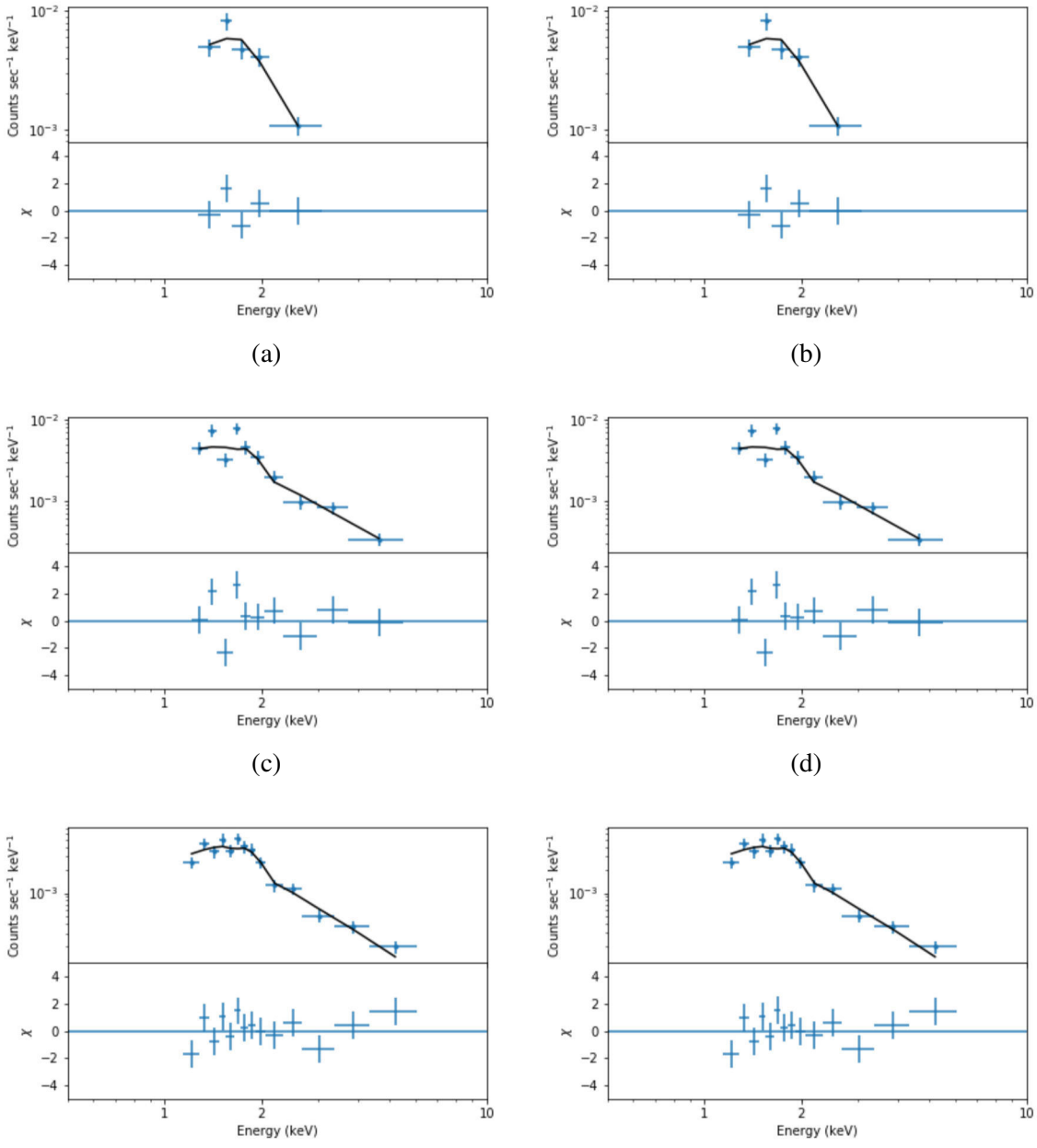

**Şekil 4.25** XTE J1701-462'e ait ışık eğrisi. Üst tarafta bulunan panel akı; alt tarafta bulunan panel ise sıcaklığı göstermektedir. X-ekseni, MJD biriminden zamanı temsil etmektedir.

## 4.6. SWIFT J174805.3-244637

Terzan 5'te bulunan DKXÇ'lerinden biri olan Swift J174805.3-244637, sakin evre nötron yıldızı çalışmaları için eşsiz örneklerden biridir. Işık eğrisinde irili ufaklı değişimler olsa da gösterdiği sakin evre ışıtması çalışmamız için muazzam yarar sağlamıştır. Bu bağlamda, alınan sakin evre gözlemleri NSA ve rNSA modelleri ile modellenmiştir. Bu gözlemler hem NSA hem de rNSA modeli ile modellenmiştir. Hidrojen kolon yoğunluğu ve foton indeksi değerleri Bölüm 3.2'de açıklandığı şekilde, sırasıyla $N_H = 2.63 \pm 0.4 \times 10^{22}$ cm$^{-2}$ ve $\Gamma = 1.4 \pm 0.4$olarak bulunmuştur. D, cismin parsek (pc) cinsinden uzaklığı olmak üzere, normalizasyon $3.3 \times 10^{-8}$ olarak hesaplanmış ve analizde bu şekilde kullanılmıştır. Modelleme sonucu patlama öncesi ve sonrası analizde elde edilen $\chi^2$ / dof NSA ve rNSA modelleri için sırasıyla 98/67 ve 98/67 ve 128/79 ve 130/79'dur. Tayfsal parametreler **Tablo 4.7**'da, tayflar **Şekil 4.26** ve **Şekil 4.27**'da ve ışık eğrisi ise **Şekil 4.28**'da gösterilmiştir.

**Tablo 4.7** Swift J174805.3-244637'a ait tayfsal parametreler.

| Tarih (MJD) | Poz Süresi (ks) | $kT_{NSA}$ (keV) | $kT_{rNSA}$ (keV) | $F_{x,NSA}$[1] $\times 10^{-12}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ | $F_{x,rNSA}$ $\times 10^{-12}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 55028 | 37.2 | $0.62 \pm 0.06$ | $0.61 \pm 0.06$ | $0.06 \pm 0.01$ | $0.06 \pm 0.01$ |
| 55609 | 30.1 | $0.16 \pm 0.06$ | $0.15 \pm 0.06$ | $0.13^{-0.05}_{0.10}$ | $0.13^{-0.06}_{-0.10}$ |
| 55681 | 40.1 | $0.27 \pm 0.05$ | $0.26 \pm 0.05$ | $0.09 \pm 0.03$ | $0.09 \pm 0.03$ |
| 56061 | 47.1 | $0.32 \pm 0.06$ | $0.31^{-0.04}_{0.06}$ | $0.10 \pm 0.02$ | $0.10 \pm 0.02$ |

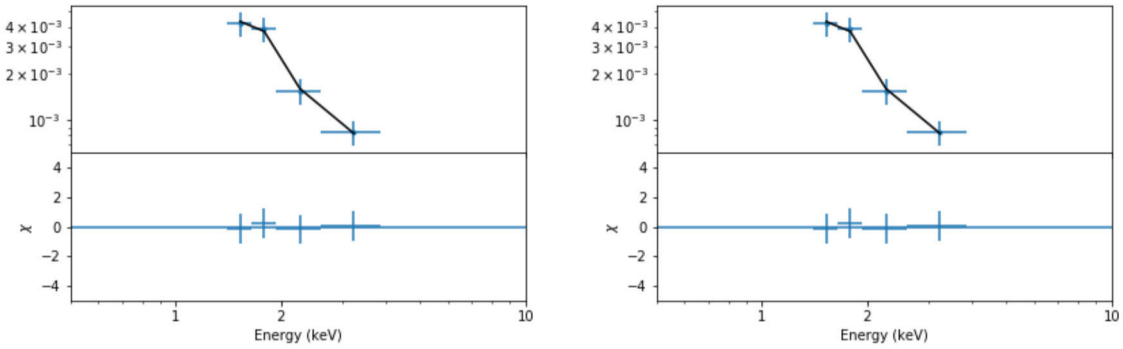



(a) (b)

(c) (d)

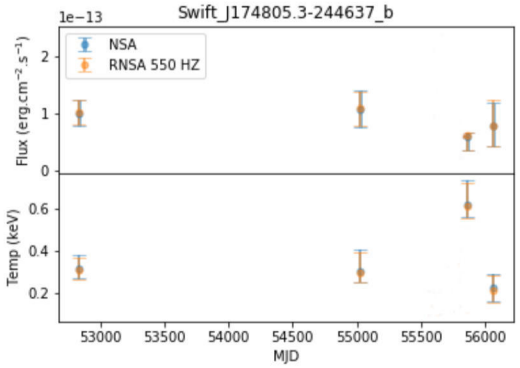
(e) (f)

**Şekil 4.26** Swift J174805.3-244637 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Birinci kolondaki grafikler NSA, ikinci kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir.




(a) (b)

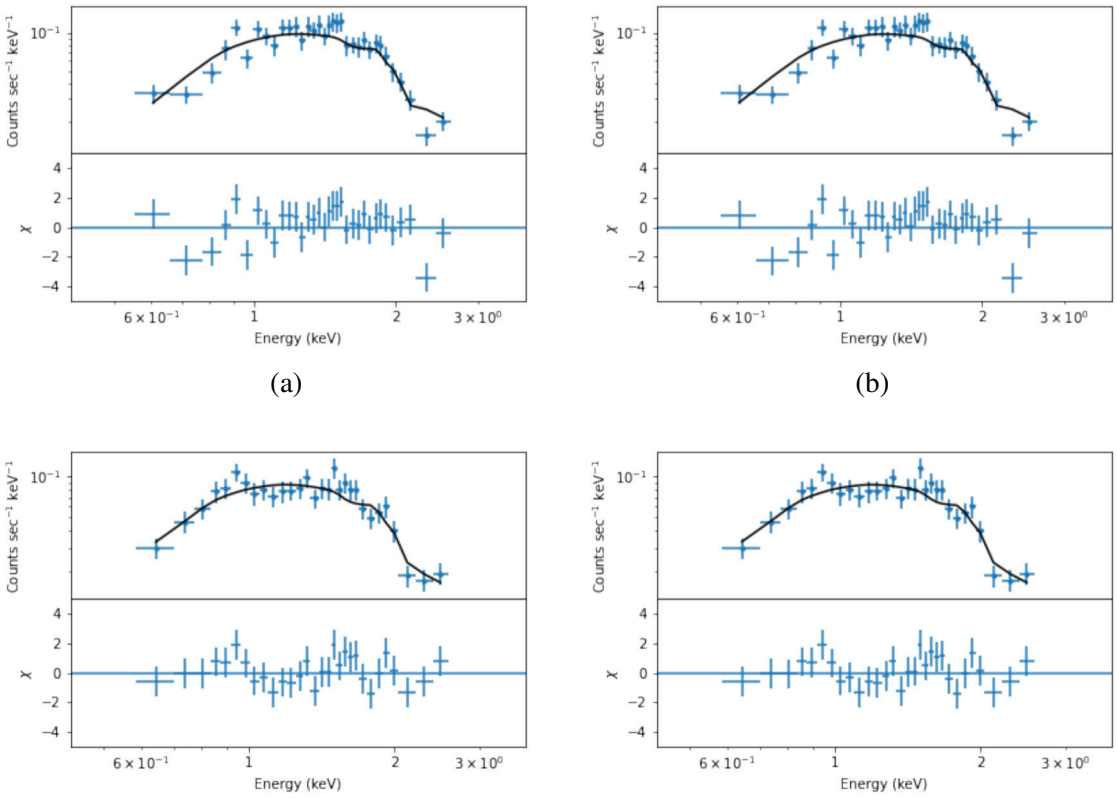
**Şekil 4.27** Swift J174805.3-244637 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Birinci kolondaki grafikler NSA, ikinci kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir.




**Şekil 4.28** Swift J174805.3-244637'e ait ışık eğrileri. Üst tarafta bulunan panel akı; alt tarafta bulunan panel ise sıcaklığı göstermektedir. x-ekseni MJD cinsinden zamanı temsil etmektedir.

## 4.7. MAXI J0556-332

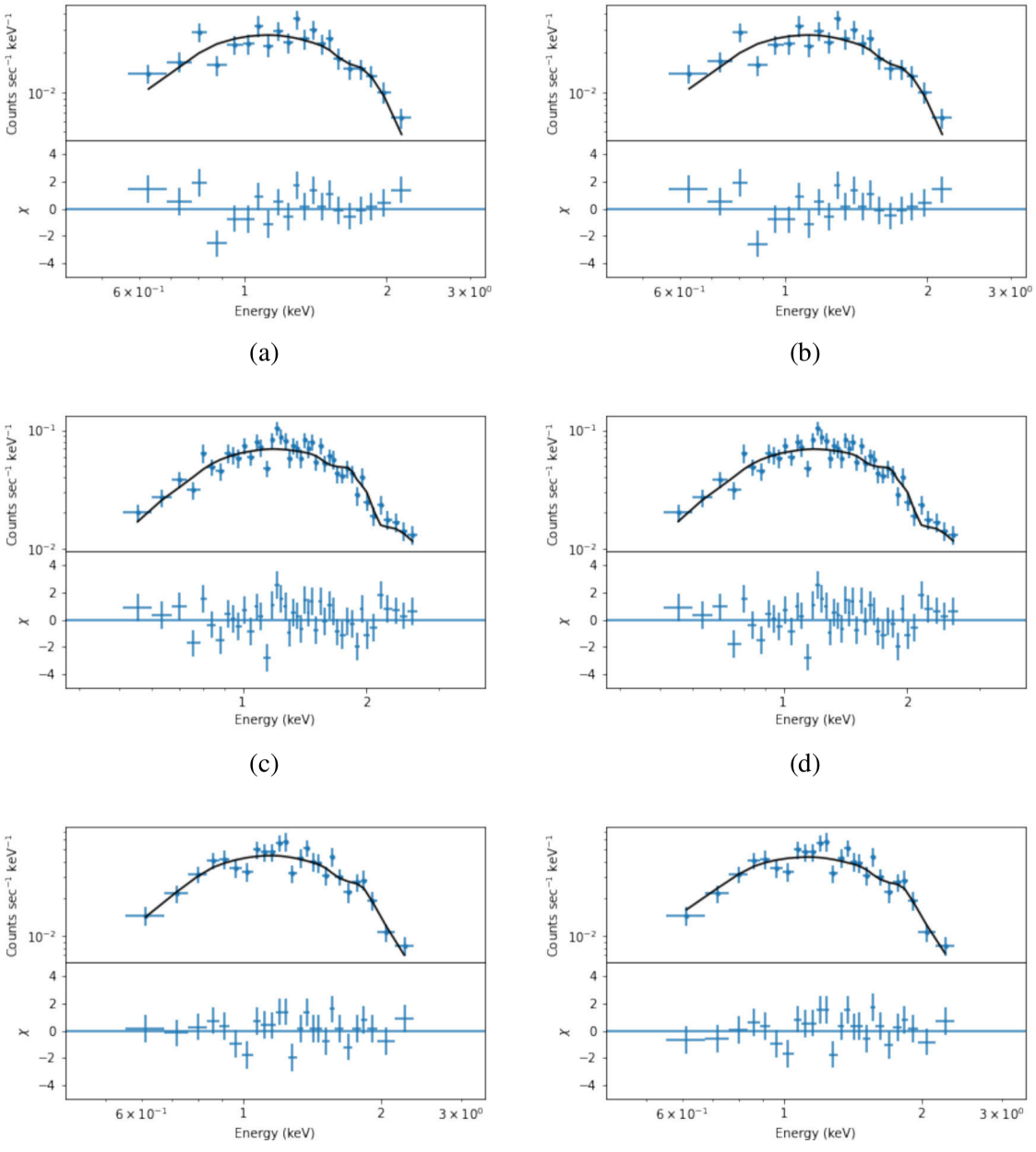
MAXI J0556-332, keşfedildikten hemen sonra yaklaşık olarak 16 ay süren bir patlama dönemi sergileyip 2 ay boyunca sakin evrede seyretmiştir. Sonrasındaki sergilediği patlamalar yıldızın ısınmasına pek katkı sağlamamıştır ve kaynak soğumaya devam etmiştir. Tez kapsamında, kaynağa ait sakin evre gözlemleri NSA ve rNSA modelleri ile modellenmiştir. Hidrojen kolon yoğunluğu ve foton indeksi değerleri Bölüm 3.2'de açıklandığı şekilde, sırasıyla $N_H$= 0.04x$10^{22}$ cm $^{-2}$ ve Γ=1.24 olarak bulunmuştur. Modelleme sonucu analizde elde edilen $\chi^2$ / dof NSA ve rNSA modelleri için sırasıyla 1.52 / 759 ve 1.57 / 759 bulunmuştur. D, cismin parsek (pc) cinsinden uzaklığı olmak üzere, normalizasyon $5\times10^{-10}$ olarak hesaplanmış ve analizde bu şekilde kullanılmıştır. Tayfsal parametreler **Tablo 4.8**'da, tayflar **Şekil 4.29** ve **Şekil 4.30**'de ve ışık eğrisi ise **Şekil 4.32**'de gösterilmiştir.



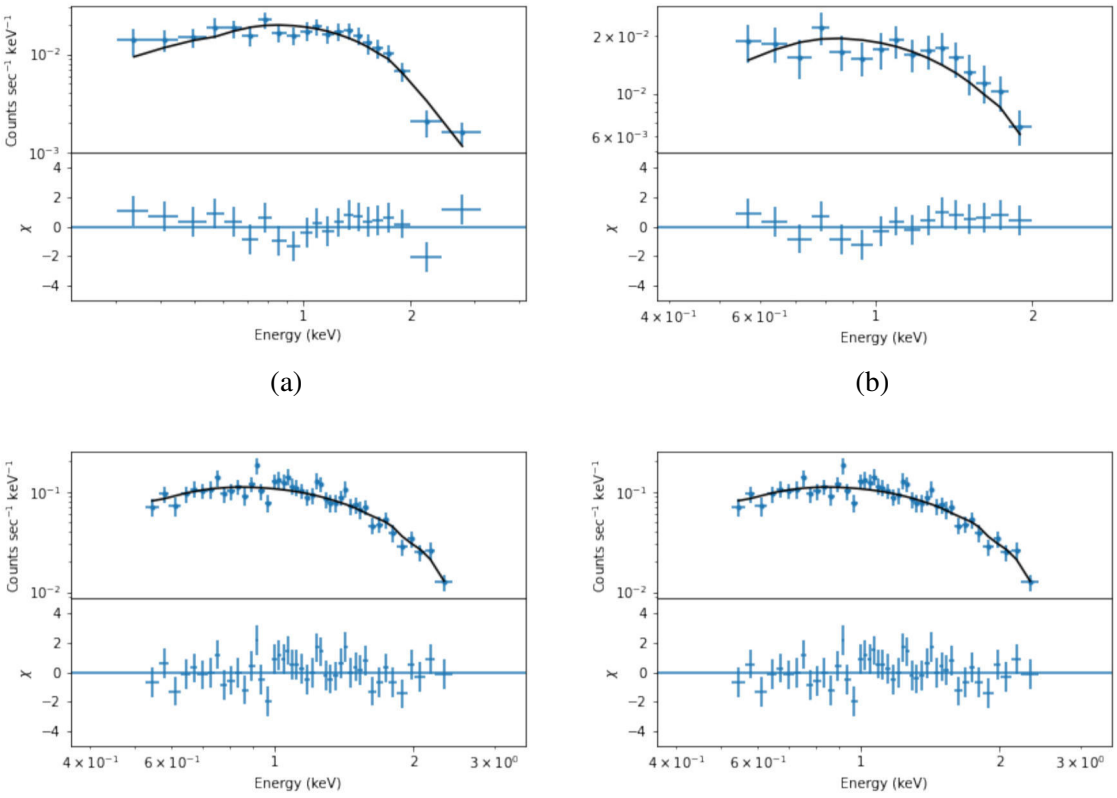

(a) (b)

(c) (d)

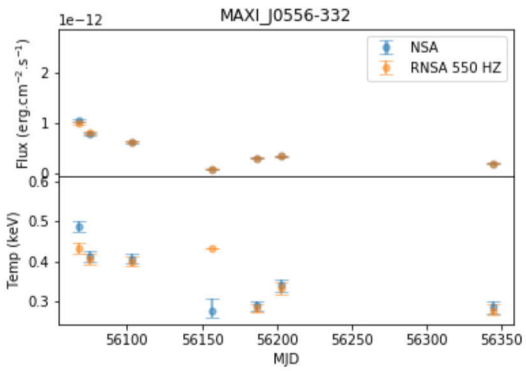
**Şekil 4.29** MAXI J0556-332 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Birinci kolondaki grafikler NSA, ikinci kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir.




**Şekil 4.30** MAXI J0556-332 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Birinci kolondaki grafikler NSA, ikinci kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir.




**Şekil 4.31** MAXI J0556-332 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Birinci kolondaki grafikler NSA, ikinci kolondaki grafikler ise rNSA modeline aittir.




**Şekil 4.32** MAXI J0556-332'e ait ışık eğrisi. Üst tarafta bulunan panel akı; alt tarafta bulunan panel ise sıcaklığı göstermektedir. x-ekseni, MJD biriminden zamanı temsil etmektedir.

**Tablo 4.8** MAXI J0556-332'ye ait tayfsal parametreler.

| Tarih (MJD) | Poz Süresi (ks) | $kT_{NSA}$ (keV) | $kT_{rNSA}$ (keV) | $F_{x,NSA}$ $\times 10^{-13}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ | $F_{x,rNSA}$ $\times 10^{-13}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 56068 | 10.1 | 0.49 $\pm$0.02 | 0.43 $\pm$0.01 | 1.06 $\pm$0.03 | 1.00 $\pm$0.03 |
| 56075 | 10.1 | 0.41 $\pm$0.01 | 0.41 $\pm$0.01 | 0.80 $\pm$0.03 | 0.80 $\pm$0.03 |
| 56344 | 25.1 | 0.29 $\pm$0.01 | 0.28 $\pm$0.02 | 0.20 $\pm$0.01 | 0.20$\pm$0.01 |
| 56084 | 15.1 | 0.58 $\pm$0.01 | 0.58 $\pm$0.01 | 2.68 $\pm$0.05 | 2.69 $\pm$0.05 |
| 56103 | 20.1 | 0.41$\pm$0.01 | 0.40 $\pm$0.01 | 0.63$\pm$0.02 | 0.63 $\pm$0.02 |
| 56203 | 20.1 | 0.34 $\pm$0.02 | 0.33 $\pm$0.01 | 0.35 $\pm$0.01 | 0.35$\pm$0.01 |
| 56187 | 38.1 | 0.29 $\pm$0.01 | 0.28 $\pm$0.01 | 0.31 $\pm$0.01 | 0.31 $\pm$0.01 |

## 4.8. MXB 1659-298

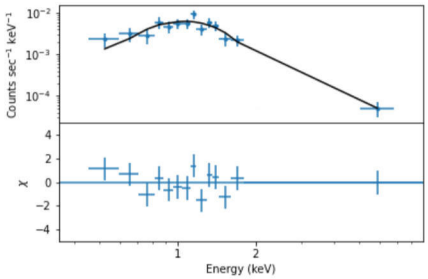
MXB 1659-29, nötron yıldızlarının kabuk soğumasına dair üzerinde en çok çalışılan kaynaklardan biridir. Çeşitli teleskoplarla uzunca süreler boyunca sakin evrede gözlemleri alınmış ve üzerine çalışılmıştır. Çalışma doğrultusunda, kaynağa ait sakin evre gözlemleri NSA ve rNSA modelleri ile modellenmiştir. Hidrojen kolon yoğunluğu Bölüm 3.2'de açıklandığı şekilde, $N_H$= 0.2x$10^{22}$ $cm^{-2}$ olarak bulunmuştur. Bu kaynağın analizinde ısısal olmayan bileşene gerek görülmemiştir. Modelleme sonucu analizde elde edilen $\chi^2$ / dof NSA ve rNSA modelleri için sırasıyla 1.52 / 39 ve 1.01 / 39 bulunmuştur. D, cismin parsek (pc) cinsinden uzaklığı olmak üzere, normalizasyon $1\times10^{-8}$ olarak hesaplanmış ve analizde bu şekilde kullanılmıştır. Tayfsal parametreler **Tablo 4.9**'da, tayflar **Şekil 4.33**'de ve ışık eğrisi ise **Şekil 4.34**'da gösterilmiştir.



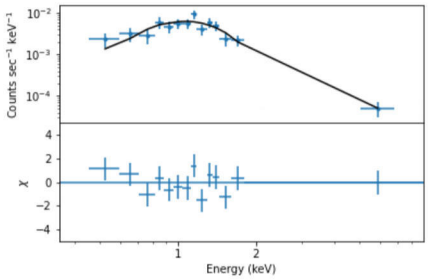

(a)



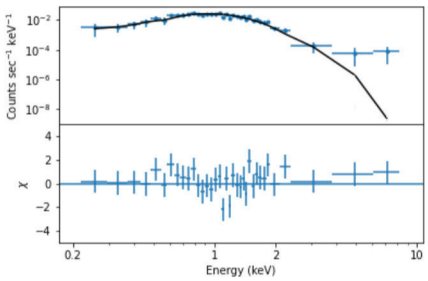

(b)



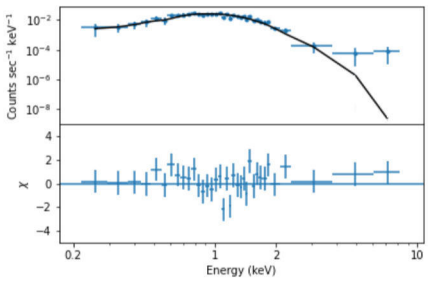

(c)



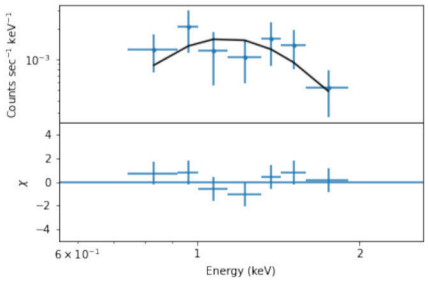

(d)



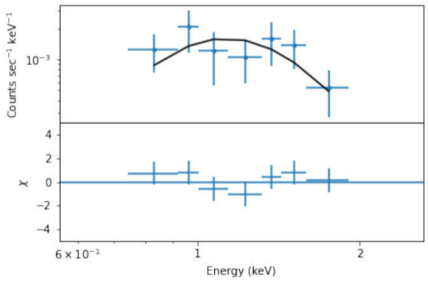

(e)




(f)

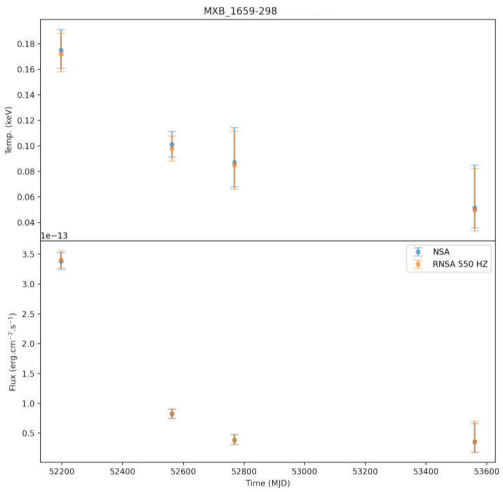



(g)




(h)

**Şekil 4.33** MXB 1659-298 için sakin evre sırasında alınan gözlemlere ait tayfsal analizler. Sol kolonda NSA, sağ kolonda ise rNSA modeline ait sonuçlar verilmiştir.




**Şekil 4.34** MXB 1659-298'e ait ışık eğrisi. Üst tarafta bulunan panel akı; alt tarafta bulunan panel ise sıcaklığı göstermektedir. x-ekseni, MJD biriminden zamanı temsil etmektedir.

**Tablo 4.9** MXB 1659-298'e ait tayfsal parametreler.

| Tarih (MJD) | Poz Süresi (ks) | $kT_{NSA}$ (keV) | $kT_{rNSA}$ (keV) | $F_{x,NSA}$ $\times 10^{-12}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ | $F_{x,rNSA}$ $\times 10^{-12}$ erg/ cm$^2$ / s$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 52198 | 19.8 | $0.18\ ^{-0.01}_{0.02}$ | $0.17\ ^{-0.01}_{0.02}$ | $0.34\pm0.01$ | $0.34\ \pm0.01$ |
| 52563 | 28.4 | $0.10\ \pm0.01$ | $0.10\ \pm0.01$ | $0.08\ \pm0.01$ | $0.08\ \pm0.01$ |
| 52769 | 27.5 | $0.09\ ^{-0.02}_{0.03}$ | $0.08\ ^{-0.02}_{0.03}$ | $0.04\ \pm0.01$ | $0.04\pm0.01$ |
| 53560 | 29.0 | $0.05\ ^{-0.02}_{0.03}$ | $0.05^{-0.02}_{0.03}$ | $0.04\ ^{-0.02}_{0.03}$ | $0.04\ ^{-0.02}_{0.03}$ |

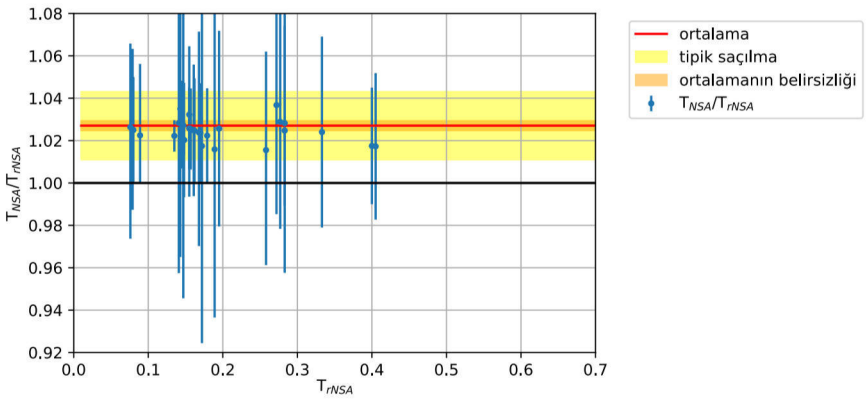
# 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

DKXÇ'ler uzun ömürleri sebebiyle çoğunlukla yaşlı nötron yıldızları barındırırlar. Bu uzun süren hayatları boyunca bileşen yıldızdan aktarılan ve yığılma diskinde Kepleryen yörüngelerde hareket eden madde tarafından açısal momentum aktarımına maruz kalarak hızlanır ve milisaniye hızlarında kendi eksenleri etraflarında dönerler. Bu yüksek hızlı dönmeleri ise, DKXÇ aşamasında yapılan X-ışın tayfsal çalışmalarında çoğunlukla ihmal edilir ve X-ışın tayfları aslen dönmeyen cisimler için geliştirilmiş olan Schwarzschild metriği kullanılarak geliştirilmiş atmosfer modelleri ile modellenir. Tez kapsamında, yüksek hızlarda dönmenin yarattığı rölativistik etkilerin kaynakların X-ışın tayfsal analizlerinde elde edilen bulgulardaki olası etkileri araştırılmıştır.

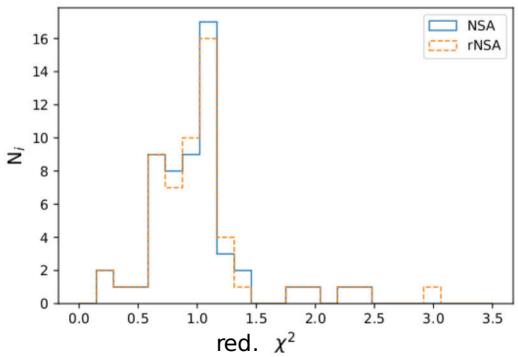
Tez süresince, Chandra ve XMM-Newton gibi modern X-ışın uydularının arşivlerinde bulunan 8 farklı DKXÇ'nin sakin evrelerinde elde edilmiş veriler sistematik bir şekilde analiz edilmiştir. Baslanıçta her bir veri için 0.2 - 10 keV arasındaki tüm aralık modellenmeye çalışılsa da, bazı enerjilerde kaynaktan gelen sinyal çok az olduğu durumlarda arkaplan bu akıdan çıkarılınca geriye istatistiksel olarak anlamlı sinyal kalmamaktadır. Bu sebeple modellemeleri her bir veri için farklı enerji aralıklarında yapılmak durumunda kalinmistir. Her durumda hem NSA hem de rNSA modelleri icin tamamen ayni verisetleri kullanildigi icin tezimizin asil amaci olan iki modelin karsilastirmasi noktasinda bu durum bir sorun teskil etmemektedir.Her bir gözlemden çıkarılan X-ışın tayfları hem klasik NSA modeli ile hem de proje kapsamında geliştirilen ve (Baubock *ve diğ.*, 2013, 2015) çalışmalarında hesaplanan rölativistik etkilerin ve nötron yıldızlarına ait ek parametrelerin (dönme, basıklık gibi) hesaba katıldığı rNSA modeli ile modellenmiştir. Toplamda 100'ü aşkın X-ışın tayfının analizi yapılmıştır. Her bir durumda NSA ve rNSA modelleri için elde edilen $\chi^2$ ve sıcaklık değerlerinin histogramları **Şekil 5.2** ve **Şekil 5.3**'de verilmiştir. Görülebileceği üzere rNSA modeli NSA modelinde istatistik olarak anlamlı bir iyileşme sağlamamıştır. rNSA modeli ile edilen yüzey sıcaklığı değerleri NSA ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak %3 civarında bir farklılık elde edilmektedir. (bkz. **Şekil 5.1**). NSA modeli çerçevesinde kütleçekimsel kırmızıya kayma zaten hesaba katıldığı için, bu fark Doppler ivmelenmesi ve alan sürüklenmesi gibi ikincil etkilerden kaynaklanmaktadır. Aynı şekilde, soğuma eğrileri de ele alındığında %3'lük farklılığın

haricinde eğrilerde farklı bir etki görülmemiştir.

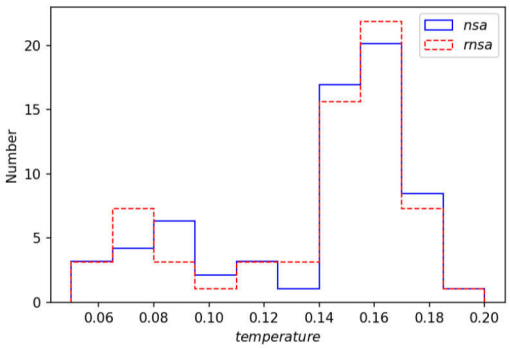
Ölçülen bu farkın kesinliğinin test edilmesi için istatistiksel analizler yapılmıştır. Yapılan bu analizlerden biri indirgenmiş $\chi^2$'lerin karşılaştırılması üzerinedir. İndirgenmiş $\chi^2$ analizi, rNSA modelinin NSA modeline oranı alınarak sıcaklıklar üzerinden yapılmıştır. Ancak, indirgenmiş $\chi^2$'ler üzerine yapılan bu analiz kullanılan verilerin hassasiyetinin çok iyi olmamasından dolayı ayırt edici bir sonuç vermemiştir. Bunun sonuç üzerine kullanılan her iki modele ait sıcaklıkların oranları bütün veriler için alınarak hem histogramları hem da saçılma eğrileri oluşturmuştur. Ancak, bu grafikler ele alındığında verilere ait hata barlarının fit edilen her iki model için de oldukça büyük olduğu görülmektedir. Yani, her iki model de kullanılan verileri iyi şekilde fit etmektedir. Hata barlarının daha küçük olması durumunda NSA ve rNSA modelleri arasındaki fark daha iyi bir şekilde anlaşılabilir. Hataların sistematik hatalar olmasından dolayı, daha küçük hatalar elde etmek için daha hassas enstrumanlar kullanmak gerekecektir.




**Şekil 5.1** rNSA ve NSA sıcaklıklarının NSA sıcaklığının rNSA sıcaklığına bir oranı olarak karşılaştırılması.

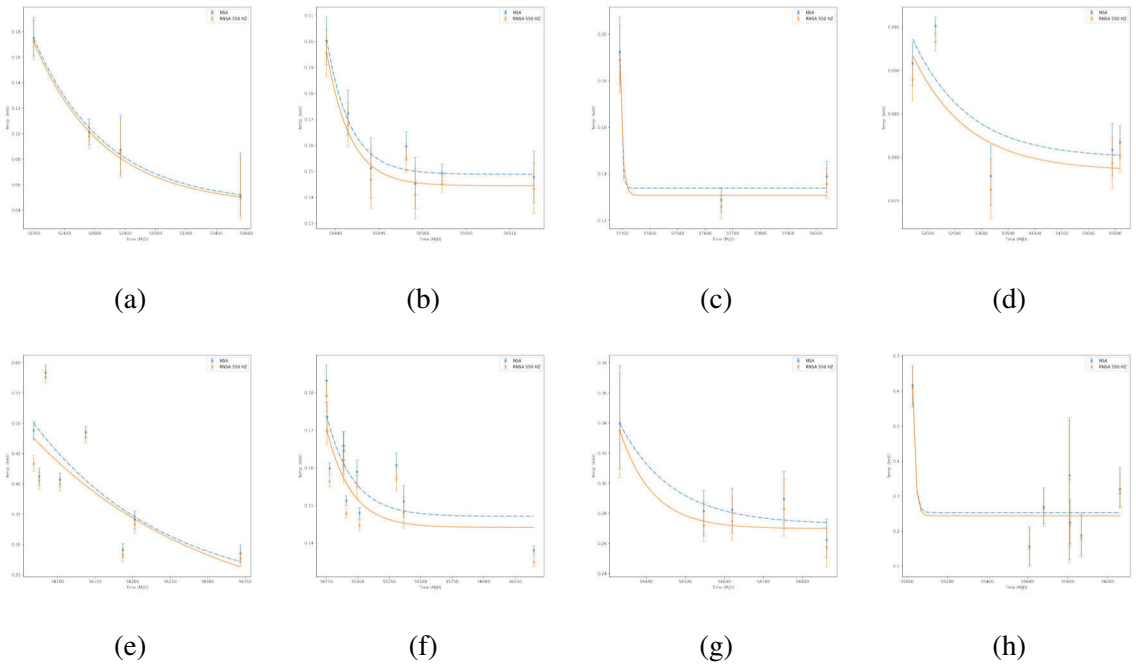



**Şekil 5.2** rNSA ve NSA $\chi^2$ verilerini karşılaştırması.




**Şekil 5.3** Tayfsal analiz sonucu elde edilen rNSA ve NSA sıcaklıklarının karşılaştırması.

Soğuma eğrileri, seçilen kaynaklar için hazırlanılmıştır. Soğuma eğrilerinin literatür ile karşılaştırıldığında farklılık görülmesinin başlıca nedenşer,; i) yaptığımız modelleme çalışmalarının birbirleri ile uyumlu olması için modelleme ve indirgeme işlemlerinin aynı parametreler kullanılarak yapılması ii) literatürdeki kaynaklardan farklı istatistik yöntemler kullanılması olarak sıralanabilir. Ancak, iki model arasında istatistiksel limitler dahilinde hep aynı farkı bulunması, soğuma hızının değişmediği sadece tüm sıcaklık değerlerinin sabit bir şekilde çoğunlukla azaldığı görülmektedir. Bu durumda soğuma hızlarında önemli bir değişiklik olmayacağı yani; rNSA modelini kullanmanın tek başına soğuma eğrilerinde önemli bir farklılık yaratmayacağı çıkarılabilir. Bur durum, bu bölümde verilen soğuma eğrilerinde görülebilmektedir. NSA ve rNSA modelleri ile elde edilmiş soğuma eğrilerinin benzerliğinden de anlaşılabilmektedir. Aradaki farklar küçük olmasına rağmen soğuma eğrileri oluşturulmuş ve bölümün devamında verilmiştir.



(a) (b) (c) (d)

(e) (f) (g) (h)

**Şekil 5.4** Kaynaklara ait soğuma eğrileri. a) MXB 1659-298, b) Aql X-1, c) 1RXS J180408.9-342058, d) Cen X-4, e) MAXI J0556-332, f) EXO 0748-676, g) XTE J1701-462, h) Swift J174805.3-244637

Yapılan tezin bir diğer hedefi de oluşturulan bu modelin farktan bağımsız olarak yayına dönüştürülerek XSPEC'e konulmasıdır. Bu hususta, modelin rutin olarak XSPEC'te kullanımına dair öngörülerde bulunulmak üzere iki teleskop projesi seçilmiştir ve belirgin farkların olup olmayacağına dair istatistiksel hesaplamalar yapılmıştır. Gelecek yıllar içerisinde fırlatılacak Athena (Nandra *ve diğ.*, 2013) ve Strobe-X (Ray, 2019) gibi yüksek çözünürlüğe sahip ve daha hassas ölçüm yapılabilecek X-ışın teleskopları ile alınacak gözlemler, iki model arasındaki farkı daha iyi bir şekilde ortaya koymamıza yardımcı olacaktır. Bu hususta, elde edilebilecek farkların ne düzeyde olabileceğini anlamak adına Athena ve Strobe-X için simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyonlar, tezde çalışılan kaynaklar arasında en yakın uzaklıkta bulunan, en hızlı dönen ve $N_H$'i düşük olan Aql X-1 referans alınarak oluşturulmuştur (d= 5 kpc, $\nu$= 550 Hz., $N_H$= $5.5\times10^{21}$ $cm^{-2}$). Athena teleskobunun simülasyonları için RMF[11] olarak "athena_wfi_rib2.3_B4C_20190122_wo_filter_OnAxis.rsp" dosyası; Strobe-X teleskobunun simulasyonları için ise RMF olarak "xrca_2017-08-11.rmf" ve ARF[12] olarak "xrca_75_2017-08-11.arf" dosyalari kullanılmıştır. Her iki simulasyon da XSPEC'in fakeit komutu ile poz süreleri 50000 s (saniye) için hazırlanmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda hem Athena teleskobu hem de Strobe-X teleskobu için, normalizasyon değerlerinin sabit bir değer olarak alınması durumunda, NSA ile yapılan fitlerde sistematik olarak kötü $\chi^2$ değerleri elde edilmiştir (bknz. **Tablo 5.1** ve **Tablo 5.2**). NSA modeli, rNSA modeline göre daha büyük bir ışınım yapan yarıçapa (emmiting radius) sahiptir ve ışınımın yüzeyin tamamından yayınlandığı varsayımını ele almaktadır. Normalizayon hesaplanırken, denklemde pay kısmında 1 olmasının nedeni de tam olarak bu yüzdendir. Bu durumdan dolayı da NSA modeli, gözlemlenen cismi daha uzakta tespit etmektedir (bknz. **Şekil 5.6** ve **Şekil 5.5**). Normalizasyonun serbest bırakıldığı durumda, hem kaynağın uzaklığı hem de yarıçapı değişmektedir (bknz. **Tablo 5.1** ve **Tablo 5.2**). Böylece de sıcaklık için beklenen fark bu sayede net olarak görülebilecektir. Bu durum, uzaklığı net olarak bilinen veya gelecekte GAIA gibi uydularla uzaklıkları ölçülecek cisimlerin modellemeleri açısından büyük bir problem teşkil edecektir. Modeller arasındaki bu farklar bölümün devamında olan kontür eğrilerinde açıkça görülebilir. Eğriler, $1\sigma$, $2\sigma$ ve $3\sigma$ confidence kontürleri ile hazırlanmıştır ve her iki sıcaklık durumu da ele alınmıştır.

---

[11] **RMF (Response Matrix Files):** Belirli bir enerji için dedektöre gelen fotonun belirli dedektör kanalında tespit edilme olasılığını tanımlayan matris dosyasıdır.

[12] **Teleskobun efekif alanını foton enerji fonksiyonu olarak tanımlar**

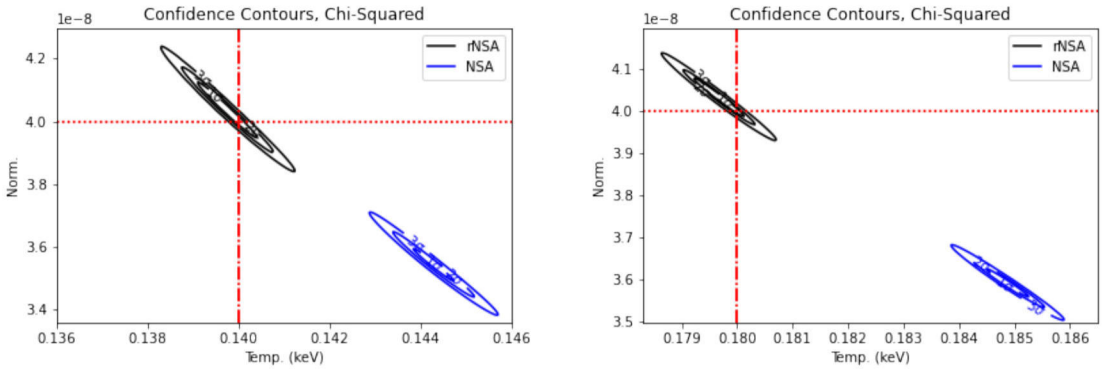
Her iki durumda da Athena teleskobunda alınacak verilerin rNSA modeli ile daha iyi bir şekilde fit edilebileceği aşikardır. Ancak, Athena teleskobu için yapılan simülasyonlarda aletsel arkaplan hesaba katılmamıştır. Teleskop henüz gözlem yapmaya başlamadığı için simülasyonları yaparken olgunlaşmış bir arkaplanı ele almak pek de mümkün değildir. Eğer, teleskoba ait arkaplana ait sistematik hatalar yapılan gözlemleri domine etmez ise, Athena ile alınan gözlemler sonucunda iki model arasındaki fark tek bir gözlemle bile net bir şekilde görülebilecektir. Diğer bir yandan, Strobe-X teleskobu, Athena teleskobunun aksine, görüntüleme yapmayan bir X-ışın teleskobu olduğu için arkaplanı yüksek olacaktır ve iki model arasındaki farkı görebilmek Athena'daki gibi net olmayacaktır. Yine de Athena ve Strobe-X teleskoplarının yanı sıra, henüz onaylanmamış olan, henüz sunum aşamasında olan THESEUS (Amati *ve diğ.*, 2017), Lynx (Gaskin *ve diğ.*, 2019) ve Arcus (Smith *ve diğ.*, 2014) gibi X-ışın teleskopları tarafından yapılan gözlemler ile iki model arasındaki fark daha iyi anlaşışabilecektir. Bu hususta tez çalışmasında kullanmış olduğumuz rNSA modelini, hazırlık aşamasında olan Stücker vd. 2020 makalesinde duyurulup sonrasında ise genel olarak kullanıma sunulması planlanmaktadır.

**Tablo 5.1** Athena teleskobu için yapılan simülasyona ait parametreler ve veriler.

| | | Simülasyon Maksimum (0.18 keV) | Simülasyon Minimum (0.14 keV) |
|---|---|---|---|
| rNSA | Sıcaklık | $0.18 \pm 7\times10^{-5}$ | $0.14 \pm 9\times10^{-5}$ |
| | red. $\chi^2$ | 1.06 | 1.00 |
| NSA | Sıcaklık | $0.18\ ^{-9\times10^{-5}}_{6\times10^{-5}}$ | $0.14\ ^{-1\times10^{-4}}_{8\times10^{-5}}$ |
| | red. $\chi^2$ | 1.42 | 1.17 |

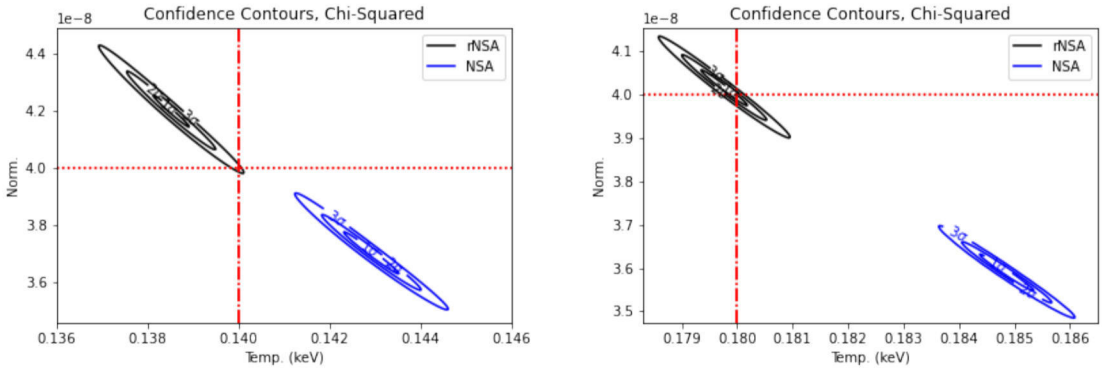
**Tablo 5.2** Strobe-X teleskobu için yapılan simülasyona ait parametreler ve veriler.

| | | Simülasyon Maksimum (0.18 keV) | Simülasyon Minimum (0.14 keV) |
|---|---|---|---|
| rNSA | Sıcaklık | $0.18 \pm 6\times10^{-5}$ | $0.14 \pm 8\times10^{-5}$ |
| | red. $\chi^2$ | 0.94 | 1.03 |
| NSA | Sıcaklık | $0.18\ ^{-6\times10^{-5}}_{3\times10^{-5}}$ | $0.14\ ^{-1\times10^{-4}}_{6\times10^{-5}}$ |
| | red. $\chi^2$ | 1.44 | 1.30 |




(a) (b)

**Şekil 5.5** Strobe-X teleskobu için oluşturulan simulasyon verisine ait kontür eğrileri. Oluşturulan simülasyon NSA ile fit edilirken sıcaklık ve normalizasyon parametreleri serbest bırakılmıştır. Simülasyonlar, solda Aql X-1 için elde edilen minimum sıcaklık değeri olan 0.14 keV; sağda ise Aql X-1 için elde edilen maksimum sıcaklık değeri olan 0.18 keV için yapılmıştır.




(a) (b)

**Şekil 5.6** Athena teleskobu için oluşturulan simulasyon verisine ait kontür eğrileri. Oluşturulan simülasyon NSA ile fit edilirken sıcaklık ve normalizasyon parametreleri serbest bırakılmıştır. Simülasyonlar, solda Aql X-1 için elde edilen minimum sıcaklık değeri olan 0.14 keV; sağda ise Aql X-1 için elde edilen maksimum sıcaklık değeri olan 0.18 keV için yapılmıştır.

# KAYNAKLAR


Abbott, B. P. vd. 2017, "Gravitational Waves and Gamma-Rays from a Binary Neutron Star Merger: GW170817 and GRB 170817A", *The Astrophysical Journal Letters*, Cilt 848, Sayı 2, Sayfa 27.

Abramowicz, M. A.; Almergren, G. J. E.; Kluzniak, W.; Thampan, A. V. 2003, "The Hartle-Thorne circular geodesics", *eprint arXiv* No.gr-qc/0312070.

Aguilera, D. N.; Pons, J. A.; Miralles, J. A., 2008. "2D Cooling of magnetized neutron stars", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 486, Sayı 1, Sayfa 255-271.

, D. N.; Pons, J. A.; Miralles, J. A. 2008b." The Impact of Magnetic Field on the Thermal Evolution of Neutron Stars", *The Astrophysical Journal Letters*, Cilt 673, Sayı 2.

Aguilera, D. N.; Cirigliano, V.; Pons, J. A.; Reddy, S.; Sharma, R., 2009." Superfluid Heat Conduction and the Cooling of Magnetized Neutron Stars", *Physical Review Letters*, Cilt 102, Sayı 9.

Alfaro, J.; González, P. 2017, "$\tilde{\delta}$ Gravity and Schwarzschild Solution", *eprint*, arXiv:1711.00360.

AlGendy, M.; Morsink, S. M. 2014, "Universality of the Acceleration due to Gravity on the Surface of a Rapidly Rotating Neutron Star", *The Astrophysical Journal*, Cilt 791, Sayı 2, Makale No. 78, Sayfa 11.

Amati, L.; O'Brien, P.; Goetz, D.; Tenzer, C.; Bozzo, E. 2017, "The Transient High-Energy Sky and Early Universe Surveyor (THESEUS)", The X-ray Universe 2017, Proceedings of the conference held 6-9 June, 2017 in Rome, Italy. Edited by J.-U. Ness and S. Migliari. Online at https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton/2017-symposium, p.250.

Arnaud, K. A., 1996. "XSPEC: The First Ten Years", *Astronomical Data Analysis Software and Systems V, A.S.P. Conference Series*, Cilt 101, Sayfa 17.

Asai, K., Dotani, T., Kunieda, H., ve Kawai, N. 1996a. "ASCA Observation of the Rapid Burster in Quiescence", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Cilt 48, Sayfa L27-L31.

Asai, K., Dotani, T., Mitsuda, K., vd. 1996b. "ASCA Observation of the Rapid Burster in Quiescence", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Cilt 48, Sayfa L27-L31.

Asai, K., Dotani, T., Hoshi, R., vd. 1998. "ASCA Observations of Transient X-Ray Sources in Quiescence", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Cilt 50, Sayfa 611-619.

Baade, W. ve Zwicky, F. (1934). Supernovae and cosmic rays. *Physical Review*, Sayı 45, Sayfa 138.

Baiyln, C., 1998, "Observations of a New Outburst of AQL X-1 or CEN X-4", *RXTE Proposal* 30073, bib. code: 1998rxte.prop30073B.

Bahramian, A.; Heinke, C. O.; Sivakoff, G. R.; Altamirano, D.; Wijnands, R.; H., J.; Linares, Ma.; Pooley, David; Degenaar, N.; Gladstone, J. C. 2014, "Discovery of the Third Transient X-Ray Binary in the Galactic Globular Cluster Terzan 5", *The Astrophysical Journal*, Cilt 780, Sayı 2, Makale No. 127, Sayfa 15 .

Baym, G.; Pethick, C., 1975, "Neutron Stars", *Annual Review of Nuclear Science*, Cilt. 25, Sayfa 27-77.

Baym, G.; Pethick, C., 1979, "Physics of Neutron Stars", *Annual review of astronomy and astrophysics*, Cilt 17, Sayfa 415-443.

Brown, E. F.; Bildsten, L., Rutledge, R. E. 1998, "Crustal Heating and Quiescent Emission from Transiently Accreting Neutron Stars", *The Astrophysical Journal*, Cilt 504, Sayı 2, Sayfa L95-L98.

Brown, E. F.; Bildsten, L.; Chang, P., 2002. "Variability in the Thermal Emission from Accreting Neutron Star Transients", *The Astrophysical Journal*, Cilt 574, Sayı 2, Sayfa 920-929.

Bauböck, M.; Psaltis, D.; Özel, F.; Johannsen, T., 2012. "A Ray-tracing Algorithm for Spinning Compact Object Spacetimes with Arbitrary Quadrupole Moments. II. Neutron Stars", *The Astrophysical Journal*, Cilt 753, Sayı 2, Sayfa 8.

Bauböck, M.; Berti, E.; Psaltis, D.; Özel, F., 2013. "Relations between Neutron-star Parameters in the Hartle-Thorne Approximation", *The Astrophysical Journal*, Cilt 777, Sayı 1, Sayfa 6.

Bauböck, M.; Özel, F.; Psaltis, D.; Morsink, S. M., 2015. "Effects of Spot Size on Neutron-Star Radius Measurements from Pulse Profiles", *The Astrophysical Journal*, Cilt 811, Sayı 2, Sayfa 8.

Bauböck, M.; Özel, F.; Psaltis, D.; Morsink, S. M., 2014.Rotational Corrections to Neutron-star Radius Measurements from Thermal Spectra", *The Astrophysical Journal*, Cilt 799, Sayı 1, Sayfa 9.

Baubock, M. 2016, "Effects of spin on neutron-star observations", ProQuest Dissertations And Theses; Thesis (Ph.D.)–The University of Arizona, 2016.; Publication Number: AAT 10151478; ISBN: 9781369062410; Source: Dissertation Abstracts International, Volume: 77-12(E), Section: B.; 129 p.

Baym, G.; Pethick, C.; Sutherland, P. 1971, "The Ground State of Matter at High Densities: Equation of State and Stellar Models", *Astrophysical Journal*, Cilt 170, Sayfa 299.

Becker, W. 2009 "Neutron Stars and Pulsars", *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, Astrophysics and Space Science Library 357.

Bogdan, A. 2010 "X-ray emission from nearby early-type galaxies and origin of Type Ia Supernovae', *Dissertation, LMU München: Faculty of Physics*, Dissertation.

Bogdanov, S., Heinke, C., Özel, F.,Güver, T. 2016 " Neutron Star Mass-Radius Constraints of the Quiescent Low-mass X-Ray Binaries X7 and X5 in the Globular Cluster 47 Tuc", *The Astrophysical Journal*, Cilt 831, Sayı 2, Makale No. 184, Sayfa 11.

Brown, E. F.; Cumming, A. 2009, "Mapping Crustal Heating with the Cooling Light Curves of Quasi-Persistent Transients", *The Astrophysical Journal*, Cilt 698, Sayı 2, Sayfa 1020-1032.

Burrows A. 2013 "Perspectives on core-collapse supernova Theory'" *Reviews of Modern Physics,* Cilt 85, Sayfa 275.

Cackett, E. M.; Wijnands, R.; Heinke, C. O.; Edmonds, P. D.; Lewin, W. H. G.; Pooley, D.; Grindlay, J. E.; Jonker, P. G.; Miller, J. M., 2005. "X-Ray Variability during the Quiescent State of the Neutron Star X-Ray Transient in the Globular Cluster NGC 6440", *The Astrophysical Journal*, Cilt 620, Sayı 2, Sayfa 922-928.

Cackett, E. M.; Fridriksson, J. K.; Homan, J.; Miller, J. M.; Wijnands, R. 2011, "Quiescent X-ray variability from the neutron star transient Aql X-1", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Cilt 414, Sayı 4, Sayfa 3006-3013.

Cameron, A. G. 1959, "Neutron Star Models", *Astrophysical Journal*, Cilt 130, Sayfa 884.

Campana, S.; Mereghetti, S.; Stella, L.; Colpi, M. 1997, "X-ray variability in the quiescent state of Centaurus X-4", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 324, Sayfa 941-942.

Campana, S., Colpi, M., Mereghetti, S., Stella, L., Tavani, M. 1998a, "The neutron stars of Soft X-ray Transients", *The Astronomy and Astrophysics Review*, Cilt 8 , Sayı 4, Sayfa 279-316.

Campana, S., Stella, L., Mereghetti, S., Colpi, M., Tavani, M., Ricci, D., Fiume, D. D., ve Belloni, T. 1998b., "Aquila X-1 from Outburst to Quiescence: The Onset of the Propeller Effect and Signs of a Turned-on Rotation-powered Pulsar", *The Astrophysical Journal*, Cilt 499, Sayı 1, Sayfa L65-L68.

Campana, S.; Stella, L., 2000. "On the Bolometric Quiescent Luminosity and Luminosity Swing of Black Hole Candidate and Neutron Star Low-Mass X-Ray Transients", *The Astrophysical Journal*, Cilt 541, Sayı 2, Sayfa 849-859.

Campana, S.; Stella, L.; Mereghetti, S.; Cremonesi, D. 2000. "BeppoSAX observation of Cen X-4 in quiescence", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 358, Sayfa 583-586.

Campana, S.; Stella, L.; Israel, G. L.; Moretti, A.; Parmar, A. N.; Orlandini, M., 2002. "The Quiescent X-Ray Emission of Three Transient X-Ray Pulsars", *The Astrophysical Journal*, Cilt 580, Sayı 1, Sayfa 389-393.

Campana, S., Stella, L., Gastaldello, F. vd. 2002a, "An XMM-Newton Study of the 401 Hz Accreting Pulsar SAX J1808.4-3658 in Quiescence", T*he Astrophysical Journal*, Cilt 575, Sayı 1, Sayfa L15-L19.

Campana, S.; Stella, L., 2003. “The Evolution of the High-Energy Tail in the Quiescent Spectrum of the Soft X-Ray Transient Aquila X-1”, *The Astrophysical Journal*, Cilt 597, Sayı 1, Sayfa. 474-478.

Chadwick, J. 1932, "Possible Existence of a Neutron" *Nature*, Sayfa 312.

Campana, S.; D’Avanzo, P.; Casares, J.; Covino, S.; Israel, G. L.; Marconi, G.; Hynes, R.; Charles, P.; Stella, L., 2004. “Indirect Evidence of an Active Radio Pulsar in the Quiescent State of the Transient Millisecond Pulsar SAX J1808.4-3658”, *The Astrophysical Journal*, Cilt 614, Sayı 1, Sayfa L49-L52.

Campana, S.; Brivio, F.; Degenaar, N.; Mereghetti, S.; Wijnands, R.; D’Avanzo, P.; Israel, G. L.; Stella, L. 2014, "The return to quiescence of Aql X-1 following the 2010 outburst", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Cilt 441, Sayı 3, Sayfa 1984-1991.

Catuneanu, A., Heinke, C. O., Sivakoff, G. R., Ho, W. C. G., Servillat, M. 2013, "Mass/radius Constraints on the Quiescent Neutron Star in M13 Using Hydrogen and Helium Atmospheres", *The Astrophysical Journal*, Cilt 764, Sayı 2, Makale No. 145, Sayfa 6.

Chandra X-ray Center Chandra Project Science, MSFC Chandra IPI Teams, 2009. "The Chandra Proposers’ Observatory Guide".

Charles, P. A.; Thorstensen, J. R.; Bowyer, S.; Clark, G. W.; Li, F. K.; van Paradijs, J.; Remillard, R.; Holt, S. S.; Kaluzienski, L. J.; Junkkarinen, V. T.; Puetter, R. C.; Smith, H. E.; Pollard, G. S.; Sanford, P. W.; Tapia, S.; Vrba, F. J. 1980, "The 1978 X-ray and optical outburst of AQL X-1 (4U 1908+00)", *Astrophysical Journal*, Cilt 237, Sayfa 154-162.

Chenevez, J.; Kuulkers, E.; Brandt, S.; Wijnands, R.; Alfonso-Garzón, J.; Beckmann, V.; Bird, T.; Del Santo, M.; Domingo, A.; Ebisawa, K.; Jonker, P.; Kretschmar, P.; Markwardt, C.; Oosterbroek, T.; Paizis, A.; Pottschmidt, K.; Sánchez-Fernández, C. 2012, " INTEGRAL catches a type-I X-ray burst from the unclassified X-ray source 1RXS J180408.9-342058" *The Astronomer’s Telegram*, No.4050.

Chevalier, C.; Ilovaisky, S. A.; van Paradijs, J.; Pedersen, H.; van der Klis, M. 1989, "Optical studies of transient low-mass X-ray binaries in quiescence. I. Centaurus X-4 : orbital period, light curve, spectrum and models forthe system", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 210, Sayfa 114-126.

Colpi, M., Geppert, U., Page, D., Possenti, A. 2001, "Charting the Temperature of the Hot Neutron Star in a Soft X-Ray Transient", *The Astrophysical Journal*, Cilt 548, Sayı 2, Sayfa L175-L178.

Cook, G. B.; Shapiro, S. L.; Teukolsky, S. A. 1994, "Rapidly Rotating Neutron Stars in General Relativity: Realistic Equations of State", *Astrophysical Journal*, Cilt 424, Sayfa 823.

Corbet, R. H. D., 1996. “Transient X-Ray Sources, Luminosity Gaps, and Neutron Star Densities”, *Astrophysical Journal Letters*, Cilt. 457, Sayfa. L31.

Daigne, F.; Goldoni, P.; Ferrando, P.; Goldwurm, A.; Decourchelle, A.; Warwick, R. S. 2002. "XMM-Newton observation of the bursting pulsar GRO J1744-28 in quiescence", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 386, Sayfa 531-534.

D'Angelo, C. R., Fridriksson, J. K., Messenger, C., Patruno, A. 2015, "The radiative efficiency of a radiatively inefficient accretion flow", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Cilt 449, Sayı 3, Sayfa 2803-2817.

Degenaar, N.; Wolff, M. T.; Ray, P. S.; Wood, K. S.; Homan, J.; Lewin, W. H. G.; Jonker, P. G.; Cackett, E. M.; Miller, J. M.; Brown, E. F.; Wijnands, R. 2011. "Further X-ray observations of EXO 0748-676 in quiescence: evidence for a cooling neutron star crust", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Cilt 412, Sayı 3, Sayfa 1409-1418.

Degenaar, N.; Wijnands, R., 2011b. "The soft quiescent spectrum of the transiently accreting 11-Hz X-ray pulsar in the globular cluster Terzan 5", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*: Mektuplar, Cilt 412, Sayı 1, Sayfa L68-L72.

Degenaar, N.; Wijnands, R., 2011a. "The accretion-heated crust of the transiently accreting 11-Hz X-ray pulsar in the globular cluster Terzan 5", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*: Mektuplar, Cilt 414, Sayı 1, Sayfa L50-L54.

Degenaar, N., Patruno, A., Wijnands, R. 2012a, "The Quiescent X-Ray Properties of the Accreting Millisecond X-Ray Pulsar and Eclipsing binary Swift J1749.4-2807", *The Astrophysical Journal*, Cilt 756, Sayı 2, Sayfa 7.

Degenaar, N.; Altamirano, D.; Deller, A.; Heinke, C.; Hessels, J.; Joadand, A.; Miller-Jones, J.; Moldon, J.; Wijnands, R. 2015, "The neutron star LMXB 1RXS J180408.9-342058 transitioned to a soft X-ray state", *The Astronomer's Telegram*, No.7352.

Deibel, A.; Cumming, A.; Brown, E. F.; Page, D. 2015, "A Strong Shallow Heat Source in the Accreting Neutron Star MAXI J0556-332", *The Astrophysical Journal Letters*, Cilt 809, Sayı 2, Makale No. L31, Sayfa 6.

Douchin, F.; Haensel, P.2000, "Inner edge of neutron-star crust with SLy effective nucleon-nucleon interactions", *Physics Letters B*, Cilt 485, Sayı 1-3, Sayfa 107-114.

Frank, Juhan; King, Andrew; Raine, Derek J. 2002, "Accretion Power in Astrophysics: Third Edition", Accretion Power in Astrophysics, by Juhan Frank and Andrew King and Derek Raine, pp. 398. ISBN 0521620538. Cambridge, UK: Cambridge University Press, February 2002.

Freeman, P.; Doe, S.; Siemiginowska, A., 2001. "Sherpa: a mission-independent data analysis application", Proc. *SPIE*, Cilt 4477, Sayfa 76-87.

Friedman1967

Edgar, R., 2004. "A review of Bondi-Hoyle-Lyttleton accretion", *New Astronomy Reviews*, Cilt 48, Sayı 10, Sayfa 843-859.

Fujimoto, M. Y., Hanawa, T., Iben, I., Jr., Richardson, M. B. 1984, "Thermal evolution of accreting neutron stars", *Astrophysical Journal*, Cilt 278, Sayfa 813-824.

Fujimoto, M. Y.; Gottwald, M. 1989, "An indication of the Eddington luminosity during X-ray bursts and constraints on the mass and radius of neutron stars in 4U 1608-52 and MXB1728-34", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Cilt 236, Sayfa 545-557.

Frutos Alfaro, F.; Soffel, M. 2017. "On the Post-Linear Quadrupole-Quadrupole Metric". *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*. Cilt 24, Sayı 2, Sayfa 239.

Galloway, D. K.; Muno, M.P.; Hartman, J. M.; Psaltis, D.; Chakrabarty, D., 2008. "Thermonuclear (Type I) X-Ray Bursts Observed by the Rossi X-Ray Timing Explorer", *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Cilt 179, Sayı 2.

Garcia, M. R.; Callanan, P. J. 1999. "Two Neutron Star Soft X-Ray Transients in Quiescence: 4U 2129+47 and EXO 0748-676", *The Astronomical Journal*, Cilt 118, Sayı 3, Sayfa 1390-1394.

Gaskin, J. A. vd. 2019, "Lynx X-Ray Observatory: an overview", *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, Cilt 5, No. 021001.

Gottwald, M.; Haberl, F.; Parmar, A. N.; White, N. E. 1986, "The Bursting Behavior of the Transient X-Ray Burst Source EXO 0748-676: A Dependence between the X-Ray Burst Properties and the Strength of the Persistent Emission", *Astrophysical Journal*, Cilt 308, Sayfa 213.

Glampedakis, K.; Babak, S. 2006, "Mapping spacetimes with LISA: inspiral of a test body in a 'quasi-Kerr' field", *Classical and Quantum Gravity*, Cilt 23, Sayı 12, Sayfa 4167-4188.

Glendenning, Norman K. 2012 "Compact Stars: Nuclear Physics, Particle Physics and General Relativity (illustrated ed.)" *Springer Science & Business Media*. p. 1. ISBN 978-1-4684-0491-3.

Güngör, C.; Güver, T.; Ekşi, K. Y., 2014, "Classification and spectral evolution of outbursts of Aql X-1", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Cilt 439, Sayı 3, Sayfa 2717-2727.

Haensel, P., Zdunik, J. L. 1990b, "Equation of state and structure of the crust of an accreting neutron star", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 229, Sayı 1, Sayfa 117-122.

Haensel, P., Zdunik, J. L. 1990a, "Non-equilibrium processes in the crust of an accreting neutron star", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 227, Sayı 2, Sayfa 431-436.

Haensel, P., Zdunik, J. L. 2003, "Nuclear composition and heating in accreting neutron-star crusts", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 480, Sayfa 459-464.

Haensel, P.; Potekhin, A. Y.; Yakovlev, D. G. 2007, "Neutron Stars 1 : Equation of State and Structure", Neutron Stars 1 : Equation of State and Structure, *Astrophysics and space science library*, Vol. 326. New York, Springer, 2007. ISBN 0387335439.

Haensel, P., Zdunik, J. L. 2008, "Models of crustal heating in accreting neutron stars", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 404, Sayı 2, Sayfa L33-36.

Hartle, J. B.; Thorne, K. S., 1968. “Slowly Rotating Relativistic Stars. II. Models for Neutron Stars and Supermassive Stars”, *Astrophysical Journal*, Cilt 153, Sayfa 807.

Heger, A.; Fryer, C. L.; Woosley, S. E.; Langer, N.; Hartmann, D. H. 2003. "How Massive Single Stars End Their Life", *Astrophysical Journal* Cilt 591, Sayfa 288–300.

Heinke, C. O.; Rybicki, G. B.; Narayan, R.; Grindlay, J. E., 2006. “A Hydrogen Atmosphere Spectral Model Applied to the Neutron Star X7 in the Globular Cluster 47 Tucanae”, *The Astrophysical Journal*, Volume 644, Issue 2, pp. 1090-1103.

Heinke, C. O.; Wijnands, R.; J., P. G.; Taam, R. E. 2006b, "New XMM Observations of the Accreting Millisecond X-ray Pulsar SAX J1808.4-3658 in Quiescence", 2007 AAS/AAPT Joint Meeting, American Astronomical Society Meeting 209, id.115.04; Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 38, p.1065.

Heinke, C. O.; Bahramian, A.; Altamirano, D.; Wijnands, R. 2014 "Soft, absorbed X-ray spectra of the new transient IGR J17451-3022", *The Astronomer’s Telegram*, No.6459.

Heiselberg, H.; Pandharipande, V., 2000, "Recent Progress in Neutron Star Theory", *Annual Reviews of Nuclear and Particle Science*, Cilt 50, Sayı 481-524.

Hewish, A. , Bell, S. J. , Pilkington, J. D. H., Scott, P. F. ve Collins R. A. 1968, "Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source", *Nature*, Cilt 217, Sayfa 709-713.

Ho, W. C. G.; Heinke, C. O. 2009, "A neutron star with a carbon atmosphere in the Cassiopeia A supernova remnant", *Nature*, Cilt 462, Sayı 7269, Sayfa 71-73.

Homan, Jeroen; Fridriksson, Joel K.; Wijnands, Rudy; Cackett, Edward M.; Degenaar, Nathalie; Linares, Manuel; Lin, Dacheng; Remillard, Ronald A. 2014, "A Strongly Heated Neutron Star in the Transient Z Source MAXI J0556-332", *The Astrophysical Journal*, Cilt 795, Sayı 2, Makale No. 131, Sayfa 12.

Ho, W. C. G. 2014, " NSMAXG: A new magnetic neutron star spectral model in XSPEC", Magnetic Fields throughout Stellar Evolution, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, Cilt 302, Sayfa 435-438.

Hulse, R. A.; Taylor, J. H. 1975, "A deep sample of new pulsars and their spatial extent in the Galaxy", *Astrophysical Journal*, Cilt 201, Sayfa 55-59.

in ’t Zand, J.; Heise, J.; Smith, M. J. S.; Cocchi, M.; Natalucci, L.; Celidonio, G.; Augusteijn, T.; Freyhammer, L. 1999, "V2134 Ophiuchi= MXB 1659-29", *IAU Circ.*, No. 7138, Edited by Green, D. W. E.

in’t Zand, J. J. M.; van Kerkwijk, M. H.; Pooley, D.; Verbunt, F.; Wijnands, R.; Lewin, W. H. G. 2001., "Identification of the Optical and Quiescent Counterparts to the Bright X-Ray Transient in NGC 6440", *The Astrophysical Journal*, Cilt 563, Sayı 1, Sayfa L41-L44.

Jonker, P. G.; Méndez, M.; Nelemans, G.; Wijnands, R.; van der Klis, M. 2003. "Chandra observations of the neutron star soft X-ray transient RX J170930.2-263927 returning to quiescence", *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, Cilt 341, Sayı 3, Sayfa 823-831.

Jonker, P. G., Buxton, M., McClintock, J. E., 2004a, “Optical counterpart of XTE J1709-267”, *The Astronomer’s Telegram*, Cilt 262, 1.

Kaluzienski, L. J.; Holt, S. S.; Boldt, E. A.; Serlemitsos, P. J. 1977, "Recurrent X-ray outbursts from Aquila X-1", *Nature*, Cilt 265, Sayı 5595, Sayfa 606-607.

Kerr, R. P. 1963, "Gravitational Field of a Spinning Mass as an Example of Algebraically Special Metrics", *Physical Review Letters*, Cilt 11, Sayı 5, Sayfa 237-238.

Kepler, S. O.; Kleinman, S. J.; Nitta, A.; Koester, D.; Castanheira, B. G.; Giovannini, O.; Costa, A. F. M.; Althaus, L. (2007). "White dwarf mass distribution in the SDSS". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Cilt 375, Sayfa 1315-1324.

Kilic, M.; Allende Prieto, C.; Brown, Warren R.; Koester, D. 2007, "The Lowest Mass White Dwarf". *The Astrophysical Journal*. Cilt 660, Sayfa 1451-1461.

Krimm, H. A.; Barthelmy, S. D.; Baumgartner, W.; Cummings, J.; Gehrels, N.; Lien, A. Y.; Markwardt, C. B.; Palmer, D.; Sakamoto, T.; Stamatikos, M.; Ukwatta, T.2015, "Swift/BAT detects an outburst from the neutron star binary 1RXS J180408.9-342058", *The Astronomer’s Telegram*, No.6997.

Lai, D.; Salpeter,E.E. 1997 "Hydrogen Phases on the Surfaces of a Strongly Magnetized Neutron Star", *The Astrophysical Journal*, Cilt 491, Sayı 1, Sayfa 270-285.

Landau, L. 1965 "On the theory of stars", *Collected Papers of L.D. Landau*, Sayfa 60-62.

Lattimer, J. M.; Prakash, M., 2001. “Neutron Star Structure and the Equation of State”, *The Astrophysical Journal*, Cilt 550, Sayı 1, Sayfa 426-442.

Lewin, W. H. G.; Hoffman, J. A.; Doty, J.; Hearn, D. R.; Clark, G. W.; Jernigan, J. G.; Li, F. K.; McClintock, J. E.; Richardson, J. 1976, " The discovery of rapidly repetitive X-ray bursts from a new source in Scorpius", *Astrophysical Journal*, Cilt 207, Sayfa L95-L99.

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", *Astrophysical Journal Letters*, Cilt 469, Sayfa L33.

Marino, A.; Di Salvo, T.; Gambino, A. F.; Iaria, R.; Burderi, L.; Matranga, M.; Sanna, A.; Riggio, A. 2017, "Evidence of a non-conservative mass transfer for XTE J0929-314", *Astronomy & Astrophysics*, Cilt 603, Makale No.A137, Sayfa 6.

Menou, K.; Esin, A. A.; Narayan, R.; Garcia, M. R.; Lasota, J. P.; McClintock, J. E,1999. “Black Hole and Neutron Star Transients in Quiescence”, *The Astrophysical Journal*, Cilt 520, Sayı 1, Sayfa 276-291.

Menou, K.; McClintock, J. E., 2001. “The Quiescent Emission Spectrum of Centaurus X-4 and Other X-Ray Transients Containing Neutron Stars”, *The Astrophysical Journal*, Cilt 557, Sayı 1, Sayfa 304-310.

Miralda-Escude, J., Paczynski, B., Haensel, P. 1990, "Thermal Structure of Accreting Neutron Stars and Strange Stars", *Astrophysical Journal* Cilt 362, Sayı 572.

Mihalas, D. 1978, "Stellar atmospheres", *San Francisco: W.H. Freeman*, Book.

Morsink, S. M.; Leahy, D. A.; Cadeau, C.; Braga, J., 2007. "The Oblate Schwarzschild Approximation for Light Curves of Rapidly Rotating Neutron Stars", *The Astrophysical Journal*, Cilt 663, Sayı 2, Sayfa 1244-1251.

Nandra vd. 2013, " The Hot and Energetic Universe: A White Paper presenting the science theme motivating the Athena+ mission", eprint arXiv:1306.2307.

Negoro, H.; Nakajima, M.; Ueno, T. Fujiwara S.; Tomida, H.; Nakahira, S.; Ishikawa, M.; Nakagawa, Y. E.; Mihara, T.; Sugizaki, M.; Serino, M.; Shidatsu, M.; Sugimoto, J.; Takagi, T.; Matsuoka, M.; Kawai, N.; Arimoto, M.; Yoshii, T.; Tachibana, Y.; Ono, Y.; Yoshida, A. Sakamoto, T.; Kawakubo, Y.; Ohtsuki, H.; Tsunemi, H.; Imatani, R.; Tanaka, K.; Masumitsu, T.; Ueda, Y.; Kawamuro, T.; Hori, T.; Tanimoto, A.; Tsuboi, Y.; Kanetou, S.; Nakamura, Y.; Sasaki, R.; Yamauchi, M.; Itoh, D.; Furuya, K.; Yamaoka, K.; Morii, M. 2016, "MAXI/GSC detection of renewed activity of the neutron star X-ray binary MAXI J0556-332", *The Astronomer's Telegram*, No. 8513.

Nowak, Michael A.; Heinz, Sebastian; Begelman, M. C., 2002. "Hiding in Plain Sight: Chandra Observations of the Quiescent Neutron Star 4U 2129+47 in Eclipse", *The Astrophysical Journal*, Cilt 573, Sayı 2, Sayfa 778-788.

Oppenheimer, J. R., Volkoff, G. M. 1939, "On Massive Neutron Cores". *Physical Review*, Cilt 55, Sayı 4, Sayfa 374-381.

Ögelman, H. 1995. Sayfa 101. *Lives of Neutron Stars*, Editör: Alpar, M.A.; Kiziloglu, Ü. ve van Paradijs, J. Dordrecht: Kluwer.

Özel, F.; Psaltis, D.; Kaspi, V. M., 2001."Constraints on Thermal Emission Models of Anomalous X-Ray Pulsars", *The Astrophysical Journal*, Cilt 563, Sayı 1, Sayfa 255-266.

Özel, F., 2004. "A Model for the Optical/IR Emission from Magnetars", arXiv:astro-ph/0404144.

Özel, F.; Baym, G.; Güver T., 2010a. "Astrophysical measurement of the equation of state of neutron star matter", *Physical Review D*, Cilt 82, Sayı 10.

Özel, F., 2013, "Surface emission from neutron stars and implications for the physics of their interiors", *Reports on Progress in Physics*, Cilt 76, Sayı 1.

Özel, F.; Freire, P., 2016. "Masses, Radii, and the Equation of State of Neutron Stars", *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, Cilt 54, Sayfa 401-440.

Page, D; Lattimer, James M.; Prakash, Madappa; Steiner, Andrew W. 2009. "Neutrino Emission from Cooper Pairs and Minimal Cooling of Neutron Stars", *The Astrophysical Journal*, Cilt 707, Sayı 2, Sayfa 1131-1140.

Page, D.; Prakash, M.; Lattimer, J. M.; Steiner, A. W., 2011. "Rapid Cooling of the Neutron Star in Cassiopeia A Triggered by Neutron Superfluidity in Dense Matter", *Physical Review Letters*, Cilt 106, Sayı 8.

Parmar, A. N.; Gottwald, M.; Haberl, F.; Giommi, P.; White, N. E. 1985, "EXO 0748-676, an Exciting New X-Ray Transient", Recent Results on Cataclysmic Variables. The Importance of IUE and Exosat Results on Cataclysmic Variables and Low-Mass X-Ray Binaries. Proceedings of an ESA workshop held at Remeis Observatory, Bamberg, Germany, April 17-19, 1985. Editor, European Space Agency, Paris, France; Publishers, ESA Scientific and Technical Publications Branch, Noordwijk, Netherlands, 1985. ISSN 0379-6566. LC QB821 .R43 1985, P.119.

Parmar, A. N.; White, N. E.; Giommi, P.; Gottwald, M. 1986, "The Discovery of 3.8 Hour Periodic Intensity Dips and Eclipses from the Transient Low-Mass X-Ray Binary EXO 0748-676", *Astrophysical Journal*, Cilt 308, Sayfa 199.

Pavlov, G. G.; Shibanov, Y. A.; Zavlin, V. E.; Meyer, R. D., 1995. Sayfa 71. "Neutron Star Atmospheres", *The Lives of the Neutron Stars. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on the Lives of the Neutron Stars*, Dordrecht, The Netherlands, Boston, Massachusetts: Kluwer Academic.

Page, D.; Reddy, S. 2013, "Forecasting Neutron Star Temperatures: Predictability and Variability", *Physical Review Letters*, Cilt 111, Sayı 24.

Pechenick, K. R.; Ftaclas, C.; Cohen, J. M., 1983. "Hot spots on neutron stars - The near-field gravitational lens", *Astrophysical Journal*, 1. Kısım, Cilt 274, Sayfa 846-857.

Pons, J. A.; Geppert, U., 2007. "Magnetic field dissipation in neutron star crusts: from magnetars to isolated neutron stars", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 470, Sayı 1, Sayfa 303-315.

Pons, J. A.; Link, B.; Miralles, J. A.; Geppert, U., 2007. "Evidence for Heating of Neutron Stars by Magnetic-Field Decay", *Physical Review Letters*, Cilt 98, Sayı 7.

Potekhin, A. Y. 2011 "The physics of neutron stars", *Uspekhi Fizicheskikh Nauk and P N Lebedev Physics Institute of the Russian Academy of Sciences*, Cilt 53, No. 12.

Priedhorsky, W. C.; Terrell, J. 1984, "Long-term observations of X-ray sources : the Aquila-Serpens-Scutum", *Astrophysical Journal*, Cilt 280, Sayı 661-670.

Ravenhall, D. G.; Pethick, C. J., 1994. "Neutron star moments of inertia", *Astrophysical Journal*, Kısım 1, Cilt 424, Sayı 2, Sayfa 846-851.

Ravenhall, D. G.; Pethick, C. J., 1994. "Neutron star moments of inertia", *Astrophysical Journal*, Kısım 1, Cilt 424, Sayı 846-851.

Ray, P. S.; Strobe-X Steering Committee. 2019, "STROBE-X: X-Ray Timing and Spectroscopy on Dynamical Timescales from Microseconds to Years", The Space Astrophysics Landscape for the 2020s and Beyond, Proceedings of the conference held 1-3 April, 2019 in Potomac, Maryland. LPI Contribution No. 2135, id.5010.

Reissner, H. 1916, "Über die Eigengravitation des elektrischen Feldes nach der Einsteinschen Theorie", *Annalen der Physik*, Cilt 355, Sayı 9, Sayfa 106-120.

Ritter, H.; Kolb, U., 2003. "Catalogue of cataclysmic binaries, low-mass X-ray binaries and related objects", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 404, Sayfa 301-303.

Rezzolla, L., Pizzochero, P., Jones, D.I., Rea, N., Vidana, I. 2018 "The Physics and Astrophysics of Neutron Stars" *Springer International Publishing*, Astrophysics and Space Science Library 457.

Rutherford, E.; F.R.S. 1911, "The Scattering of $\alpha$ and $\beta$ Particles by Matter and the Structure of the Atom", *Philosophical Magazine* Seri 6, Sayı 21, Sayfa 669-688.

Rutledge, R. E., Bildsten, L., Brown, E. F., Pavlov, G. G., ve Zavlin, V. E. 2001a, "Quiescent Thermal Emission from the Neutron Star in Aquila X-1", *The Astrophysical Journal*, Cilt 559, Sayı 2, Sayfa 1054-1059.

Rutledge, R. E.; Bildsten, L; Brown, E. F.; Pavlov, G. G.; E. Zavlin, V. E., 2002a. "A Possible Transient Neutron Star in Quiescence in the Globular Cluster NGC 5139", *The Astrophysical Journal*, Cilt 578, Sayı 1.

Rutledge, R. E.; Bildsten, L.; Brown, E. F.; Pavlov, G. G.; Zavlin, V. E. 1999, "The Thermal X-Ray Spectra of Centaurus X-4, Aquila X-1 , and 4U 1608-522 in Quiescence", *The Astrophysical Journal*, Cilt 514, Sayı 2, Sayfa 945-951.

Rutledge, R. E.; Bildsten, L; Brown, E. F.; Pavlov, G. G.; E. Zavlin, V. E., 2002a. "A Possible Transient Neutron Star in Quiescence in the Globular Cluster NGC 5139", *The Astrophysical Journal*, Cilt 578, Sayı 1.

Sato, K. 1979, "Nuclear Compositions in the Inner Crust of Neutron Stars", *Progress of Theoretical Physics*, Cilt 62, Sayı 4, Sayfa 957-968.

Schwarzschild, K. 1916. "Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie". S*itzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*, Cilt 7, Sayfa 189-196.

Shields, G. A. "A Brief History of Active Galactic Nuclei", *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Cilt 111, Sayı 760, Sayfa 661-678.

Smith, R. K.; Ackermann, M.; Allured, R.; Bautz, M. W.; Bregman, J.; Bookbinder, J.; Burrows, D.; Brenneman, L.; Brickhouse, N.; Cheimets, P.; Carrier, A.; Freeman, M.; Kaastra, J.; McEntaffer, R.; Miller, J.; Ptak, A.; Petre, R.; Vacanti, G. 2014, "Arcus: an ISS-attached high-resolution x-ray grating spectrometer", *Proceedings of the SPIE*, Cilt 9144, No. 91444Y, Sayfa 12.

Steiner, A. W.; Lattimer, J. M.; Brown, E. F., 2010. "The Equation of State from Observed Masses and Radii of Neutron Stars", *The Astrophysical Journal*, Cilt 722, Sayı 1, Sayfa 33-54.

Stella, L.; Campana, S.; Colpi, M.; Mereghetti, S.; Tavani, M., 1994. "Do quiescent soft X-ray transients contain millisecond radio pulsars?", *Astrophysical Journal*, 2. Kısım-Mektuplar, Cilt 423, Sayı. 1, Sayfa L47-L50.

Stella, L.; Campana, S.; Mereghetti, S.; Ricci, D.; Israel, G. L. 2000. "The Discovery of Quiescent X-Ray Emission from SAX J1808.4-3658, the Transient 2.5 Millisecond Pulsar", *The Astrophysical Journal*, Cilt 537, Sayı 2, Sayfa L115-L118.

Stergioulas, N.; Friedman, J. L. 1995, "Comparing Models of Rapidly Rotating Relativistic Stars Constructed by Two Numerical Methods", *Astrophysical Journal*, Cilt 444, Sayfa 306.

Strohmayer T. ve Bildsten L. 2006. Sayfa 113, *Compact Stellar X-Ray Sources*, Editör: Lewin, W. ve van der Klis, M., Cambridge: Cambridge University Press.

Sugizaki, M. vd.2012 "Re-brightening of MAXI J0556-332, a transient NS X-ray binary, detected by MAXI/GSC", The Astronomer's Telegram, No.4524.

Sugizaki, Mutsumi; Yamaoka, Kazutaka; Matsuoka, Masaru; Kennea, Jamie A.; Mihara, Tatehiro; Hiroi, Kazuo; Ishikawa, Masaki; Isobe, Naoki; Kawai, Nobuyuki; Kimura, Masashi; Kitayama, Hiroki; Kohama, Mitsuhiro; Matsumura, Takanori; Morii, Mikio; Nakagawa, Yujin E.; Nakahira, Satoshi; Nakajima, Motoki; Negoro, Hitoshi; Serino, Motoko; Shidatsu, Megumi Sootome, Tetsuya; Sugimori, Kousuke; Suwa, Fumitoshi; Toizumi, Takahiro; Tomida, Hiroshi; Tsuboi, Yoko; Tsunemi, Hiroshi; Ueda, Yoshihiro; Ueno, Shiro; Usui, Ryuichi; Yamamoto, Takayuki; Yamauchi, Makoto; Yamazaki, Kyohei; Yoshida, Atsumasa, 2013, "Spectral Evolution of a New X-Ray Transient MAXI J0556-332 Observed by MAXI, Swift, and RXTE", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Cilt 65, No.3, Makale No.58, Sayfa 14.

Suleimanov, V.; Poutanen, J.; Werner, K. 2011, "X-ray bursting neutron star atmosphere models: spectra and color corrections", *Astronomy & Astrophysics*, Cilt 527, Makale No. A139, Sayfa 12.

Suleimanov, V. F.; Pavlov, G. G.; Werner, K., 2012. " Magnetized Neutron Star Atmospheres: Beyond the Cold Plasma Approximation", *The Astrophysical Journal*, Cilt 751, Sayı 1, Sayfa 7.

Thomson, J. J., F.R.S. 1904, "On the structure of the atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure", *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, Seri 6, Cilt 7, Sayı 39.

Tolman, R. C. 1939, "Static Solutions of Einstein's Field Equations for Spheres of Fluid", *Physical Review*, Cilt 55, Sayı 4, Sayfa364-373.

Tomsick, J. A., Gelino, D. M., Halpern, J. P., Kaaret, P. 2004, "The Low Quiescent X-Ray Luminosity of the Neutron Star Transient XTE J2123-058", *The Astrophysical Journal*, Cilt 610, Sayı 2, Sayfa 33-940.

Turlione, A.; Aguilera, D. N.; Pons, J. A. 2015, "Quiescent thermal emission from neutron stars in low-mass X-ray binaries", *Astronomy & Astrophysics*, Cilt 577, Sayfa 17.

Ushomirsky, G.; Rutledge, R. E., 2001. "Time-variable emission from transiently accreting neutron stars in quiescence due to deep crustal heating", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Cilt 325, Sayı 3, Sayfa 1157-1166.

van Paradijs J., 1978. "Average properties of X-ray burst sources", Nature, Cilt. 274, Sayfa 650-653.

Verbunt, F.; Belloni, T.; Johnston, H. M.; van der Klis, M.; Lewin, W. H. G. 1994. "ROSAT observations of soft X-ray transients in quiescence", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 285, Sayfa 903-911.

Verbunt, F. 2001, "A census with ROSAT of low-luminosity X-ray sources in globular clusters", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 368, Sayı 137-159.

Wachter, S.; Patel, S. K.; Kouveliotou, C.; Bouchet, P.; Özel, F.; Tennant, A.F.; Woods, P. M.; Hurley, K.;Becker, W.; Slane, P., 2004. ” Precise Localization of the Soft Gamma Repeater SGR 1627-41 and the Anomalous X-Ray Pulsar AXP 1E1841-045 with Chandra”, *The Astrophysical Journal*, Cilt 615, Sayı 2.

Waterhouse, A. C.; Degenaar, N.; Wijnands, R.; Brown, E. F.; Miller, J. M.; Altamirano, D.; Linares, M. 2016, "Constraining the properties of neutron star crusts with the transient low-mass X-ray binary Aql X-1", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Cilt 456, Sayı 4, Sayfa 4001-4014

Wijnands, R., Heinke, C. O., ve Grindlay, J. E. 2002, "A Chandra Observation of the Globular Cluster Terzan 1: The Neutron Star X-Ray Transient X1732-304 in Quiescence", *The Astrophysical Journal*, Cilt 572, Sayı 2, Sayfa 1002-1005.

Wijnands, R., Nowak, M., Miller, J. M., Homan, J., Wachter, S., ve Lewin, W. H. G. 2003, "A Chandra Observation of the Neutron Star X-Ray Transient and Eclipsing Binary MXB 1659-29 in Quiescence", *The Astrophysical Journal*, Cilt 594, Sayı 2, Sayfa 952-960.

Wijnands, R.; Homan, J.; Miller, J. M.; Lewin, W. H. G. 2004, "Monitoring Chandra Observations of the Quasi-persistent Neutron Star X-Ray Transient MXB 1659-29 in Quiescence: The Cooling Curve of the Heated Neutron Star Crust", *The Astrophysical Journal*, Cilt 606, Sayı 1, Sayfa L61-L64.

Wijnands, R., Heinke, C. O., Pooley, D. vd. 2005a, "The Hard Quiescent Spectrum of the Neutron Star X-Ray Transient EXO 1745-248 in the Globular Cluster Terzan 5", *The Astrophysical Journal*, Cilt 618, Sayı 2, Sayfa 883-890.

Wijnands, R., Degenaar, N., Page, D. 2013, "Testing the deep-crustal heating model using quiescent neutron-star very-faint X-ray transients and the possibility of partially accreted crusts in accreting neutron stars", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Cilt 432, Sayı 3, Sayfa 2366-2377.

Wijnands, R., Degenaar 2013, "A low-level accretion flare during the quiescent state of the neutron-star X-ray transient SAX J1750.8-2900", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Cilt 434, Sayı 2, Sayfa 1599-1603.

Wijnands, R., Degenaar, N., Armas Padilla, M.vd. 2015,"Low-level accretion in neutron star X-ray binaries", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Cilt 454, Sayı 2, Sayfa 1371-1386.

Wijnands, R., Degenaar, N. Page, D., 2017, "Cooling of Accretion-Heated Neutron Stars", *Journal of Astrophysics and Astronomy*, Cilt 38, Sayı 3, Sayfa 16.

Wilms, J.; Allen, A.; McCray, R. 2000, "On the Absorption of X-Rays in the Interstellar Medium" *The Astrophysical Journal*, Cilt 542, Sayı 2, Sayfa 914-924.

Woods P. M. ve Thompson C. 2006. Sayfa 547. *Compact Stellar X-Ray Sources*, Editör: Lewin, W. ve van der Klis, M., Cambridge: Cambridge University Press.

XMM-Newton Community Support Team, "XMM-Newton Users Handbook". 2020, Issue 2.18, (ESA: XMM-Newton SOC).

Yagi, K.; Yunes, N., 2013. "I-Love-Q: Unexpected Universal Relations for Neutron Stars and Quark Stars", *Science*, Cilt 341, Sayı 6144, Sayfa 365-368.

Yakovlev, D.G. ve Pethick, C.J. 2004 "Neutron Star Cooling", *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, Cilt 42, Sayfa 169-210.

Zampieri, L.; Turolla, R.; Zane, S.; Treves, A., 1995. "X-ray spectra from neutron stars accreting at low rates", *The Astrophysical Journal*, 1. Kısım, Cilt. 439, Sayı 2, Sayfa 849-853.

Zavlin, V. E.; Pavlov, G. G.; Shibanov, Yu. A., 1996. "Model neutron star atmospheres with low magnetic fields. I. Atmospheres in radiative equilibrium", *Astronomy and Astrophysics*, Cilt 315, Sayfa 141-152.

# ÖZGEÇMİŞ

| Kişisel Bilgiler | |
|---|---|
| Adı Soyadı | Ece Gülfem STÜCKER |
| Doğum Yeri | Şanlıurfa |
| Doğum Tarihi | 06.12.1990 |
| Uyruğu | [X] T.C. [ ] Diğer: |
| Telefon | +49 178 8754274 |
| E-Posta Adresi | edagdeviren@ogr.iu.edu.tr |
| Web Adresi | https://orcid.org/0000-0001-6981-5273 |



| Eğitim Bilgileri | |
|---|---|
| **Lisans** | |
| Üniversite | Çukurova Üniversitesi |
| Fakülte | Fen Fakültesi |
| Bölümü | Fizik Bölümü |
| Mezuniyet Yılı | 2014 |

| 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 | 2020 |

**Makale ve Bildiriler**

Dağdeviren, E. G. ve diğ. "Searching for candidate Tidal Disruption Flares in X-ray archives", Joint Workshop on Compact Objects, Sabancı Üniversitesi Karakoy Communication Center, Istanbul, Türkiye, Ağustos 2017.

Dağdeviren, E. G. ve diğ. "M101 ve NGC 253 Galaksilerindeki X-Işın Nokta Kaynakları ve Doğaları", UAK Konferansı; ODTÜ, Ankara, Türkiye, Şubat 2015