


Orta Kutupsal Manyetik Katakлизмik Değişken IGR J17195-4100 ve IGR J15094-6649 Kaynaklarının Spektral Analizi ve Yansıma Etkileri

Elif Şafak^{1,2}  , Şölen Balman² 

¹ Institute of Graduate Studies in Science, Istanbul University, Beyazıt, 34116, Istanbul, Turkey

² Department of Astronomy and Space Sciences, Faculty of Science, Istanbul University, Beyazıt, 34119, Istanbul, Turkey

Accepted: December 25, 2022. Revised: December 23, 2022. Received: November 6, 2022.

Özet

Manyetik katalizmik değişkenlerde x-ışını emisyon bölgesi, sistemin birincil yıldızı olan beyaz cücenin kutuplarında bulunan optik olarak ince şokla ısıtılmış plazmadır. Sürekli sıcaklık dağılımı gösteren bu plazmanın X-ışını emisyonu beyaz cücenin yüzeyi tarafından yansıtılabilir ve/veya yeniden işlenebilir. Bu yansıtmanın X-ışınlarında görülen spektral karakteristikleri, 10-30 keV aralığında bir Compton saçılma kamburu ve 6.4 keV'de bulunan floresan Fe K α emisyon çizgisidir. Bu çalışmada IGR J17195-4100 ve IGR J15094-6649 adlı manyetik katalizmik değişkenlerin bir alt sınıfı olan orta kutupsal kaynakların *NuSTAR* verilerinin plazma ve yansıma modelleriyle detaylı analizi sunulmaktadır. Bu kaynaklarda yansıma etkisinin varlığına ilişkin güvenilirlik testleri 3σ üzerinde sonuçlar vermiştir. X-ışın tayfları XSPEC içinde çoklu-sıcaklıklı ionizasyon dengesinde plazma modeli (CEVMKL) ile yansıma (*reflect*) modeli bileşkeleri kullanılarak analiz edilmiştir. IGR J17195-4100 ve IGR J15094-6649 için soğrulmamış X-ışını öz ışımaları, sırasıyla, 1.1×10^{32} erg cm⁻² s⁻¹ ve 1.32×10^{32} erg cm⁻² s⁻¹ ve X-ışın plazma sıcaklıkları da, sırasıyla, ~ 29 keV ve ~ 25 keV bulunmuştur. Yansıma genliği "a", birinci kaynak için 0.3-1.6 ve ikinci kaynak için 1.21-8.74 olarak hesaplanmıştır.

Abstract

In magnetic cataclysmic variables, the X-ray emission is generated from optically thin shock-heated plasma at the poles of the binary system's primary star, the white dwarf. The X-ray emission of plasma shows a continuous temperature distribution and can be reflected and/or reprocessed by the surface of the white dwarf. The X-ray spectral result of this reflection is the Compton scattering hump seen in the 10-30 keV range and the Fe K α fluorescent line at 6.4 keV. In this study, we present detailed analysis of the *NuSTAR* mission data of Intermediate Polar sources, IGR J17195-4100 and IGR J15094-6649 using an ionization-equilibrium plasma model with multiple-temperature distribution (CEVMKL) and reflection models (*reflect*) within XSPEC. Our reliability tests for the presence of reflection effect in spectra yield more than 3σ significance. The unabsorbed X-ray luminosity of IGR J17195-4100 and IGR J15094-6649 are 1.1×10^{32} erg cm⁻² s⁻¹ and 1.32×10^{32} erg cm⁻² s⁻¹ and the X-ray plasma temperatures are ~ 29 keV ve ~ 25 keV, respectively. For the two sources, we derive the amplitude "a" for the reflection model in the ranges 0.3-1.6 and 1.21-8.74, respectively.

Anahtar Kelimeler: novae, cataclysmic variables – X-ray: binaries – magnetic fields

1 Giriş

Katakлизмik değişkenler, eş yıldızın Roche Lobundan taşmasıyla birincil yıldıza Lagrange 1 noktasından madde aktardığı ikili sistemlerdir. Bu ikili sistemin başlıca üyesi beyaz cüce iken ona madde aktarımı yapan eş yıldız ise geç tip yıldız veya Anakola yakın bir yıldızdır. Katakлизмik değişkenler manyetik alanlarının olup olmasına bağlı olarak iki sınıfa ayrılırlar: Manyetik katalizmik değişkenler ve manyetik olmayan katalizmik değişkenler (Balman 2020). Manyetik katalizmik değişkenler, eş yıldızdan aktarılan materyali, manyetik alan çizgileriyle beyaz cücenin kutuplarına taşımak için güçlü manyetik alan kuvvetine sahiplerdir ve iki alt gruba ayrılır: Kutupsal sistemler ve orta kutupsal sistemler.

Kutupsal sistemlerin manyetik alan gücü $B \sim 10^7$ - 10^9 Gauss aralığındadır ve ikili sistemin yörünge periyodu (P_{orbital}), beyaz cücenin dönüş periyoduna (P_{spin}) eşittir.

Kutupsal sistemlerin sahip olduğu manyetik alan gücü aynı zamanda beyaz cüce etrafında bir yığılma diski oluşturmasını engelleyerek, eş yıldızdan aktarılan maddeyi manyetik kanallama ile doğrudan beyaz cücenin kutuplarına manyetik alan çizgileri boyunca taşır (Mukai 2017). Kutupsal Sistemler ile aynı özellikleri gösteren ama beyaz cücenin dönüş periyodu ile ikili sistemin yörünge periyodu arasında yaklaşık ~ 2 - 3% fark gösteren asenkron kutupsal sistemler de bulunmaktadır. Orta kutupsal sistemlerde ise manyetik alan gücü $B \sim 10^5$ - 10^7 Gauss aralığında bulunur ve P_{orbital} , P_{spin} 'den daha uzundur. Orta kutupsal sistemlerin sahip olduğu manyetik alan gücü aralığı eş yıldızdan gelen materyalin beyaz cüce etrafında yığılma diski oluşturmasına izin verir. Yığılma diskinde kinetik basınç ve manyetik basıncın birbirine eşit olduğu durumda, plazmada manyetik bozulmalar meydana gelir ve diskteki madde, Alfvén yarıçapı olarak adlandırılan yarıçap yakınlarında beyaz cücenin manyetik alan çizgilerine bağlanarak kutuplarına doğru taşınır (Elsner & Lamb 1977; Patterson 1994).

* elifsafak@ogr.iu.edu.tr

Her iki alt grupta da akıştaki madde, süpersonik hızlarda beyaz cüce kutuplarına taşınarak serbest düşüş gerçekleştirir. Fakat maddenin beyaz cücenin üstüne aktarılabilmesi için sahip olduğu süpersonik hızın, subsonik hızlara yavaşlaması gerekmektedir. Bu koşulda beyaz cücenin kutuplarının üzerinde yığılma kolonu olarak adlandırılan bölgede bir kalıcı şok meydana gelir. Maddenin süpersonik hızlardan subsonik hıza geçişinden gelen kinetik enerji farkı ise termal enerjiye dönüşerek beyaz cüce kutuplarının üzerindeki şok-sonrası bölgede $kT \sim 10-50$ keV aralığında bir şokla ısıtılmış plazma oluşturur (Mukai 2017; Patterson 1994; Islam & Mukai 2021). Optik olarak ince olan şokla ısıtılmış plazma, beyaz cüce yüzeyine ulaşana kadar bremsstrahlung veya siklotron soğutma mekanizmalarıyla radyasyon yayar ve soğur (Wu ve diğ. 1995; Done & Magdziarz 1998).

Beyaz cüce fotosfer sıcaklığından şok sıcaklığına kadar sürekli sıcaklık dağılımı gösteren bu plazmanın belirgin özelliği 6.9 ve 6.7 keV'de görülen H ve He benzeri $K\alpha$ çizgileri ve 1.0 keV çevresinde görülen demir L kabuğu çizgisidir. Manyetik kataklismik değişkenlerde X-ışını alınan bölge, çok sıcaklıklı dağılım ve çarpışmalı iyonizasyon dengesinde, şokla ısıtılmış plazmadır (Aizu 1972). Bu çok sıcaklıklı plazmanın X-ışını parlaklığı birkaç $10^{29} \leq L_x \leq 10^{32}$ erg s^{-1} 'dir.

Şokla ısıtılmış plazmanın, X-ışını emisyon bölgesinin beyaz cüce yüzeyine yakın olması, X-ışınlarının soğuk elektronlar tarafından Compton yansımaya neden olmaktadır (Magdziarz & Zdziarski 1995; Mukai ve diğ. 2015). X-ışının beyaz cüce yüzeyinden yansıtılmasının sonucunda X-ışını spektrumunda 10 keV'nin üstünde karakteristik bir sertleşme meydana gelmektedir (Done & Magdziarz 1998). Yansıtmanın en belirgin özelliği 6.4 keV'da görülen floresan Fe $K\alpha$ emisyon çizgisi ve 10 keV-30 keV aralığında görülen Compton yansıma kamburudur. Bu çalışmada IGR J17195-4100 ve IGR J15094-6649 adlı orta kutupsal kaynaklarının NuSTAR misyonu verileriyle detaylı spektral analizini plazma ve yansıma modelleriyle (XSPEC içinde) ve yansımının varlığına ilişkin spektral güvenilirlik testleri ile sunuyoruz.

2 Gözlemler ve Data İndirgeme

NuSTAR, IGR J17195-4100 kaynağını (OBS ID 30460005002) 25 Ekim 2008 tarihinde toplam 29.5 ks ve IGR J15094-6649 kaynağını (OBS ID 30460013002) 19 Temmuz 2018 tarihinde toplam 41.3 ks gözlemlemiştir. NuSTAR, FPMA ve FPMB'ye adı verilen iki optik düzlemler, iki eş hizalı optik kristal dedektöründen oluşur ve 13 Haziran 2013'te fırlatılarak sert X-ışınlarına (3.0-78.0 keV) odaklanan ve imaj alan ilk teleskoptur (Harrison ve diğ. 2013).

NuSTAR verilerini, HEASOFT v6.30'da NuSTAR Veri Analiz Yazılımı (NuSTARDAS v2.1.2) ve CALDB (20220815) dosyalarını kullanarak indirdik (Arnaud 1996). NuSTARDAS yazılımında nupipeline programı ile her iki Odak Düzlemi Modülü (FPMA ve FPMB) için veriler işlenerek, temizlenmiş ve kalibre edilmiş olay listesi dosyalarını ürettik. Kalibre edilmiş ve temizlenmiş olay dosyalarından yüksek seviyeli veri ürünleri oluşturmak amacıyla NuSTARDAS'ın nuproducts programını kullanarak kaynak ve arka plan enerji tayfı, ışık eğrisi, gökyüzü koordinatlarında alan görüntüsü ve RMF ve ARF dosyalarını elde ettik.

IGR J17195-4100 kaynağı için 70'' ve 100'' çaplı dairesel bölge ve IGR J15094-6649 kaynağı için 50'' ve 80'' çaplı dairesel bölge çıkararak sırasıyla kaynak ve arkaplan bölgeleri için kullandık. grppha komutu kullanarak kaynakların

spektrumlarını bin başına en az 40 sayım olacak şekilde gruplandırdık. Kaynaklar için analizlerde NuSTAR enerji aralığını 3.5-78.0 keV olarak belirledik.

3 Veri Analizi

Yansıyan spektrumun analizi için ortalama-açılı yansıma spektrumunun uygun olmadığı, açının yansıma spektrumunun sertleşmesinde önemli olduğu ve artan görüş açısıyla birlikte yansıyan spektrumun güçlü bir şekilde sertleştiği Magdziarz & Zdziarski (1995) makalesinde kanıtlanmıştır. Bu yüzden manyetik kataklismik değişkenlerin yansıma etkisinin bulunduğu X-ışını spektrumunun analizinde açığa bağlı yansıma kullanmak önemlidir. Yansıtmanın dikkate alınmaması, şokla ısıtılmış plazma sıcaklığının fazla tahmin edilmesine neden olur ve bu durum beyaz cüceye ait niceliklerin yanlış tahmin edilmesine (mesela, kütle) yol açabilmektedir. Aynı zamanda elde edilen yansıma bileşenin spektrumdan çıkarılmasıyla birlikte ışınımsal süreçleri elde etmemizi sağlayan içsel radyasyon spektrumu elde edilebilir (Magdziarz & Zdziarski 1995). Bu nedenle çalışmamızda orta kutupsal sistemlerin X-ışını emisyon bölgesinin spektral analizinde yansıtmanın etkileri incenirken açığa-bağlı yansıma modeli (*reflect*) kullanıldı.

Daha önce Mukai ve diğ. (2015) V709 Cas, NY Lup, V1223 Sgr adlı üç orta kutupsal kaynağın NuSTAR ve XMM – NEWTON verileriyle yapılan X-ışın spektral analizinde yansıtmanın yüksek öneme sahip olduğu F-test analizleriyle birlikte açık bir şekilde tespit edilmişti (3σ güvenilirlik üstünde). Yapılan çalışmada, yansıtmanın spektral özellikleri elde edilmiş ve hatalar %90 güven düzeyinde gösterilmişti. Yaptığımız çalışmada da bu makale ele alınarak INTEGRAL teleskobuyla bulunmuş başka iki IP kaynağına uygulanmıştır.

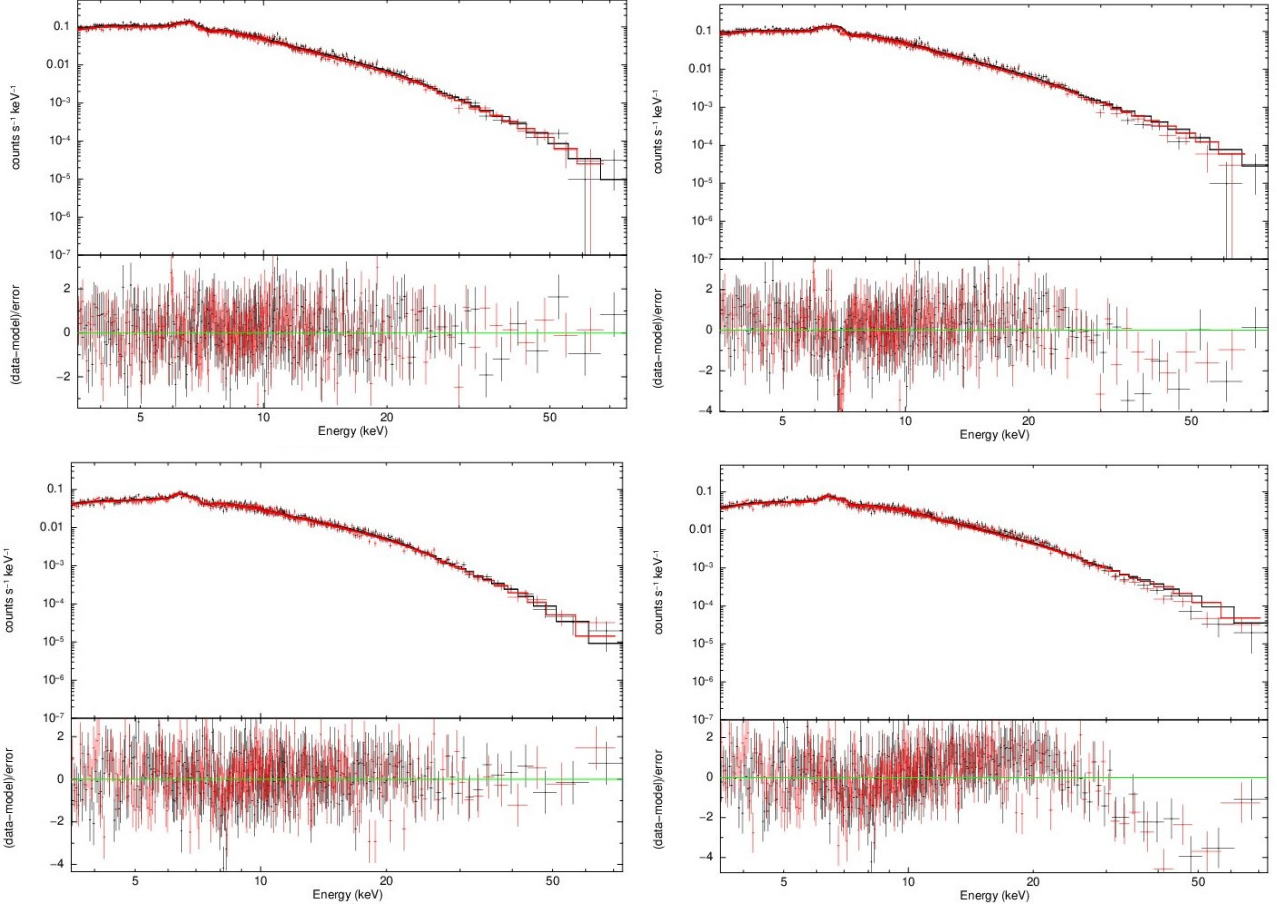
Bu model kullanılırken Mukai ve diğ. (2015) makalesinde olduğu gibi, yansıma açısı, μ , öncelikle 0.45'e sabitlenerek ortalama açılı yansıma olduğu varsayılarak uygulandı. Daha sonra bu parametre serbest bırakılarak yansımının açısı ve Compton kamburunun genliği model parametrelerinden elde edildi. Manyetik kataklismik değişkenlerin X-ışın spektrumunda dikkate alınması gereken bir diğer etken, X-ışının yeniden işlenmesidir. X-ışın emisyonu, şok-öncesi bölgedeki ve/veya beyaz cüce fotosferindeki neredeyse nötral ortamda yeniden işlenir. Bu durum, yumuşak X-ışını bileşkesini yaratır (Done & Magdziarz 1998; Islam & Mukai 2021).

X-ışın spektrumu modellenirken kısmi kapsayan soğurma pcfabs ve güç yasası dağılımı soğurma özellikli pwab modellerini kullandık. Yıldızlararası soğurma için phabs modelini kullanarak HEASOFT'un nH column density aracı ile elde ettiğimiz 0.6×10^{22} cm^{-2} ve 0.2×10^{22} cm^{-2} değerlerini sırasıyla IGR J17195-4100 ve IGR J15094-6649 kaynakları için kullanarak sabitledik.

Daha önce bahsedilen şokla ısıtılmış plazma için çok sıcaklıklı bir plazma emisyon modeli CEVMKL ve soğuk-akış modeli MKCFLOW programlarını kullandık. Soğuk-akış modelinde düşük sıcaklığı 0.0808 keV'ye sabitledik. Yansımının etkilerinden biri olan 6.4 keV'deki floresan Fe $K\alpha$ emisyon çizgisi için GAUSS modelini ve her iki kaynakta da varlığı belirli olan H-benzeri Fe soğurma çizgileri (Fe XXVI) için GABS modelini kullandık.

4 Sonuçlar

Orta kutupsal manyetik kataklismik değişken IGR J17195-4100 ve IGR J15094-6649 adlı iki kaynağın X-ışını spektral analizinde



Şekil 1. (Üst sol panel) IGR J17195-4100 kaynağı için M1 modelinin enerji spektrumu (Üst sağ panel) IGR J17195-4100 kaynağı için M1 modelinin gabs modeli olmadan ve reflect modelinin amplitude parametresini 0.0'e eşitlenerek elde edilen enerji spektrumu (Alt sol panel) IGR J15094-6649 kaynağı için M4 modelinin enerji spektrumu (Alt sağ panel) IGR J15094-6649 kaynağı için M4 modelinin gabs modeli olmadan ve reflect modelinin amplitude parametresini 0.0'e eşitlenerek elde edilen enerji spektrumu.

kullandığımız dört bileşke-modeli ve spektral sonuçlarını %90 güven hata aralığı ile Çizelge 1'de sunuyoruz. Bu analizde kullanılan modellerde χ^2 yaklaşık olarak ~ 1 elde edilmiştir. Bu kaynakların soğurmasız X-ışını öz ışımaları, sırasıyla, 1.1×10^{32} erg $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ve 1.32×10^{32} erg $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ olarak **Bodaghee ve diğ. (2007)** makalesinden elde edilen kaynakların, sırasıyla, 110 pc ve 140 pc uzaklık verileriyle bulunmuştur.

Orta kutupsal sistemlerin X-ışın spektral analizinde yansıma etkisinin önemini görebilmek için açıya-bağılı yansıma modeli olan reflect modelinin amplitude parametresini 0.0'a eşitleyerek F-test analizini gerçekleştirdik. Her iki kaynak için de yansıma etkisinin yüksek öneme sahip olduğu görüldü. F-test sonuçlarına göre yansıma etkisinin IGR J17195-4100 kaynağı için en az 4σ (%99.9997) ve IGR J15094-6649 kaynağı için en az 6σ (%99.999996) öneme sahip olduğu bulunmuştur. Çizelge 1'de görüldüğü gibi yansıma genliği " a ", IGR J17195-4100 kaynağında 0.3-1.6 aralığında ve IGR J15094-6649 adlı kaynağında 1.21-8.74 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 1'de IGR J17195-4100 kaynağı için M1 modelinin enerji spektrumu ve M1 modelinin gabs modeli olmadan ve reflect amplitude 0.0'e eşitlenerek elde edilen enerji spektrumu ve IGR J15094-6649 kaynağı için M4 modelinin enerji spektrumu ve M4 modelinin gabs modeli olmadan ve reflect amplitude 0.0'e eşitlenerek elde edilen enerji spektrumu

görülmektedir. Reflect modelinin amplitude parametresinin 0.0'a eşitlendiği, yani yansıma etkisinin olmadığını varsayılan modellerde plazma sıcaklığının yüksek tahmin edildiğini ve bunun veriyi uyuşmadığı görülmektedir.

Çizelge 2'de demir soğurma ve emisyon çizgilerinin uyumlamalardan çıkan parametreleri bulunmaktadır. Görülen floresan Fe $K\alpha$ emisyon çizgisinin ve H-benzeri Fe soğurma çizgisinin (Fe XXVI) modellemeye elde edilen enerjilerinde kayma olduğu görülmektedir. Oluşan bu çizgi kaymalarının yansıma ve çok sıcaklıklılı plazma modellerinin etkisi (reflect ve MKCFLOW/CEVMKL) ve/veya bileşke-modeli tayf analizinin bir etkisi olabileceğini düşünüyoruz. Ayrıca yumuşak X-ışını bandlarının, mesela *XMM – Newton*, *NuSTAR* verileriyle birlikte analizi bu soğurma çizgilerinin varlığı ve merkez enerjilerinin daha doğru bulunmasını sağlayacaktır. Bundan sonra analizlerimizi bu doğrultuda yinelemek istemekteyiz.

Kaynaklar

- Aizu K., 1972, Progress of Theoretical Physics, 49, 1184
 Arnaud K. A., 1996, Astronomical Data Analysis Software and Systems V, ed. G. H. Jacoby & J. Barnes (San Francisco, CA:ASP), p. 17
 Balman Ş., 2020, *Advances in Space Research*, 66, 1097
 Bodaghee A., ve diğ., 2007, *Astronomy and Astrophysics.*, 467, 585

Çizelge 1. İki ana model tarafından elde edilen en uygun spektral parametreler. Hatalar %90 güven düzeyindedir. Notlar: M-1: $\text{cons} \times \text{phabs} \times \text{gabs} \times \text{pwab} \times (\text{reflect} \times \text{mkcflow} + \text{gauss})$ M-2: $\text{cons} \times \text{phabs} \times \text{gabs} \times \text{pcfabs} \times (\text{reflect} \times \text{mkcflow} + \text{gauss})$ M-3: $\text{cons} \times \text{phabs} \times \text{gabs} \times \text{pwab} \times (\text{reflect} \times \text{cevmkl} + \text{gauss})$ M-4: $\text{cons} \times \text{phabs} \times \text{gabs} \times \text{pcfabs} \times (\text{reflect} \times \text{cevmkl} + \text{gauss})$ (a): pcfabs modelinin eşdeğer hidrojen kolonu yoğunluğu veya pwab modelinin maximum eşdeğer hidrojen kolonu yoğunluğu. (b): mkcflow modelinin maximum sıcaklığı veya cevmkl modelinin maximum sıcaklığı. (c): $1 \times 10^{-8} S_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ biriminde mkcflow normu veya $1 \times 10^{-2} S_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ biriminde cevmkl normu. Tüm cevmkl modelinin bolluk parametreleri Güneş değerlerine sabitlidir. mkcflow modelinin bolluk parametresi angr modeliyle kullanılmaktadır (Anders & Grevesse, 1989). Standart soğuma modeli varsayılarak α 1.0'e sabitlidir. reflect modelinin demir bolluk and bolluk parametreleri 1.0'e sabitlidir.

Model	Amp	cos i	cvf (%)	N_{H} (a) (10^{22} cm^{-2})	kT_{max} (b) (keV)	$N_{\text{mkc,cev}}$	χ^2/dof
Kaynak: IGR J17195-4100							
M-1	$1.21^{+0.40}_{-0.41}$	$0.49^{+0.13}_{-0.21}$		$2.1^{+1.0}_{-0.6}$	$30.0^{+4.85}_{-3.35}$	$1.9^{+0.2}_{-0.2}$	1.03/550
M-2	$0.77^{+0.41}_{-0.37}$	≥ 0.31	$0.22^{+0.07}_{-0.06}$	$34.9^{+24.2}_{-24.8}$	$29.7^{+4.9}_{-3.2}$	$3.1^{+0.5}_{-0.5}$	1.03/550
M-3	$1.42^{+0.77}_{-0.80}$	≥ 0.43		$1.42^{+0.77}_{-0.80}$	$27.7^{+3.0}_{-2.2}$	$3.6^{+0.5}_{-0.5}$	1.03/551
M-4	$0.66^{+0.36}_{-0.33}$	≥ 0.28	$0.12^{+0.09}_{-0.06}$	$28.1^{+44.7}_{-27.1}$	$28.3^{+3.5}_{-2.9}$	$6.0^{+0.8}_{-0.5}$	1.03/550
Kaynak: IGR J15094-6649							
M-1	$8.74^{+1.94}_{-1.97}$	$0.19^{+0.04}_{-0.05}$		$3.1^{+1.5}_{-1.6}$	$25.0^{+1.8}_{-1.1}$	$1.2^{+0.04}_{-0.03}$	0.99/597
M-2	$1.36^{+0.63}_{-0.59}$	≥ 0.33	$0.50^{+0.05}_{-0.05}$	$46.4^{+13.7}_{-12.0}$	$26.0^{+3.2}_{-2.3}$	$2.9^{+0.6}_{-0.4}$	0.98/596
M-3	$5.28^{+0.81}_{-0.23}$	$0.21^{+0.08}_{-0.01}$		$3.5^{+1.3}_{-1.5}$	$24.8^{+1.6}_{-2.9}$	$2.2^{+0.06}_{-0.03}$	099/597
M-4	$1.21^{+0.77}_{-0.45}$	≥ 0.33	$0.46^{+0.05}_{-0.07}$	$44.7^{+13.3}_{-17.6}$	$25.2^{+2.4}_{-2.2}$	$5.0^{+0.7}_{-0.8}$	0.98/596

Çizelge 2. GABS ve GAUSS modellerinin parametreleri. Notlar: (a): Çizgide 1×10^{-5} toplam foton $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ biriminde Gauss normu. (b): Parametre üst sınırdır sabitlenmiştir.

Model	E_c (Gabs) (keV)	σ (Gabs) (keV)	depth (Gabs)	E_c (Gauss) (keV)	σ (Gauss) (keV)	N_{Gauss} (a) (foton $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
Kaynak: IGR J17195-4100						
M-1	$6.84^{+0.02}_{-0.01}$	$0.06^{+0.05}_{-0.04}$	$0.38^{+245.03}_{-0.18}$	$6.26^{+0.05}_{-0.05}$	0.1 (b)	$4.0^{+0.8}_{-0.9}$
M-2	$6.84^{+0.02}_{-0.01}$	$0.06^{+0.05}_{-0.04}$	$0.44^{+96601.60}_{-0.25}$	$6.25^{+0.08}_{-0.05}$	0.1 (b)	$5.3^{+1.2}_{-1.1}$
M-3	$6.87^{+0.04}_{-0.03}$	$0.05^{+0.03}_{-0.03}$	≥ 0.2	$6.28^{+0.05}_{-0.05}$	≥ 0.004	$3.38^{+0.06}_{-0.05}$
M-4	$6.87^{+0.05}_{-0.06}$	$0.06^{+0.045}_{-0.004}$	≥ 5.65	$6.28^{+0.05}_{-0.06}$	≥ 0.001	$6.36^{+1.2}_{-1.5}$
Kaynak: IGR J15094-6649						
M-1	$6.80^{+0.02}_{-0.09}$	$0.13^{+0.13}_{-0.05}$	$0.32^{+0.016}_{-0.29}$	$6.36^{+0.05}_{-0.08}$	2.44×10^{-3} (b)	$3.0^{+5.5}_{-0.6}$
M-2	$6.80^{+0.02}_{-0.04}$	$0.13^{+0.06}_{-0.06}$	$0.32^{+0.18}_{-0.03}$	$6.36^{+0.04}_{-0.05}$	2.38×10^{-3} (b)	$5.9^{+3.2}_{-1.4}$
M-3	$6.82^{+0.03}_{-0.02}$	$0.16^{+0.04}_{-0.06}$	$0.28^{+0.02}_{-0.03}$	$6.36^{+0.04}_{-0.04}$	$1.53^{+1.5}_{-1.5} \times 10^{-4}$	$3.2^{+0.5}_{-0.5}$
M-4	$6.83^{+0.02}_{-0.04}$	$0.12^{+0.08}_{-0.05}$	$0.20^{+0.20}_{-0.04}$	$6.34^{+0.07}_{-0.06}$	1.26×10^{-3} (b)	$5.6^{+4.2}_{-0.7}$

Done C., Magdziarz P., 1998, MNRAS, 298, 737
 Elsner R. F., Lamb F. K., 1977, ApJ., 215, 897
 Harrison F., Craig W. W., Christensen F. E., ve diğ., 2013, ApJ.,
 770, 103
 Islam N., Mukai K., 2021, ApJ., 919, 9
 Magdziarz P., Zdziarski A. A., 1995, MNRAS, 273, 837
 Mukai K., 2017, PASP, 129, 062001
 Mukai K., Rana V., Bernardini F., de Martino D., 2015, ApJ, 807,
 L30
 Patterson J., 1994, PASP., 106, 209
 Wu K., Chanmugam G., G. S., 1995, ApJ., 455, 260–268

Access:

M23-0330: [Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.](#)