



Süpernova Kalıntısı G12.8-0.0'nin *Suzaku* ile X-ışın Dalgaboylarında Araştırılması

Cihad Deniz¹, Aytap Sezer²

¹Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Antalya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5996-5814),
cihad.dnz@gmail.com

²Avrasya Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1396-3282),
aytap.sezer@avrsya.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 6 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 30 Nisan 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1083773)

ATIF/REFERENCE: Deniz, C., Sezer, A. (2022). Süpernova Kalıntısı G12.8-0.0'nin *Suzaku* ile X-ışın Dalgaboylarında Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 464-468.

Öz

Galaksimizde bulunan G12.8-0.0, merkezinde pulsar PSR J1813–1749'u barındıran bir kompozit süpernova kalıntısıdır (SNK). Bu çalışmada, yüksek tayfsal çözünürlüklü *Suzaku* verisi kullanılarak, SNK'dan gelen ışımının X-ışın doğası ve tayfsal özellikleri araştırılmıştır. X-ışın tayfı ısısal olmayan bir model ile (foton indeksi $\Gamma \sim 1.97$) iyi tanımlanmaktadır ve yüksek soğurma sütun yoğunluğuna ($N_H \sim 12.1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$) sahiptir. Ayrıca, bu çalışmada gelecek nesil X-ışın uyduları olan *XRISM* ve *Athena* simülasyonları da sunulmuştur. Her iki simülasyonda da ısısal ışımadan gelen Mg ve Si çizgi salmaları açıkça görülmüştür ve bu da kalıntıda hala süpernova patlamasının izleri olduğunu gösterir.

Anahtar Kelimeler: X-ışınları, Süpernova kalıntıları, G12.8-0.0, Isısal ve ısısal olmayan ışım.

X-ray Investigation of Supernova Remnant G12.8-0.0 with *Suzaku*

Abstract

The Galactic supernova remnant (SNR) G12.8-0.0 is a member of the class of composite SNRs and hosts the pulsar PSR J1813–1749. In this work, we investigate the X-ray nature of the emission and spectral parameters of the SNR using the high spectral resolution data from *Suzaku*. We found that the X-ray spectrum of G12.8-0.0 can be fitted by a non-thermal model with a high absorbing column density of $N_H \sim 12.1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ and a photon index of $\Gamma \sim 1.97$. We also present spectral simulations of G12.8-0.0 for the future missions, *XRISM* and *Athena*. The thermal emission lines of Mg and Si are clearly resolved in both simulated spectra, indicating the presence of ejecta.

Keywords: X-rays, Supernova remnants, G12.8-0.0, Thermal and non-thermal emission.

¹ Sorumlu Yazar: aytap.sezer@avrsya.edu.tr

1. Giriş

Süpernova (SN) patlamaları evrendeki büyük enerjili patlamalardan biridir ve patlama esnasında açığa çıkan enerji $\sim 10^{51}$ erg mertebesindedir. Bu patlamalar Tip I SN ve Tip II SN olmak üzere ikiye ayrılır. Tip I SN patlaması bir çift yıldız sisteminde meydana gelirken, Tip II SN patlaması büyük kütleli (Güneş kütlelerinin 8 katı ve/veya daha fazla kütleyle sahip) bir yıldızda çekirdek çökmesi (core-collapse) sonucu oluşur (örneğin; Woosley & Janka 2005). SN patlamasıyla yıldızlararası ortama (YAO) atılan gaz “ejecta” adını alır ve şok dalgası olarak YAO’da ilerler. Atılan bu gaz YAO ile etkileşir, ortamda bulunan gazı da kendisine dahil ederek toplam kütlelerini artırır ve bu şekilde oluşan yapı “Süpernova Kalıntısı” (SNK) olarak isimlendirilir. SNK’lar radyo dalgaboylarında yapılan tarama gözlemleri ile keşfedilmekte olup, Galaksimizde yaklaşık 300 tane SNK gözlenmiştir (Green Kataloğu, 2019). İlerleyen şok dalgası önündeki gazın sıcaklığını artırır ($\sim 10^6 - 10^7$ K), ısınan bu gaz X-ışın dalgaboylarında ısısal bir ışımaya yapar. Bu ışımaya süreklilik ve çizgi ışınması olarak kendini gösterebilir. İçerisinde bir kompakt obje (örneğin bir pulsar) bulunduran SNK’lar, ısısal olmayan ışımaya (sinkrotron ışınması ya da ısısal olmayan bremsstrahlung) da göstermektedir (Vink, 2012; Vink, 2020).

SNK’lar morfolojilerine göre üç ayrı sınıfa ayrılırlar: Kabuk (Shell), Plerion (Plerion, filled-center veya Crab-like) ve Kompozit (Composite). Son 24 yılda, Karışık Morfolojiye (KM, Mixed-Morphology, Rho & Petre 1998) sahip SNK’lar yeni bir morfoloji türü olarak keşfedilmiştir. Bu dört morfolojik sınıftan kompozit olanlar; YAO’da genişleyen bir kabuk ve merkezlerinde nokta bir kaynağın (pulsar) ya da pulsar rüzgar bulutsularının (pulsar wind nebula, PWN) yaptığı ısısal olmayan ışımının olduğu sistemlerdir (Gaensler & Slane 2006). Bu türden SNK’ların X-ışın dalgaboyundaki gözlemleri, plazmanın sıcaklığı, element bolluğu, iyonlaşma durumu gibi önemli parametreleri hakkında bilgi vermektedir. Bu da SNK’ların evrimlerinin iyi anlaşılması, morfolojik farklılıklarının ortaya konması ve SNK’ların YAO ile etkileşiminin detayları hakkında önemli bilgiler sunar.

Galaksimizde bulunan G12.8-0.0 (diğer adıyla G12.82–0.02), genç (yaşı < 3 kyr), küçük açısal büyüklüğe sahip (yaklaşık 3 açı dakikası x 3 açı dakikası), kompozit türü bir SNK’dır ve radyo dalgaboyunda yapılan gözlemlerle keşfedilmiştir (Brogan vd., 2005). SNK merkezinden ~ 20 açı saniyesi uzaklıkta PSR J1813–1749 isimli (diğer adıyla CXOU J181335.16–174957.4) bir pulsar bulunmaktadır (örneğin; Dzib vd., 2018). G12.8-0.0, X-ışın dalgaboylarında, ASCA, Chandra, XMM-Newton ve NICER uyduları tarafından gözlenmiştir (örneğin; Ubertini vd., 2005; Helfand vd., 2007; Funk vd., 2007; Wynn vd., 2020). Bu gözlemler kullanılarak yapılan çalışmalarda; G12.8-0.0’den gelen ışımının ısısal olmadığı ve bir power-law modeli ile iyi tanımlandığı rapor edilmiştir. SNK’nın uzaklığı ise; $d \approx 4.5$ kpc (Brogan vd., 2005; Helfand vd., 2007; Gotthelf & Halpern, 2009) ve $d \approx 3-5$ kpc olarak tahmin edilmiştir (Messineo vd., 2011).

Bu çalışmada, yüksek tayfsal çözünürlüğüne sahip Suzaku (Mitsuda vd., 2007) X-ışın uydularının analizleri yapılarak G12.8-0.0’nin tayfsal özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca, XRISM (Tashiro vd., 2018; XRISM Science Team 2020) ve Athena (Nandra vd., 2013) gibi gelecek nesil uydular ile G12.8-0.0’dan ne tür bilgiler alınabileceğini araştırmak için bu uyduların tayf simülasyonları da yapılmıştır. Bölüm 2’de gözlem, veri

indirilmesi ve analizler anlatılmış, Bölüm 3’te ise tayf analizlerinden elde edilen sonuçlar ve simülasyonlar sunularak tartışılmıştır. Çalışma sonuçları göz önüne alınarak, gelecekte yapılabilecek öneriler ise Bölüm 4’te özetlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Gözlem ve Veri İndirilmesi

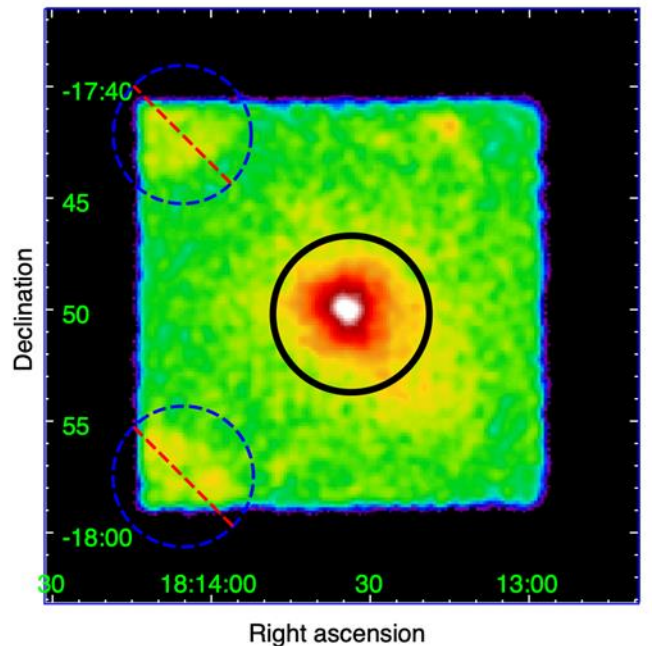
Bu çalışmada, SNK G12.8-0.0’nin Suzaku uydusu X-ışın Görüntüleme Tayföçerleri (XIS; Koyama vd., 2007) ile alınmış 56.2 ks’lik poz süreli X-ışın verisi kullanılmıştır (Gözlem No: 503087010 ve Gözlem proje yürütücüsü: J.Gelfand). XIS, 3 adet CCD’den oluşmaktadır; önden aydınlatmalı (FI, front-illuminated) olan XIS0, XIS3 ve arkadan aydınlatmalı (BI, back-illuminated) olan XIS1. 4 Mart 2009 tarihinde yapılan bu gözlemlerde XIS0, XIS1 ve XIS3 CCD’leri kullanılmıştır. Bu çalışmada, X-ışın analizleri için FI CCD’ler tercih edilmiştir. 3x3 ve 5x5 modunda yapılan gözlemler, analiz aşamasında 3x3 modunda birleştirilerek toplanmıştır.

Veri analizlerinde HEASOFT (High Energy Astrophysics Software) yazılımının 6.21 versiyonu kullanılmıştır. Enerji haritasının oluşturulması XSELECT v2.4d ve DS9 ile yapılmıştır. Tayfin modelleme aşamasında ise; XSPEC (X-Ray Spectral Fitting Package) programının 12.9.1 versiyonu (Arnaud, 1996), ATOMDB 3.0.9 versiyonu ile birlikte kullanılmıştır. Tayflar elde edilirken, dedektörün yanıt (response) dosyaları (RMF ve ARF) XISRMFGEN ve XISSIMARFGEN araçları (Ishisaki vd., 2007) ile oluşturulmuştur. Veriler 30 counts bin⁻¹’lik olarak gruplandırılmış olup, tayf modellemesinde ki-kare (χ^2) istatistiği seçilmiştir.

2.2. Analizler

2.2.1. XIS Enerji Haritası

G12.8-0.0’nin Suzaku XIS0 CCD’si için 0.3-10 keV enerji haritası oluşturulmuş ve Şekil 1’de verilmiştir. Görüntü, DS9 programında açıldıktan sonra, logaritmik olarak ölçeklendirilmiş ve renklendirilmiştir. Görüntü üzerine, $\sigma = 1''.5$ olan Gaussian fonksiyonu ile yumuşatma (smoothing) uygulanmıştır.



Şekil 1. SNK G12.8-0.0'nin XIS0 0.3-10.0 keV aralığında enerji haritası. Siyah daire ile işaret edilen alan SNK ışmasını göstermektedir ve tayf analizi için seçilmiştir. Sol üst ve alt köşelerde yer alan mavi daireler ise kalibrasyon alanları olup, analizlere dahil edilmemiştir (Figure 1. *Suzaku* XIS0 image of G12.8-0.0 in the 0.3–10.0 keV energy band. The black circle indicates the extracted region for the spectral analysis. The two blue circles at the corners of the CCD chips illuminated by the calibration sources are excluded from the spectral analysis)

2.2.2. Arka Alan Analizi

Arka alan analizi için, aynı gözlem verisi kullanılmış ve arka alan tayfı seçilirken Şekil 1'de gösterilen SNK'ya ait ışmanın olduğu dairesel alan ve kalibrasyon alanları kapatılmıştır. Bu alanlar dışında kalan tüm bölge arka alan bölgesi olarak kullanılmıştır. Arka alan analizi yapılırken; aletsel (instrumental) arka alan ve astrofiziksel X-ışın arka alan olmak üzere iki bileşen göz önüne alınmıştır. Aletsel arka alanın etkisi XISNxBGEN (Tawa vd., 2008) aracı kullanılarak gözlem verisinden arındırılmıştır. Astrofiziksel arka alan belirlenirken ise; SNK'nın bulunduğu ortam göz önüne alınmaktadır. Örneğin, Kozmik X-ışın arka alanı (Cosmic X-ray Background, CXB) ve ön alan ışması (Foreground Emission, FE) Galaksi boyunca etkin iken, Galaktik Çıkıntı X-ışın Salması (Galactic Ridge X-

ray emission, GRXE)'nın etkisi Galaksi düzleminden uzaklaştıkça azalmaktadır (Uchiyama vd., 2013). SNK G12.8-0.0, Galaksi düzleminde bulunduğu için arka alan analizinde CXB, FE ve GRXE bileşenleri dikkate alınmıştır ve Uchiyama vd. (2013) makalesinde tanımlanan arka alan modellemesi yapılmıştır. XSPEC'de bulunan FAKEIT aracı kullanılarak arka alan tayfı elde edilmiş ve bu tayf XSPEC'de SNK tayfindan çıkarılmıştır.

2.2.3. Tayf Analizi

Tayf analizi için, Şekil 1'de gösterilen 3.5 açı dakikası yarıçapa sahip ve $\alpha=18^{\text{h}} 13^{\text{m}} 33^{\text{s}}.6$, $\delta=-17^{\circ} 50' 12''.5$ (J2000) koordinat merkezli dairesel bir alan seçilmiştir. Tayf modellemesinde ilk olarak, ısısal olmayan ışınmayı ifade eden power-law modeli uygulanmıştır. Bu modele soğurma sütun yoğunluğunu (N_{H}) tanımlayan TBabs modeli de (Wilms vd., 2000) dahil edilmiştir. TBabs*power-law modelinde; N_{H} , foton indeks (Γ) ve normalizasyon parametreleri serbest bırakılmıştır. Serbest bırakılan bu parametreler için elde edilen değerler (hata aralıkları ile birlikte) ve χ^2 istatistiğinden elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. 1.0-10.0 keV enerji aralığındaki XIS FI tayfı ise Şekil 2'de sunulmuştur.

özellikle 1.0-2.0 keV aralığındaki foton istatistiğinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda, bir sonraki alt bölümde detayları verilen gelecek nesil uydu simülasyonlarının göstereceği sonuçlar önem kazanmıştır.

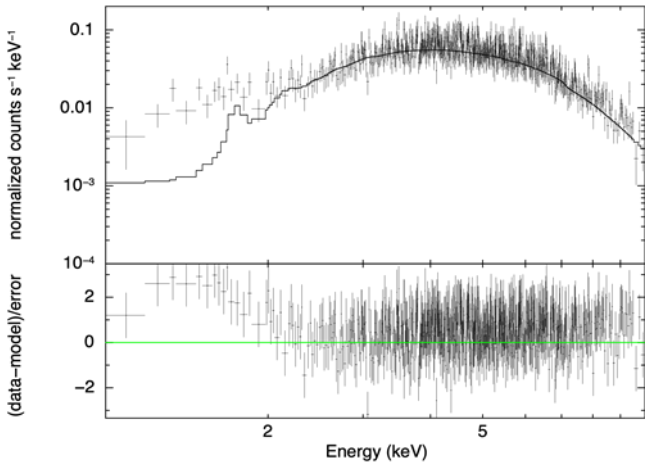
Tablo 1. G12.8-0.0'in TBabs*power-law modelinden elde edilen parametreler ve hata aralıkları (Table 1. The spectral parameters of G12.8-0.0 with TBabs*power-law model and their errors).

Model	Parametre (birim)	Değer
TBabs	N_{H} (10^{22} cm $^{-2}$)	12.1 (11.1-13.3)
Power-law	Photon index, Γ	1.97 (1.84-2.11)
	Norm (10^{-3} photons cm $^{-2}$ s $^{-1}$ keV $^{-1}$)	6.72 (5.24-8.73)
	χ^2 (dof)	1.01 (2462)

2.2.4. Yeni Nesil X-ışın Uydu Simülasyonları

Tayfsal ve uzaysal yüksek çözünürlüğe sahip yeni nesil X-ışın uydu verileri ile astrofiziksel nesnelere doğasını anlama yolunda önemli adımlar atılacağı öngörülmektedir. Japonya-Amerika (JAXA/NASA) işbirliği ile XRISM (X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission) 2022'de, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından desteklenen Athena (Advanced Telescope for High-Energy Astrophysics) ise 2030'ların ortalarında fırlatılması planlanan uydulardır.

XRISM'in üzerinde yer alması planlanan, Yumuşak X-ışın tayföçleri (Soft X-ray Spectrometer, Resolve; Ishisaki vd., 2018) ve Athena'nın üzerinde yer alması planlanan tayföçler (X-ray Integral Field Unit, X-IFU; Barret vd., 2018) simülasyonları ile bu uyduların SNK'lar hakkında verecekleri bilgileri görmek

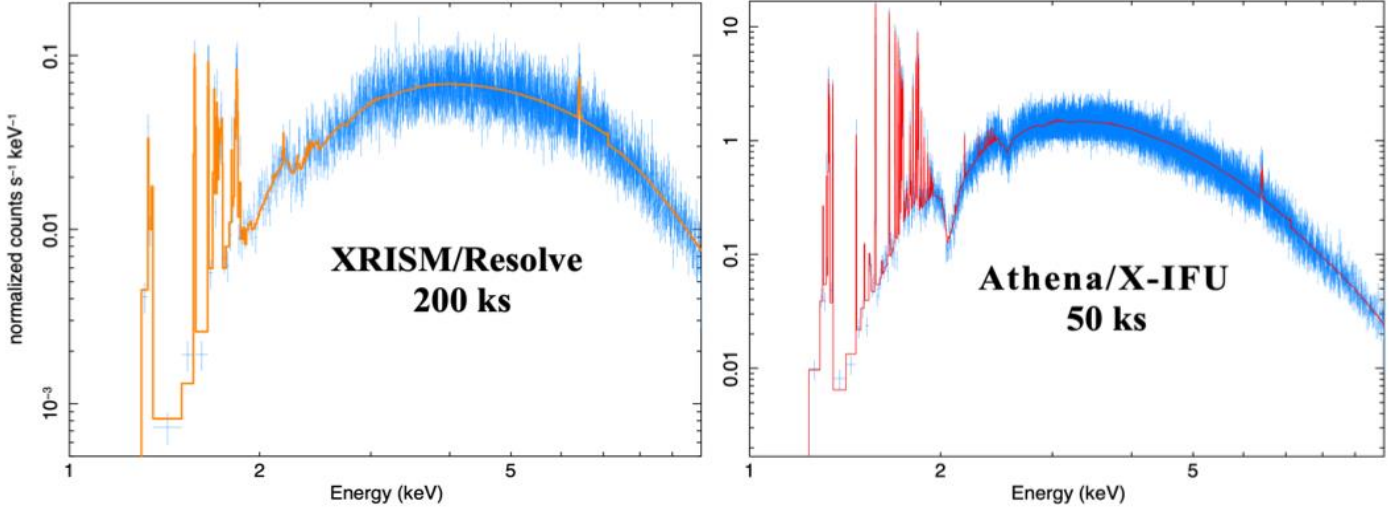


Şekil 2. G12.8-0.0'in 1-10 keV enerji aralığındaki *Suzaku* XIS0+3 tayfı. Üst panelde görülen artı işaretçiler verileri, düz siyah çizgi ise uygulanan tayfsal modeli göstermektedir. Alt panel, veri ile veriyeye uygulanan tayfsal model arasındaki uyumsuzluğu (veriden sapmayı) göstermektedir (Figure 2. *Suzaku* XIS0+3 spectra of G12.8-0.0 in the 1-10 keV energy band. In the upper panel, crosses show the data, and black lines show the model. The lower panel displays the data residuals from the model)

Şekil 2'den görüldüğü gibi tayfın 1.0-2.0 keV enerji aralığındaki kısmında, uygulanan model ile veri arasındaki uyumsuzluk fazladır. Bu nedenle tayfa ısısal bir model (VPSHOCK) eklenerek analizlere devam edilmiştir. TBabs*(VPSHOCK+Power-law) modelinde, N_{H} , elektron sıcaklığı (kT_e), iyonlaşma zamanının üst limiti (τ_u) ve normalizasyon parametreleri serbest bırakılmıştır. Mg ve Si elementlerinin bolluk değerleri (Güneş'in bolluk değerlerine göre) serbest bırakılmış, diğer elementlerinki ise Güneş bolluk değerlerine sabitlenmiştir (Wilms vd., 2000). Bu model, istatistiksel olarak kabul edilebilir bir fit ($\chi^2 = 1.00$, degree of freedom, dof=2457) vermiş olsa da, kT_e , normalizasyon, Mg ve Si bolluk değerleri ve bu değerlerin hata aralıkları kabul edilebilir sınırların dışında kalmıştır. Bu da *Suzaku* verisinde e-ISSN: 2148-2683

mümkün olacaktır. Resolve'un enerji çözünürlüğü 6 keV'ta 7 eV (FWHM) ve etkin enerji aralığı 0.3-12.0 keV'tur, 3 açı dakikası x 3 açı dakikası büyüklüğünde bir görüş alanı (field of view) ve 6 keV'ta 210 cm² etkin alanı vardır. X-IFU'nun etkin olduğu enerji aralığı 0.2-12.0 keV, tayfsal çözünürlüğü 6 keV'ta 2.5 eV, efektif alanı 7 keV'ta 1600 cm²'dir, 5 açı dakikasına sahip çapsal bir görüş alanına sahiptir.

SNK G12.8-0.0'in Resolve ve X-IFU simülasyonları için XSPEC'de bulunan FAKEIT aracı kullanılmıştır. XIS verisi ve TBabs*(vpshock+power-law) modeli simülasyonlar için temel oluşturmuştur. Ayrıca Resolve ve X-IFU'nun yanıt (response) dosyaları <https://xrism.isas.jaxa.jp/research/proposer/obsp/lan/response/index.html> ve <https://www.the-athena-x-ray-observatory.eu/resources/simulation-tools.html> web sayfalarından alınmıştır. 1.0-10 keV enerji aralığında elde edilen 200-ks'lik XRISM/Resolve ve 50-ks'lik Athena/X-IFU simülasyon tayfları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. 1-10 keV enerji aralığında G12.8-0.0'in 200-ks XRISM/Resolve ve 50-ks Athena/X-IFU simülasyon tayfları. Mavi renkler veriyi, turuncu ve kırmızı renkler ise modeli göstermektedir (Figure 3. Simulations of the X-ray spectrum of G12.8-0.0 for the XRISM/Resolve and Athena/X-IFU spectrometers in the 1-10 keV energy band. The blue points indicate the data, orange and red solid lines outline the best-fit model)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada *Suzaku*/XIS verileri kullanılarak kompozit SNK G12.8-0.0 incelenmiş ve SNK'nın tayfsal özellikleri ortaya konmuştur. Şekil 2'de tayfin yumuşak X-ışınları tarafında (1.0–2.0 keV), uygulanan model ile veri arasında uyumsuzluk görülmektedir. Bu da N_H değerinin yüksek ($\sim 12.1 \times 10^{22}$ cm⁻²) olmasını açıklar. N_H değerinin yüksek çıkması plazmada birden fazla bileşenin varlığına ya da SN patlamasıyla atılan kütlelin asimetrik olmasını işaret edebilir (örneğin; Stone vd., 2021). 1.0-2.0 keV enerji aralığında *Suzaku* verisindeki foton istatistiğinin düşük çıkması, bu yöndeki bir araştırmayı kısıtlamıştır. Brogan vd. (2005), ASCA gözlemlerini kullanarak, veriyi en iyi tanımlayan modelin power-law olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, tayfta ısısal bileşeni aramak için, power-law modeline ekledikleri Raymond-Smith ve blackbody gibi ısısal kökenli modellerden istatistiksel olarak kabul edilebilir fitler elde etmelerine rağmen, tayfsal parametrelerin güvenli hata aralıklarında olmadığını rapor etmişlerdir. Benzer sonuç, Ubertini vd. (2005) tarafından da bulunmuş ve her iki çalışmada

da, ASCA tayfında ısısal bir ışınım katkısının olmadığı, bu katkının varlığını araştırmak için yüksek çözünürlüklü tayfların gerekliliği vurgulanmıştır. Bu çalışmada, elde edilen Resolve ve X-IFU simülasyonları (Şekil 3), 1.0-2.0 keV enerji aralığında, Mg (~ 1.5 keV) ve Si (~ 1.8 keV) çizgilerini net bir şekilde göstermiştir. Bu sonuç, SNK'den ısısal ışınımın geldiğini ve "ejecta"nın varlığını göstermesi bakımından önemlidir.

Tayfin daha sert (2.0-10.0 keV) enerji aralığında ise ısısal olmayan ışınım baskındır ve bu ışınım power-law ile modellenmiştir. Isısal olmayan ışınımın akı (unabsorbed Flux) değeri F_X (2.0-10.0 keV) $\sim 1.8 \times 10^{-11}$ ergs cm⁻² s⁻¹ ve uzaklık $d=3-5$ kpc aralığında kabul edilerek ışınım gücü (unabsorbed Luminosity) değeri L_X (2.0-10.0 keV) $\sim (19.4-53.8) \times 10^{33}$ ergs s⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Yakın zamanda, Wynn vd. (2020), *Chandra* verilerini kullanarak ve PWN tayfına TBabs*power-law modelini uygulayarak $N_H = (13.1 \pm 0.9) \times 10^{22}$ cm⁻² ve 0.3–10 keV enerji aralığı için $L_X \approx 5.4 \times 10^{34}$ erg s⁻¹ ($d/5$ kpc)² bulmuştur. N_H ve L_X değerleri, bu çalışmada bulunan değerlerle uyumludur. *Suzaku* tayfindan elde edilen foton indeks değeri ($\Gamma \sim 1.97$) önceki çalışmalarla uyumlu ve PWN'ler için beklenen aralıkta çıkmıştır (Gaensler & Slane 2006).

4. Sonuç ve Öneriler

Kompozit SNK G12.8-0.0'nin, *Suzaku*/XIS verisi analiz edilmiş ve kalıntıdan gelen ısısal olmayan ışınım power-law modeli ile tanımlanmıştır. *Suzaku* verisi, G12.8-0.0'den ısısal bir ışınımın da gelebileceğine işaret etmiş ancak düşük foton istatistiği ve poz süresi nedeniyle bunu gösterememiştir. XRISM ve Athena simülasyonları ile kalıntının hem ısısal hem de ısısal

olmayan ışıma sahip olduğu gösterilmiştir. Gelecekte, XRISM ve Athena ile yapılacak gözlemler ile plazmadan gelen element çizgilerinin bolluk değerleri hesaplanabilir, bu da kalıntının hangi SN patlaması ile oluştuğu ve SNK'yı oluşturan yıldızın kütlesi hakkında bilgi verecektir.

Kaynakça

- Arnaud, K. A. (1996), in Jacoby G., Barnes J., eds, ASP Conf. Ser. Vol. 101, Astronomical data analysis software and systems V. Astron. Soc. Pac. 101, 17-20.
- Barret, D. et al. (2018). The ATHENA X-ray Integral Field Unit (X-IFU), in den Herder J.-W. A., Nikzad S., Nakazawa K., eds, Proc. SPIE Conf. Ser. Vol. 10699, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers. SPIE, Bellingham, p. 106991G. doi: 10.1117/12.2312409.
- Brogan, C. L., Gaensler, B. M., Gelfand, J. D., Lazendic, J. S., Lazio, T. J., Kassim, N. E., & McClure-Griffiths, N. M. (2005). Discovery of a Radio Supernova Remnant and Nonthermal X-Rays Coincident with the TeV Source HESS J1813-178. *The Astrophysical Journal*, 629, L105-L108. doi: 10.1086/491471.
- Dzib, S. A., Rodriguez, L. F., Karuppusamy, R., Loinard, L., Medina, S.-N. X. (2018). The Enigmatic Compact Radio Source Coincident with the Energetic X-Ray Pulsar PSR J1813-1749 and HESS J1813-178. *The Astrophysical Journal*, 866, 100. doi: 10.3847/1538-4357/aada07.
- Funk, S. et al. (2007). XMM-Newton observations of HESS J1813-178 reveal a composite Supernova remnant. *Astronomy & Astrophysics*, 470, 249-257. doi: 10.1051/0004-6361:20066779.
- Gaensler, B. M., & Slane, P. O. (2006). The Evolution and Structure of Pulsar Wind Nebulae. *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 44, 17-47. doi: 10.1146/annurev.astro.44.051905.092528.
- Green, D. A. (2019). A revised catalogue of 294 Galactic supernova remnants. *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 40, 36. doi: 10.1007/s12036-019-9601-6.
- Gottlieb, E. V., & Halpern, J. P. (2009). Discovery of a Highly Energetic X-Ray Pulsar Powering HESS J1813-178 in the Young Supernova Remnant G12.82-0.02. *The Astrophysical Journal Letters*, 700, L158-L161. doi: 10.1088/0004-637X/700/2/L158.
- Helfand, D. J. et al. (2007). Discovery of the Putative Pulsar and Wind Nebula Associated with the TeV Gamma-Ray Source HESS J1813-178. *The Astrophysical Journal*, 665, 1297-1303. doi: 10.1086/519734.
- Ishisaki, Y., Maeda, Y., Fujimoto, R. et al. (2007). Monte Carlo simulator and ancillary response generator of Suzaku XRT/XIS system for spatially extended source analysis. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 59, 113-132. doi: 10.1093/pasj/59.sp1.S113.
- Ishisaki, Y., Ezoe, Y., Yamada, S., et al. (2018). Resolve Instrument on X-ray Astronomy Recovery Mission (XARM). *Journal of Low Temperature Physics*, 193, 991-995.
- Koyama, K. et al. (2007). X-Ray Imaging Spectrometer (XIS) on Board Suzaku. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 59, 23-33. doi: 10.1093/pasj/59.sp1.S23.
- Messineo, M., Davies, B., Figer, D. F., Kudritzki, R. P., Valenti, E., Trombley, C., Najarro, F., Rich, R. M. (2011). Massive Stars in the CI 1813-178 Cluster: An Episode of Massive Star Formation in the W33 Complex. *The Astrophysical Journal*, 733, 41. doi: 10.1088/0004-637X/733/1/41.
- Mitsuda, K., et al. (2007). The X-Ray Observatory Suzaku. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 59, S1-S7. doi: 10.1093/pasj/59.sp1.S1.
- Nandra, K., Barret, D., Barcons, X., et al. (2013). The hot and energetic universe: A white paper presenting the science theme motivating the Athena+ mission. Athena mission proposal, arXiv:1306.2307.
- Rho, J., Petre, R. (1998). Mixed-Morphology Supernova Remnants. *The Astrophysical Journal Letters*, 503, L167-L170. doi: 10.1086/311538.
- Stone, A. G., Johnson, H. T., Blondin, J. M., et al. (2021). Type Ia Supernova Models: Asymmetric Remnants and Supernova Remnant G1.9+0.3. *The Astrophysical Journal*, 923, 233. doi: 10.3847/1538-4357/ac300f.
- Tashiro, M. et al. (2018), in Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, Vol. 10699, Proc. SPIE, 1069922.
- Tawa, N., Hayashida, K., Nagai, M. et al. (2008). Reproducibility of non-X-Ray background for the X-Ray imaging spectrometer aboard Suzaku. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 60, S11-S24. doi: 10.1093/pasj/60.sp1.S11.
- Ubertini, P. et al. (2005). INTEGRAL IGR J18135-1751 = HESS J1813-178: A New Cosmic High-Energy Accelerator from keV to TeV Energies. *The Astrophysical Journal*, 629, L109-L112. doi: 10.1086/447766.
- Uchiyama, H., Nobukawa, M., Tsuru, T.G., Koyama, K. (2013). K-Shell Line Distribution of Heavy Elements along the Galactic Plane Observed with Suzaku. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 65, 19. doi: 10.1093/pasj/65.1.19.
- Vink, J. (2012). Supernova remnants: the X-ray perspective. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 20, 49. doi: 10.1007/s00159-011-0049-1.
- Vink, J. (2020). Physics and Evolution of Supernova Remnants. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Wilms, J., Allen, A., McCray, R. (2000). On the absorption of X-rays in the interstellar medium. *The Astrophysical Journal*, 542, 914-924. doi: 10.1086/317016.
- Wosley, S. & Janka, T. (2005). The physics of core-collapse supernovae. *Nature Physics*, 1, 147-154. doi: 10.1038/nphys172.
- Wynn, C. G. Ho, et al. (2020). Proper motion, spectra, and timing of PSR J1813-1749 using Chandra and NICER. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 498, 4396-4403. doi: 10.1093/mnras/staa2653.
- XRISM Science Team 2020, Science with the X-ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM). arXiv e-prints, p. arXiv:2003.04962.