





# Süpernova Kalıntısı 3C 396'nın X-Işın Dalgaboylarında XRISM/Resolve ve Athena/X-IFU ile İncelenmesi

Cihad Deniz<sup>1</sup>  , Aytap Sezer<sup>2</sup> , Hicran Bakış<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Department of Space Sciences and Technologies, Akdeniz University, 07058, Antalya, Turkey

<sup>2</sup> Department of Computer Engineering, Avrasya University, 61250, Trabzon, Turkey

Accepted: November 7, 2022. Revised: November 7, 2022. Received: October 10, 2022.

## Özet

Kompozit morfolojili süpernova kalıntıları (SNK) merkezinde bir pulsar rüzgâr bulutsusu (pulsar wind nebula – PWN) ve yıldızlararası ortamda (YAO) genişleyen bir kabuk (shell) yapısı ile tanımlanırlar. Bu tür SNK'ların X-ışın tayflarında süpernova patlamasıyla yıldızdan atılan maddeden kaynaklanan ısısal ışımaya ve PWN'den gelen ısısal olmayan ışımaya görülmektedir. Bu nedenle, bu SNK'ların araştırılmasıyla SNK'ların evrimi, atılan maddenin ve YAO'nun yapısı hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Merkezindeki PWN ve sahip olduğu kabuk nedeniyle 3C 396 kompozit türü SNK olarak sınıflandırılmaktadır. ASCA ve Suzaku X-ışın uyduları ile yapılan önceki çalışmalar bu SNK'daki PWN'den tipik olmayan bir şekilde ısısal ve ısısal olmayan ışımaya geldiğini göstermiştir. Yüksek tayfsal çözünürlüğe sahip XRISM/Resolve ve Athena/X-IFU X-ışın uyduları ile PWN-SNK arasındaki ilişkinin araştırılması mümkün olacaktır. Bu çalışmada, 3C 396'nın Resolve ve X-IFU tayfsal simülasyonları yapılmış olup elde edilen ilk sonuçlar sunulmuştur.

## Abstract

Composite supernova remnants (SNRs) are characterized by a central pulsar wind nebula (PWN) and a shell expanding in the interstellar medium (ISM). In their X-ray spectra of these SNRs, typically thermal emission from ejected stellar matter by a supernova explosion and non-thermal emission from PWN were seen. Therefore, the composite SNRs have a critical role in investigations of ejecta, the evolution of SNRs, and the structure of the ISM. 3C 396 is classified as a composite SNR due to the PWN at its center and shell structure. According to ASCA and Suzaku X-ray data analyses, X-ray spectra of the PWN in this SNR interestingly show both thermal and non-thermal emission. XRISM/Resolve and Athena/X-IFU X-ray missions with high spectral resolution will provide the examination of interactions between PWN-SNR. In this study, Resolve and X-IFU spectral simulations of 3C 396 were performed and the first results were presented.

**Anahtar Kelimeler:** Supernova remnants – individual:3C 396 (G39.2-0.3) – Interstellar medium – X-ray emission – Simulations

## 1 Giriş

Süpernova kalıntılarının (SNK) X-ışın bandındaki tayfsal analizleri, plazmanın sıcaklığı, plazmadaki element bollukları, plazmadan gelen ışımaya doğası, yıldızlararası ortamın (YAO) fiziksel özellikleri, süpernova (SN) patlama enerjisi ve SN patlaması geçiren ata yıldızın kütlesi gibi çok sayıda fiziksel parametrenin belirlenmesini sağlamaktadır (bkz. Vink 2012, 2020). Son 30 yılda ROSAT, ASCA, Chandra, XMM-Newton ve Suzaku X-ışın uyduları ile elde edilen veriler SNK'ların birçok gözlemsel özelliğinin anlaşılmasını sağlamıştır. X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM, Tashiro ve diğ. 2018; XRISM Science Team 2020) ve Advanced Telescope for High ENergy Astrophysics (Athena, Nandra ve diğ. 2013) sırasıyla 2023 ve 2030'lu yılların sonlarında fırlatılması planlanan gelecek nesil X-ışın uydularıdır. Bu uyduların öncekilere göre daha yüksek tayfsal çözünürlüğe sahip dedektörleri ile SNK'ların ve buldukları ortamın gözlemsel özelliklerinin daha hassas olarak belirlenmesi hedeflenmektedir. Son yıllarda yapılan simülasyonlar bu görüşü desteklemiştir (Ör. Cesur ve diğ. 2019; Jacovich ve diğ. 2021; Deniz ve diğ. 2022).

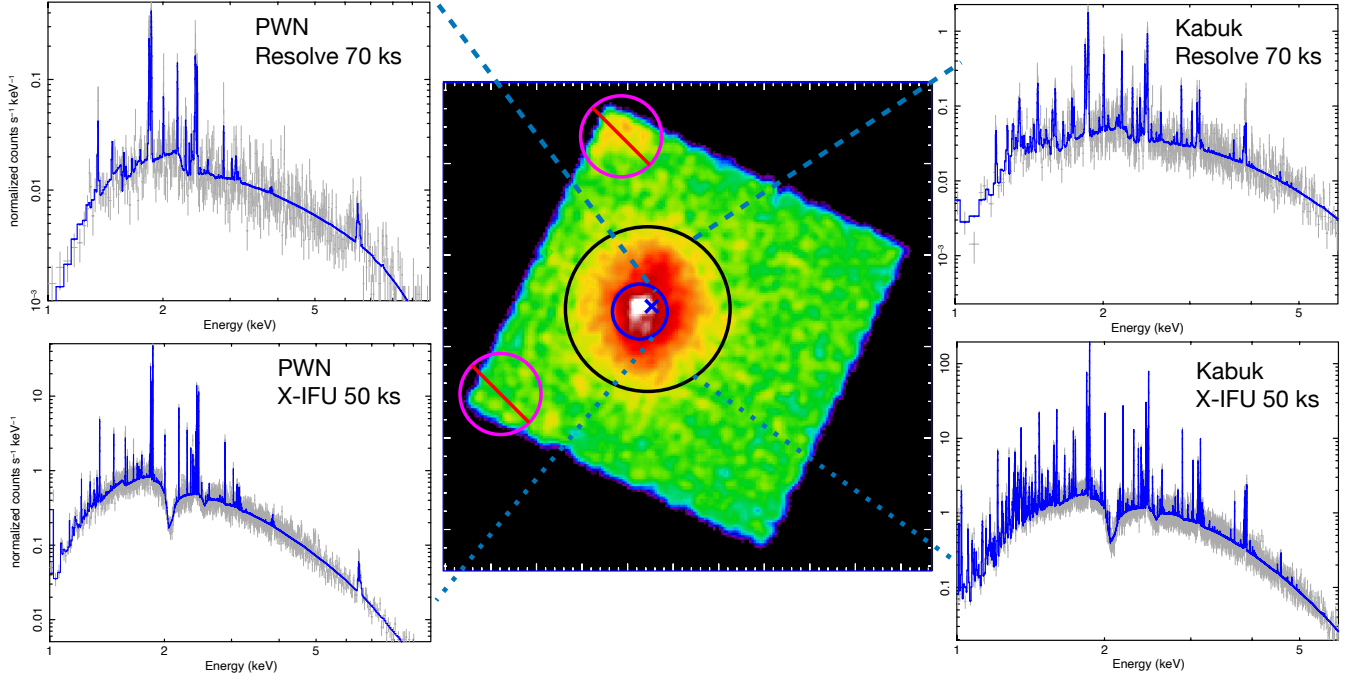
3C 396 (diğer adı ile G39.2-0.3) kabuk bölgesinden gelen

ısısal ışımaya ve merkezinde bulunan pulsar rüzgâr bulutsusundan (PWN: pulsar wind nebula) kaynaklanan ısısal olmayan ışımaya gösteren kompozit türü bir SNK'dır. İlk olarak radyo bandındaki verilerle yengeç benzeri SNK olarak sınıflandırılmıştır (Caswell ve diğ. 1975, 1982). Ancak Becker & Helfand (1987), kalıntının yengeç benzeri bir SNK olmadığını, merkezdeki ışımaya büyük olasılıkla kalıntının merkezinde bulunan bir filamentten kaynaklandığını bildirmişlerdir. ASCA X-ışın uyduları ile analiz eden Harrus & Slane (1999), X-ışın emisyonunun iki bileşenden oluştuğunu bulmuşlardır: (I) YAO ile etkileşen SN patlama dalgasından kaynaklanan  $kT_e \sim 0.62$  keV elektron sıcaklıklı ısısal ışımaya ve (II) PWN'deki yüksek enerjili elektronların sinkrotron ışımaya kaynaklanan  $\Gamma \sim 2.53$  foton indeksli ısısal olmayan ışımaya. Ayrıca, kalıntının yaşını  $\sim 7000$  yıl ve X-ışın yayan toplam kütleli de  $M_X \sim 40-300 M_\odot$  aralığında hesaplamışlardır.

3C 396'nın Chandra X-ışın uyduları ile analiz eden Olbert ve diğ. (2003) kalıntının merkezinde bir nokta kaynak tespit etmişlerdir. Ayrıca, biri doğuda ikisi batıda olmak üzere nokta kaynaktan uzakta üç uzantı daha bulmuşlardır. Henüz tespit edilmemiş bir pulsarın güçlendirdiği PWN'nin varlığından kaynaklanan ısısal olmayan ışımaya doğrulayan yazarlar, kalıntıdan ısısal bir ışımaya tespit edememişlerdir.

Radyo bandında Very Small Array (VSA) teleskobunun

\* cihad.dnz@gmail.com



**Şekil 1.** (Orta panel) 3C 396'nın 0.3-10 keV enerji bandındaki *Suzaku*/XIS enerji haritası. Siyah daire kalıntının kabuk bölgesini, mavi daire merkezdeki PWN'yi temsil etmektedir. En içteki mavi çarpı işareti ise pulsarın konumunu belirtmektedir. Köşelerde bulunan daireler  $^{55}\text{Fe}$  kalibrasyon bölgelerini göstermektedir. Görüntü logaritmik ölçekte olup Gaussian algoritması ile yumuşatılmıştır. 3C 396'nın PWN bölgesinin 1-10 keV enerji bandındaki 70 ks Resolve (sol panel, üst) ve 50 ks X-IFU (sol panel, alt) simülasyon tayfları. 3C 396'nın kabuk bölgesinin 1-6 keV enerji bandındaki 70 ks Resolve (sağ panel, üst) ve 50 ks X-IFU (sağ panel, alt) simülasyon tayfları. Sol ve sağ panellerdeki gri renkleri verileri, mavi renkli çizgiler ise modeli temsil etmektedir.

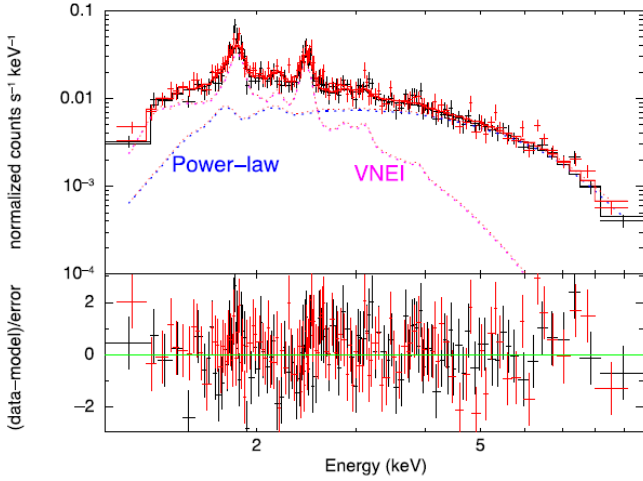
verilerini kullanarak 33 GHz frekansında anormal derecede yüksek ışımaya bildiren Scaife ve diğ. (2007), SNK'daki dönen tozdan kaynaklanan olası mikrodalga ışımalarının varlığına işaret etmişlerdir. Palomar 5 m Hale teleskobunu kullanan Lee ve diğ. (2009), 3C 396'nın yakın kızılötesi [FeII] ve  $\text{H}_2$  çizgi görüntüleme ve tayfsal gözlem verilerinden [FeII]  $1.64 \mu\text{m}$  ve  $\text{H}_2$   $2.12 \mu\text{m}$  filamentlerini tespit etmişlerdir. Bu tespiti temel alarak kalıntının Tip IIL/b SN kaynaklı olabileceğini önermişlerdir. Yazarlar ayrıca kalıntıyı çevreleyen bir molekül bulutunun (MB) varlığını bildirmişlerdir. MB'nin bu varlığı, daha sonra CO MB gözlemleri yapan Su ve diğ. (2011) tarafından doğrulanmıştır. 3C 396'nın olduğu bölgede  $V_{\text{LSR}} \sim 67\text{-}72 \text{ km s}^{-1}$  (LSR: local standard of rest) hızına sahip oyuk benzeri bir MB tespit etmişlerdir. Yazarlar ayrıca olası MB-SNK ve MB-şok etkileşimlerini bildirmişlerdir. Su ve diğ. (2011), PWN haricinde X-ışınlarında parlak olan beş ayrı bölgenin *Chandra* X-ışın tayf analizlerini yapmışlardır. Tayfi temsil etmek için kullandıkları dengede olmayan iyonizasyon (NEI: Non-Equilibrium Ionization) modeli tüm bölgelerde Si ve S element bolluklarını vermektedir. Ek olarak, analizler için seçtikleri kuzey ve güney bölgelerinde Ar ve Ca elementlerinin bolluklarını da tespit etmişlerdir. SNK'nın yaşını  $\sim 3000$  yıl ve SN patlaması geçiren ata yıldızın kütesini  $13\text{-}15 M_{\odot}$  olarak tahmin etmişlerdir. Kilpatrick ve diğ. (2016), kalıntının kuzeyinde bulunan ve batıya doğru yayılan genişlemiş CO emisyonunun varlığını tespit etmiştir.

Nobukawa ve diğ. (2018), 3C 396'nın *Suzaku* X-ışın verilerini kullanarak  $\text{FeI K}_{\alpha}/\text{FeXXV He}_{\alpha}$  akı oranlarının Galaktik Çıkmızı X-ışın Emisyonu (GRXE) ile  $1\sigma$  hata seviyesinde bir tutarlılık gösterdiğini bulmuşlardır. Sezer ve diğ.

(2020), *Suzaku* verilerini kullanarak SNK'nın kabuk ve PWN bölgeleri için X-ışın tayfını elde etmişlerdir. Kabuktan  $kT_e \sim 1.12$  keV elektron sıcaklığına sahip ve ışımanın ejektadan kaynaklandığına işaret eden Al ve Ca element bolluklu bir ısıl ışımaya tespit etmişlerdir. PWN'den gelen ışımaya ise  $\Gamma \sim 1.97$  foton indeksli ısıl olmayan ışımaya ile  $kT_e \sim 0.93$  keV elektron sıcaklıklı ısıl ışımaya kombinasyonu olarak modellemişlerdir.

SNK 3C 396, Birinci *Fermi*-LAT Süpernova Kalıntısı Kataloğunda (Acero ve diğ. 2016), gama ışın bandında tespit edilemeyen SNK'lar arasında listelenmiştir. HEGRA ve H.E.S.S. gama ışın teleskopları TeV bandında bir gama ışın tespit edememiştir (Aharonian ve diğ. 2001, 2005, Bochow 2011, H.E.S.S. Collaboration ve diğ. 2018). Sezer ve diğ. (2020), 1-300 GeV enerji aralığında 3C 396 (4FGL J1903.8+0531 – dördüncü *Fermi*-LAT katalog adı) ile ilişkili bir gama ışın fazlalığı tespit etmişlerdir. Yazarlar, 3C 396/4FGL J1903.8+0531 kaynağının konumu ve tayfsal özelliklerinden SNK kabuğunun kuzey ve batı bölgelerinde yoğun bir MB içine doğru genişlediği ve hızlandırılan protonların bu yoğun bulutlara nüfuz ederek hadronik gama ışınları ürettiği sonucuna varmışlardır. Son olarak, de Oña Wilhelmi ve diğ. (2020), *Fermi*-LAT verilerini yeniden analiz etmiş ve bunları The Milky Way Imaging Scroll Painting (MWISP)'nin radyo bandındaki tarama gözlemleri ile karşılaştırmışlardır. Yazarlar, radyo bandından GeV enerjilerine kadar olan tayfsal enerji dağılımının modellenmesiyle SNK'dan gelen gama ışınlarının hadronik kökenli olduğunu ve SNK'nın manyetik alanının en az  $\sim 100 \mu\text{G}$  olarak sınırlandırılabilirliğini bildirmişlerdir.

3C 396'nın uzaklığı ile ilgili literatürde birkaç çalışma bulunmaktadır.  $\text{H}^{\text{I}}$  soğurma gözlemlerinden faydalanarak



**Şekil 2.** 3C 396'nın PWN bölgesine ait 1-10 keV enerji aralığındaki  $\sim 70$  ks poz süreli *Suzaku* tayfı (Sezer ve diğ. 2020). Tayfa ısısal (vnei) + ısısal olmayan (power-law) model uygulanmıştır. Tayfta Si ve S element çizgileri görülmektedir.

Caswell ve diğ. (1975), 3C 396 için en düşük uzaklığı  $\sim 7.7$  kpc olarak belirlemiştir. CO ve X-ışın kolon yoğunluğu ise bu uzaklığı 6.2-8 kpc aralığında sınırlandırmıştır (Olbert ve diğ. 2003, Hewitt ve diğ. 2009, Su ve diğ. 2011). Ranasinghe & Leahy (2018), H<sup>I</sup> soğurma çizgisinden faydalanarak 3C 396'nın kinematik uzaklığını 8.5 kpc olarak güncellemiştir.

Bu çalışmada, gelecek nesil X-ışın algılayıcıları olan *XRISM*'in Resolve yumuşak X-ışın tayfölçeri (Soft X-ray Spectrometer, Resolve, Ishisaki ve diğ. 2018) ve *Athena*'nın X-IFU tayfölçeri (X-ray Integral Field Unit, X-IFU, Barret ve diğ. 2018) simülasyonları ile 3C 396'nın kabuk ve PWN bölgelerinden gelen ışımının doğası incelenmiştir. Özellikle PWN tayfindan gelen ısısal bir ışımının varlığı araştırılmış olup PWN-SNK arasındaki ilişki tartışılmıştır. Tayf simülasyonlarında *Suzaku* verileri kullanılmış olup bu veriler ve verilerin indirgenme basamakları Ş2'de özetlenmiştir. Resolve ve X-IFU tayf simülasyonları Ş3'te verilmiştir. Son olarak, Ş4'te elde edilen sonuçlar sunulmuş ve bu sonuçlar tartışılmıştır.

## 2 Gözlem ve veri indirgeme

Simülasyonlarda kullanılan *Suzaku* verileri X-ray Imaging Spectrometer (XIS, Koyama ve diğ. 2007) ile 26 Nisan 2014 tarihinde ve 509038010 gözlem numarası ile alınmıştır. Simülasyonlar için  $\sim 70$  ks poz süreli XIS1 verileri tercih edilmiştir. XIS1, *Suzaku*'nun arkadan aydınlatmalı CCD'sidir.

Tüm analizler *Heasoft* (sürüm 6.26.1) yazılımı ile yapılmış olup X-ışın görüntü oluşturulmasında *xselect* ve *ds9* kullanılmıştır. Tayf modellemesi öncesi yanıt dosyaları (RMF: Redistribution Matrix Files, ARF: Ancillary Response Files) *xismrmfgen* ve *xissarmfgen* (Ishisaki ve diğ. 2007) araçları ile oluşturulmuştur. Veriler 25'lik gruplar haline getirilerek *xspec*'te (sürüm 12.9.1, Arnaud 1996) modellenmiştir.

## 3 *Suzaku* X-ışın tayf analizi ve simülasyonlar

3C 396'nın 0.3-10 keV enerji aralığında elde edilen *Suzaku* X-ışın görüntüsü Şekil 1'in orta panelinde verilmiştir. Bu görüntüde 4.5 açı dakikalık yarıçaplı siyah daire kalıntının kabuk bölgesini, ortadaki 1.5 açı dakikalık yarıçapa sahip mavi

**Çizelge 1.** XIS, ACIS, Resolve ve X-IFU dedektörlerinin bazı özelliklerinin karşılaştırılması.

Dedektör	Enerji aralığı (keV)	Görüş alanı (FoV)	Enerji çözünürlüğü (6 keV)	Etkin alan (6 keV)
XIS	0.2-12	17'8 × 17'8	$\sim 120$ eV	1000 cm <sup>2</sup>
ACIS	0.3-12	16'9 × 16'9	$\sim 150$ eV	340 cm <sup>2</sup>
Resolve	0.3-12	3' × 3'	$\leq 7$ eV	$\geq 210$ cm <sup>2</sup>
X-IFU	0.3-12	5' (çap)	2.5 eV	2500 cm <sup>2</sup>

daire ise PWN'yi göstermektedir. Bu iki bölge tayf analizi için seçilen bölgelerdir. Merkezdeki mavi çarpı işareti ise SNK'nın merkezine yakın konumda bulunan pulsarı temsil etmektedir. İki köşede bulunan daireler <sup>55</sup>Fe kalibrasyon bölgeleridir ve analizlere dahil edilmemiştir.

Tayf analizlerinde ilk olarak X-ışın tayfına katkı yapan ardalan düzeltmesi Sezer ve diğ. (2020)'deki yöntem izlenerek yapılmıştır. XIS1 verilerinin modellenmesinde Sezer ve diğ. (2020)'de olduğu gibi kabuk bölgesinde vnei modeli, PWN bölgesinde ise vnei+power-law modeli kullanılmıştır. Bu modeller *xspec* içinde .xcm uzantılı dosya olarak kabuk ve PWN için ayrı ayrı kaydedilmiştir. Bir sonraki basamakta ise fakeit komutu kullanılarak simülasyon işlemleri başlatılmıştır. Bu basamakta Resolve ve X-IFU yanıt dosyaları girdi olarak kullanılmıştır. Resolve ve X-IFU dedektörleri için simüle edilen tayflar Şekil 1'in sol ve sağ panelinde sunulmuştur.

## 4 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada kompozit türü SNK'lardan biri olan 3C 396'nın *XRISM* ve *Athena* simülasyonları yapılmıştır (bkz. Şekil 1). Gelecek nesil X-ışın dedektörleri *XRISM*/Resolve ve *Athena*/X-IFU ile *Suzaku*/XIS ve *Chandra*/ACIS'in karşılaştırma amaçlı bazı özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çizelgeden de görülebileceği üzere, Resolve ve X-IFU dedektörleri, XIS'den sırasıyla  $\sim 17$  ve 48 kat, ACIS'ten ise  $\sim 21$  ve 60 kat daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Bu çözünürlük farkının X-ışın tayflarında gizli kalan element bollukları ve plazma durumu gibi bazı bilgileri açığa çıkarması beklenmektedir.

Şekil 2'de *Suzaku* X-ışın uydur verilerinden elde edilen 3C 396'nın PWN bölgesine ait X-ışın tayfı (Sezer ve diğ. 2020) verilmiştir. *Suzaku* tayfı ile simülasyon tayfları (Şekil 1) kıyaslandığında aşağıdaki farklar görülmektedir.

- Suzaku* tayfındaki veri (artı işaretleri) sayısı ile simülasyon tayflarındaki karşılaştırıldığında simüle tayfların çok daha fazla sayıda veriye sahip olduğu görülmektedir. Bu da tayflardaki daha çok yapının çözümlenebilmesine ve tayfsal modellerin daha doğru sonuçlar vermesine olanak tanır. Bu veri fazlalığının temel sebebi Resolve ve X-IFU dedektörlerinin daha yüksek enerji çözünürlüğüne sahip olmasıdır. Ayrıca, tayfin belirli bir keV enerjisindeki birim saniyedeki normalize foton sayımları (y eksenleri) karşılaştırıldığında, (I) iki tayfin da aynı poz sürelerine sahip olmalarına rağmen Resolve simülasyon tayfinin (70 ks), XIS tayfindan ( $\sim 70$  ks) daha fazla foton sayımına sahip olduğu, (II) daha düşük poz süresi olmasına karşın X-IFU simülasyon tayfinin (50 ks), XIS tayfindan daha fazla foton sayımının olduğu görülmektedir.
- Resolve ve X-IFU simülasyonları XIS tayfında çözümlenmemiş H-benzeri ve He-benzeri geçişler sonucu

oluşan bir çok element çizgisini çözümlenmiştir. Bu çizgiler Şekil 1'de (sol ve sağ panel) belirli bir enerjideki pik olarak görülebilen Ne ( $\sim 1-1.2$  keV), Mg ( $\sim 1.3-1.8$  keV), Si ( $\sim 1.9-2.5$  keV), S ( $\sim 2.4-3.2$  keV), Ar ( $\sim 3.8-5.1$  keV), Ca ( $\sim 3.1-4.2$  keV) ve Fe ( $\sim 6.5$  keV) element çizgileridir.

Bu sonuçlar da göstermektedir ki PWN'den gelen ısısal ışımının kökeninin araştırılması için yüksek çözünürlüklü tayflara ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, PWN'ler genellikle bir power-law modeli ile tanımlanabilen ısısal olmayan ışımaya yaparlar (ör. [Gaensler & Slane 2006](#)). PWN tayfında buna ek olarak ısısal ışımının varlığı SNK'nın iç kısımlarındaki maddeyi ve SNK ters şoku ile PWN arasındaki etkileşimi gösterir ([Gaensler & Wallace 2003](#); [Borkowski ve diğ. 2016](#)). Bu çalışmada elde edilen simülasyon tayfları, Şekil 1'de görüldüğü üzere PWN bölgesinden pek çok element çizgi salmasını da açığa çıkarmıştır. PWN tayfından gelen bu ısısal ışımaya 3C 396'nın kabuk bölgesi ile PWN'nin etkileşimi ile açıklanabilir.

Gelecekte yüksek çözünürlüğe sahip dedektörler ile SNK X-ışın tayflarında görülen element bolluklarının hassas ölçümü ve mevcut teorik modeller (ör. [Woosley & Weaver 1995](#)) kullanılarak SN patlama türü ve SN patlaması veren yıldızın kütlesi belirlenebilir.

#### Kaynaklar

- Acerio F. ve diğ., 2016, ApJS, 224, 8  
 Aharonian F. A. ve diğ., 2001, A&A, 375, 1008  
 Aharonian F. ve diğ., 2005, A&A, 439, 635  
 Arnaud K. A. 1996, in ASP Conf. Ser. 101, Astronomical Data Analysis Software and Systems V, ed. G. H. Jacoby & J. Barnes (San Francisco, CA: ASP), 17  
 Barret D. ve diğ., 2018, SPIE, 10699, 106991G.  
 Becker R. H., Helfand D. J., 1987, AJ, 94, 1629  
 Bochow A., 2011, PhDT  
 Borkowski K.J., Reynolds S.P., Roberts M.S.E., 2016, ApJ, 819, 160  
 Caswell J. L., Murray J. D., Roger R. S., Cole D. J., Cooke D. J., 1975, A&A, 45, 239  
 Caswell J. L., Haynes R. F., Milne D. K., Wellington K. J., 1982, MNRAS, 200, 1143  
 Cesur N., Sezer A., de Plaa J., Vink J., 2019, AdSpR, 64, 759  
 de Oña Wilhelmi E., Sushch I., Brose R., Mestre E., Su Y., Zanin R., 2020, MNRAS, 497, 3581  
 Deniz C., Sezer A., Bakis H., Raycheva N. C., 2022, AdSpR, 69, 2342  
 Gaensler B.M., Slane P.O., 2006, ARA&A 44, 17  
 Gaensler B.M., Wallace B.J., 2003, ApJ, 594, 326  
 H. E. S. S. Collaboration ve diğ., 2018, A&A, 612, A1  
 Hewitt J. W., Rho J., Andersen M., Reach W. T., 2009, ApJ, 694, 1266  
 Harrus I. M., Slane P. O., 1999, ApJ, 516, 811  
 Ishisaki Y. ve diğ., 2007, PASJ, 59, 113  
 Ishisaki, Y. ve diğ., 2018, J Low Temp Phys, 193, 991–995  
 Jacovich T., Patnaude D., Slane P., Badenes C., Lee S.-H., Nagataki S., Milisavljevic D., 2021, ApJ, 914, 41  
 Koyama K. ve diğ., 2007, PASJ, 59, 23  
 Kilpatrick C. D., Biegging J. H., Rieke G. H., 2016, ApJ, 816, 1  
 Lee H.-G., Moon D.-S., Koo B.-C., Lee J.-J., Matthews K., 2009, ApJ, 691, 1042  
 Nandra K. ve diğ., 2013, arXiv, arXiv:1306.2307  
 Nobukawa K. K. ve diğ., 2018, ApJ, 854, 87  
 Olbert C. M., Keohane J. W., Arnaud K. A., Dyer K. K., Reynolds S. P., Safi-Harb S., 2003, ApJ, 592, L45  
 Ranasinghe S., Leahy D. A., 2018, AJ, 155, 204.  
 Scaife A. ve diğ., 2007, MNRAS, 377, L69  
 Sezer A., Ergin T., Cesur N., Tanaka S. J., Kisaka S., Ohira Y., Yamazaki R., 2020, MNRAS 492, 1484

- Su Y., Chen Y., Yang J., Koo B.-C., Zhou X., Lu D.-R., Jeong I.-G., DeLaney T., 2011, ApJ, 727, 43  
 Tashiro M. ve diğ., 2018, SPIE, 10699, 1069922  
 Vink J., 2012, A&ARv, 20, 49  
 Vink J., 2020. Physics and Evolution of Supernova Remnants. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.  
 XRISM Science Team 2020, Science with the X-ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM). arXiv e-prints, p. arXiv:2003.04962.  
 Woosley S. E., Weaver T. A., 1995, ApJS, 101, 181

#### Access:

M23-0301: [Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.](#)