

# GLEAM Gözlemlerinde Keşfedilen Üç Süpernova Kalıntısının Gama Işını Dalgaboylarında Araştırılması

Berfin Mina Meşe<sup>1</sup>  , Tülün Ergin<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kuzey Kıbrıs Kampüsü, 99738 Kalkanlı, Güzelyurt, KKTC

Accepted: December 22, 2022. Revised: December 7, 2022. Received: November 14, 2022.

## Özet

Murchison Widefield Array'in gerçekleştirdiği GLEAM (Galactic and Extra-galactic All-sky) gözlemleri 2019 yılında,  $345^\circ < l < 60^\circ$  ve  $180^\circ < l < 240^\circ$  boylamlarında bulunan 27 yeni aday radyo süpernova kalıntısı (SNK) keşfetti. Bu aday radyo SNK'larının gama ışını karşılıklarını tayin edebilmek için, 1–300 GeV enerji aralığındaki 14 yıllık *Fermi*-LAT verilerini analiz ettik. Analizlerimiz sonucunda, G18.9-1.2, G23.1+0.1 ve G28.3+0.2 SNK'larının, gama ışınlarında nokta kaynak olarak görüldüklerini ve sinyal arka-alan oranlarının,  $\sim 9\sigma$ ,  $\sim 13\sigma$  ve  $\sim 11\sigma$  düzeylerinde olduğunu tespit ettik. Bu çalışmada, G18.9-1.2, G23.1+0.1 ve G28.3+0.2 kalıntıları için yaptığımız gama analizlerinin sonuçlarını açıklıyoruz.

## Abstract

GLEAM (Galactic and Extragalactic All-sky) observations by Murchison Widefield Array discovered 27 new candidate radio supernova remnants (SNRs) in 2019, located at longitudes  $345^\circ < l < 60^\circ$  and  $180^\circ < l < 240^\circ$ . To determine the gamma-ray emission from these candidate radio SNRs, we analyzed 14 years of *Fermi*-LAT data in the energy range of 1 – 300 GeV. As a result of our analyses, we found that G18.9-1.2, G23.1+0.1 and G28.3+0.2 SNRs appear as point sources in gamma rays and the significance level is found to be  $\sim 9\sigma$ ,  $\sim 13\sigma$  and  $\sim 11\sigma$  respectively. In this study, we describe the results of our gamma analyses for G18.9-1.2, G23.1+0.1 and G28.3+0.2.

**Anahtar Kelimeler:** Gamma-rays: ISM, gamma-rays: general, radio continuum: general

## 1 Giriş

Samanyolu'nda bulunan süpernova kalıntısı (SNK) sayılarına dair istatistiksel çalışmalar, bu sayının 1000-2000 civarında olması gerektiğini göstermektedir (Tammann et al. 1994). Ancak gözlemlenmiş SNK sayısı yalnızca birkaç yüz tane dir. Muhtemelen bu farkın nedeni gözlemsel araştırmalardaki yetersizliklerdir. İstatistiksel olarak çoğu SNK radyo dalga boyunda keşfedilmiş olduğundan, radyo araştırmaları SNK keşfinde hayati önem taşır. Murchison Geniş-Alan (MWA) teleskobu, batı Avustralya'da bulunan bir radyo teleskobudur. Geniş bir görüş alanına sahip olan teleskop, 80-300 MHz bandında gözlem yapmaktadır. SNK'larının tespitleri Galaktik ve Ekstra-Galaktik Tüm-Gökyüzü MWA (GLEAM) verisi ile yapılmıştır. Olası bir taraflılığı engellemek amacı ile kör bir inceleme yapılmıştır. Aday SNK'larını tespit etmek amacıyla GLEAM araştırmasının Samanyolu verileri ile ilgili yayınına baz alan iki makale yayımlanmıştır. İlk makalede (Hurley-Walker, Natasha, et al. 2019a), ikinci makale (Hurley-Walker, Natasha, et al. 2019b) ile aynı gökada boylamında olan 101 aday radyo SNK'sı tespit edilmiştir. İkinci ve daha güncel olan makaledeyse,  $345^\circ < l < 60^\circ$  ve  $180^\circ < l < 240^\circ$  gökada boylamı aralıklarında olan 27 yeni aday radyo SNK'sı sunulmuştur. Bu kaynaklardan 6 tanesinin atarca ile ilişkileri bulunmaktadır ve aynı zamanlarda oluştuğu var sayılarak, bu ilişkiler SNK'sının yaşının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmamızda, radyo dalgaboyunda keşfedilmiş olan

bu 27 SNK adayının gama ışını bandında analizleri yapılmıştır. Bir elektromanyetik dalga türü olan gama ışınları, 50 keV'den büyük enerjilere sahiptirler ve SNK'ları, atarca ve aktif galatik çekirdeğe sahip gökadalara gibi astronomik cisimler tarafından oluşturulmaktadır. Gama ışınları, *Fermi* Gama Işını Uzak Teleskobu gibi uzay teleskopları tarafından gözlemlenebilmektedir. *Fermi* üzerinde iki tip algıç bulunmaktadır: Geniş Alan Teleskobu (LAT) ve Gama ışını Patlama Monitörü (GBM). *Fermi*'nin ana algıç olan LAT, 20 MeV'den 300 GeV'ye uzanan bir enerji aralığında ve 10 GeV'den yüksek enerjiler için 0.15° açısal çözünürlük ile çalışmaktadır. *Fermi*'nin en güncel kataloğu olan 8 yıllık veri ile oluşturulmuş, 4. *Fermi*-LAT Gama Işını (4FGL) Kataloğu'nun enerji aralığı 50 MeV ile 1 TeV arasındadır. 4FGL kataloğundaki enerji çözünürlüğü, enerji aralığının neredeyse tamamında %15'ten daha iyidir (Abdollahi et al. 2020).

GLEAM araştırmasının yayımladığı 27 yeni radyo SNK adayının konumlarının, 14 yıllık *Fermi*-LAT verisi ile analiz edilmesi sonucunda (Meşe et al. 2022) yalnızca G18.9-1.2, G23.1+0.1, ve G28.3+0.2 kaynaklarından dikkate değer bir ışına tespit edilmiştir ve bu kaynaklar Çizelge 1'de gösterilmiştir.

### 1.1 G18.9-1.2

İlk kez radyo dalga boyunda keşfedilen bu kaynak, G18.95-1.1 olarak adlandırılmıştır (Fürst et al. 1985). Kaynağın GLEAM tarafından belirlenen ve bu çalışmada kullanılan konumunun sağ açıklığı (S.A.)  $277.517^\circ$  ve dik açıklığı (D.A.)  $-13^\circ$ 'dir. Kaynağın genişlik değerleri, asal ve yedek eksen olarak sırasıyla

\* minamese3@gmail.com

**Çizelge 1.** GLEAM kataloğundan seçtiğimiz ve gama ışınlarını analiz ettiğimiz aday SNK'larının 4FGL kataloğundaki karşılıkları

SNK Adı	İlişkili olduğu 4FGL kaynağı	S.A.	D.A.
G18.9-1.2	4FGL J1829-1256	277.517°	-13°
G23.1+0.1	4FGL J1832.4-0847	278.179°	-8.633°
G28.3+0.2	4FGL J1842.5-0359	280.592°	-3.966°

68 ve 60 yay dakikasındır. Kuzeyden saat yönünün tersine konum açısı ise 355°'dir (Hurley-Walker, Natasha, et al. 2019b). SNK'nın yaklaşık yaşı 2800-6100 yıl, ve yaklaşık uzaklığı 1.6-2.5 kilo-parsektir (Ranasinghe et al. 2019). Yüksek enerjilerde ilk kez X-ışınlarında ROSAT tarafından keşfedilen bu kaynak, gama ışınlarında ilk kez *Fermi*-LAT tarafından tespit edilmiştir ve 3FGL J1829.7-1304 olarak adlandırılmıştır (Aschenbach et al. 1991). Kaynağın, kabuk türü bir SNK olan SNR G018.9-01.1 ile ilişkili olduğu bilinmektedir (Acero et al. 2015). Kaynağın konumu, 4FGL J1829-1256 kaynağı ile çakışmaktadır. Bu bölgede, kaynağın ilişkili olduğu düşünülen bir atarca rüzgar bulutsusu (PWN) ve atarca adayı olan CXOU J182913.1-125113 da bulunmaktadır. Ayrıca kaynağın bir molekül bulutu ile olası bir etkileşimi de bulunmaktadır (Hewitt et al. 2009) (Traverso et al. 1999). Chandra (Tüllmann et al. 2010), ROSAT ve ASCA (Harrus et al. 2004) teleskopları tarafından geniş kaynak olarak tespit edilse de, *Fermi*-LAT tarafından henüz geniş kaynak olduğu tespit edilmemiştir.

## 1.2 G23.1+0.1

G23.1+0.1 kaynağının GLEAM tarafından belirlenen ve bu çalışmada kullanılan konumunun S.A. ve D.A. değerleri sırasıyla 278.179° ve -8.633°'dir. Kaynağın asal ve yedek eksen genişliği 26'şar yay dakikasındır. Kuzeyden saat yönünün tersine konum açısı ise 0°'dir (Hurley-Walker, Natasha, et al. 2019b). Kaynak High Energy Spectroscopic System (H.E.S.S.) tarafından gama ışınlarında, TeV enerjilerinde gözlemlenmiş ve HESS J1832-085 olarak isimlendirilmiştir (Abdalla et al. 2018). G23.1+0.1 ve HESS J1832-085 kaynaklarının konumlarının kısmen çakıştığı bir bölgede gama ışını emisyonu olduğu tespit edilmiştir (Ergin et al. 2021). Kaynağın konumu, 4FGL J1832.4-0847 kaynağı ile de çakışmaktadır.

## 1.3 G28.3+0.2

G28.3+0.2 kaynağının GLEAM tarafından belirlenen ve bu çalışmada kullanılan konumunun S.A ve D.A. değerleri sırası ile 280.592° ve -3.966°'dir. Kaynağın asal ve yedek eksen genişliği 14'şer yay dakikasındır. Kuzeyden saat yönünün tersine konum açısı ise 0°'dir. Kaynak, en genç olanı yaklaşık 56000 yaşında olan PSR J1841-0345 ve üç diğer atarca ile yakın konumda bulunmaktadır (Morris et al. 2002). Kalıntının bu atarcalar ile ilişkisi olma ihtimali olsa da, kesin olmadığı için SNK'nın yaşı ve uzaklığı belirlenebilmiş değildir (Hurley-Walker, Natasha, et al. 2019b). Kabuk türü bir SNK olan bu kaynağın konumu, 4FGL J1842.5-0359 ile de çakışmaktadır. Kaynağın, gökada dışı bir radyo kaynağı olan NVSS J184240-035858 ile de konumu çakışmakla birlikte ikisinin arasında bir ilişki bulunamamıştır (Condon 1998).

## 2 Metot

GLEAM'in keşfettiği 27 yeni aday radyo SNK'larının konum bilgileri kullanılarak, bu bölgeler 14 yıllık *Fermi*-LAT verisi ile

1-300 GeV enerji aralığında analiz edilmiştir. Aday 27 SNK'nın yalnızca üç tanesinde (G18.9-1.2, G23.1+0.1 ve G28.3+0.2) TS değeri 25 ve üzeri olan kalıntı tespit edilmiştir. Aşağıda analizin detayları açıklanmıştır.

### 2.1 Verigi İndirgeme ve Analiz Araçları

Kullanılan *Fermi*-LAT verisi G18.9-1.2 kaynağı için 04.08.2008 ve 29.04.2022 tarihleri arasında, G23.1+0.1 kaynağı için 04.08.2008 ve 06.02.2022 tarihleri arasında, ve G28.3+0.2 kaynağı için 04.08.2022 ve 29.04.2022 tarihleri arasında alınmıştır. Yaklaşık 14 yıllık olan veri setleri tüm kaynaklar için 0.2-300 GeV enerji aralığındadır. Veri setleri, merkezinde her bir kalıntının konumunun yer aldığı 20°'lik dairesel bir bölge (ROI) olarak seçilmiştir. Analizde *Fermi* 8 yıllık kaynak kataloğu olan LAT\_extended\_sources\_8years.fits kataloğu kullanılmıştır. Veri indirilmesi, NASA tarafından sağlanan *fermitools* paketinin 1.2.23'üncü ve *fermipy* paketinin 0.17.4'üncü sürümleriyle yapılmıştır. Gökyüzü test istatistik (TS) haritaları, bir görüntüleme ve görselleştirme programı olan *DS9* aracılığıyla yapılmıştır. Burada TS, incelenen noktada bir kaynak olma olasılığının, olmama olasılığına oranıdır. TS değerinin kare kökü, sinyal arka alan oranını ( $\sigma$ ) vermektedir.

Veri indirgeme için kullanılan *fermitools* paketi ile olay<sup>1</sup> seçimi ve zaman seçimi yapılmıştır. Temel olarak veri setinin zaman, enerji, konum ve maksimum başucu noktası açısı değerlerinin seçimi için *gtselect* komutu kullanılmıştır. Bu işlemin sonucunda bir aralıklı ("binned") ve filtrelenmiş FITS dosyası oluşturulmuştur. Büyük veri setleri ile çalışırken aralıklı olası analiz, aralıklı olmayana göre avantaj sağladığından dolayı, bu veri setinin analizinde bu yol tercih edilmiştir. Veri setinin alt enerji sınırlarındaki düşük istatistiklerden kaynaklanan hata paylarının büyüklüğü sebebiyle enerji aralığı bu aşamada 1-300 GeV olarak kısıtlanmıştır. Ayrıca maksimum baş ucu noktası açısı 90° olacak şekilde kesilmiştir. Zaman seçimi için ise *gtmktime* kullanılmıştır. Bu komut, uzay aracının parametrelerini kesmek ve En-Uygun-Zaman-Aralığını (GTI) güncellemek için kullanılmıştır.

### 2.2 Arka Alan Oluşturulması

Öncelikle olay verisine bir kısıtlama uygulanmış ve bu veri kullanılarak bir gama ışını sayım haritası oluşturulmuştur. Gökadamız içindeki yıldızlararası ortam emisyon modeli olarak *gll\_iem\_v07.fits* ve izotropik şablon<sup>2</sup> olarak *iso\_P8R3\_SOURCE\_V2\_v1.txt* kullanılarak bir XML dosyası oluşturulmuştur. Bu dosya, oluşturduğumuz arka alan modelini veriye uydurarak model parametrelerimizi belirleyebilmek için kullanılmaktadır. *Fermi*-LAT internet sitesinden, FITS dosyası olarak 4FGL noktasal kaynak kataloğu (*gll\_psc\_v22.fit*) ve *make4FGLxml.py* adlı Python kodu indirilmiş ve XML dosyasının oluşturulmasında kullanılmıştır. 4FGL kataloğuna karşılık gelen geniş kaynak şablon arşivi (LAT\_extended\_sources\_8years.tgz) *Fermi*-LAT internet sitesinden indirilmiştir. Son olarak ise yine *Fermi*-LAT internet sitesinden gama ışını kaynaklarının isimlerini, konum bilgilerini ve gökyüzü haritalarındaki

<sup>1</sup> Gama ışınları astronomisinde, algıca girip kaydedilen her kozmik gama ışını bir parçacık yağmuru oluşturmaktadır, ki bu duruma gama ışınları terminolojisinde "olay" adı verilmektedir.

<sup>2</sup> Gökadamız dışındaki olası gama ışını arka alan kaynaklarını temsil etmektedir.

görsel hata paylarını gösteren alan dosyalar indirilmiştir. DS9 programı ile açılabilen bu dosyalar, 4FGL kaynakları için `gll_psc_v21.reg`, 4FGL kaynaklarının hata elipsleri için `gll_psc_v2_e11.reg` ve başka kataloglardaki ilişkili kaynaklar için `gll_psc_v22_assoc.reg`'dir. Veri seti, `gtlike` komutu çalıştırılarak olasılık analizinin yapılmasına hazır hale getirilmiştir.

### 2.3 Gökyüzü Haritası Oluşturulması ve Genişlik Çalışması

Fit parametreleri kullanılarak ROI'nin bir gökyüzü TS haritası oluşturulmuş ve DS9 programı ile görüntülenmiştir. Seçilen SNK'ların en iyi konumlarını bulabilmek için `localize`, ve kaynağın genişliğini en iyi şekilde modelleyebilmek için ise `extension` komutları kullanılmıştır, ki `extension` komutu, iki adet uzamsal 2-boyutlu model içerir: *RadialGaussian* ve *RadialDisk*. Veriye en uyumlu modeli tespit etmek için istatistiksel metotlar kullanılarak,  $TS_{ext}$ <sup>3</sup> değerinin 25 üzerinde olması halinde, en yüksek değeri veren uzamsal model seçilir. Her bir SNK için kullanılan tayf modeli olarak, 4FGL kataloğunda ilgili SNK'ya karşılık gelen kaynağın tayf modeli kullanılmıştır. Aşağıda formülleri verilen bu modeller G18.9-1.2 ve G28.9+0.2 için *LogParabola*,

$$\frac{dN}{dE} = N_0 \frac{E}{E_b}^{-\left[\alpha + \beta \log\left(\frac{E}{E_b}\right)\right]} \quad (1)$$

G23.1+0.1 kaynağı için ise kuvvet kanunudur (yani *PowerLaw*).

$$\frac{dN}{dE} = N_0 \left(\frac{E}{E_0}\right)^{-\gamma} \quad (2)$$

Yukarıdaki *LogParabola* ve *PowerLaw* formüllerinin birimleri sırası ile  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MeV}^{-1}$  ve  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MeV}^{-1}$ 'dir. Yukarıdaki formüllerde  $E_b$  ölçek parametresi,  $N_0$  normalizasyon parametresi,  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  tayfsal modelin indeksleridir. SNK'ların genişliğinin modellenmesi esnasında, ilişkili 4FGL kaynağının parametreleri ( $N_0$ ,  $\alpha$  ve  $\beta$ ) ve genişlik ile ilgili parametre serbest bırakılmıştır. İlgili 4FGL kaynağı arka alan modelinden silindikten sonra her bir SNK için bir gökyüzü TS haritası oluşturulmuştur. Sonra, bulunan en iyi konum koordinatları kullanılarak her bir SNK tekrardan arka alana nokta kaynak olarak eklenmiştir. Yeniden eklenen kaynakların tayf tipleri ise karşılık gelen 4FGL kaynaklarının tayf tipleri ile aynı olacak şekilde, G18.9-1.2, G23.1+0.1 ve G28.3+0.2 için sırasıyla *LogParabola*, kuvvet kanunu (*PowerLaw*) ve *LogParabola* olarak seçilmiştir.

### 3 Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmamızda, GLEAM tarafından keşfedilen G18.9-1.2, G23.1+0.1 ve G28.3+0.2 SNK'larının gama ışınlarında karşılıkları bulunarak analiz edildi. Her bir kalıntı, 1-300 GeV enerji aralığında uzamsal olarak noktasal kaynak kabul edildiğinde ve enerji tayflarının, G18.9-1.2 ve G28.9+0.2 için *LogParabola* ve G23.1+0.1 için kuvvet kanunu (*PowerLaw*) olduğu varsayıldığında bulunan en iyi konum değerleri, derece

<sup>3</sup>  $TS_{ext}$ , genişlik parametresinin TS değeridir. Kaynağın noktasal bir kaynak olma olasılığının ( $L_{pt}$ ), geniş bir kaynak olma olasılığına ( $L_{ext}$ ) oranı ile hesaplanır:  $TS_{ext} = -2 \log(L_{ext}/L_{pt})$ . Bir gama ışını kaynağının geniş kaynak olarak tespit edilebilmesi için  $TS_{ext}$  değerinin en az 25 olması gerekmektedir.

Çizelge 2. *RadialDisk* geniş kaynak modellerinin sonuçları.

SNK adı	En iyi fit uzantısı	$TS_{ext}$
G18.9-1.2	$0.0998^\circ + 0.0404^\circ - 0.0551^\circ$	1.527
G23.1+0.1	$0.0955^\circ + 0.0230^\circ - 0.0215^\circ$	8.345
G28.3+0.2	$0.1020^\circ + 0.0244^\circ - 0.0284^\circ$	5.211

Çizelge 3. *RadialGaussian* geniş kaynak modellerinin sonuçları.

SNK adı	En iyi fit uzantısı ve hataları	$TS_{ext}$
G18.9-1.2	$0.0868^\circ + 0.0409^\circ - 0.0525^\circ$	1.417
G23.1+0.1	$0.0993^\circ + 0.0268^\circ - 0.0275^\circ$	8.153
G28.3+0.2	$0.0968^\circ + 0.0268^\circ - 0.0292^\circ$	5.048

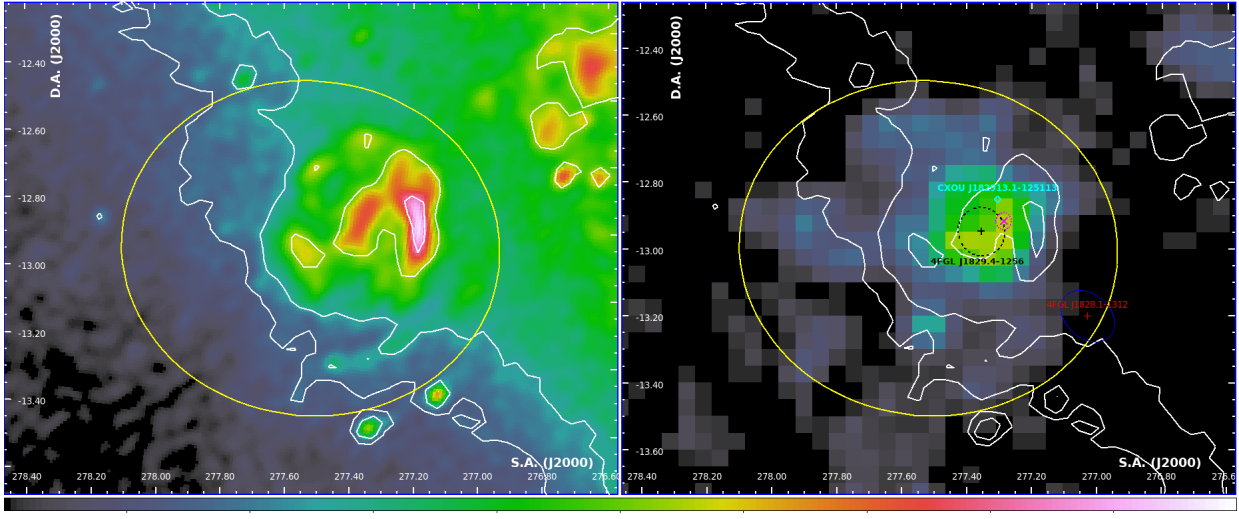
cinsinden sırasıyla (S.A., D.A.) = (277.286, -12.919), (280.657, -4.080) ve (278.109, -8.757)'dir. Bulunan en iyi konumlarda, sinyal arka alan oranı sırasıyla  $\sim 9\sigma$ ,  $\sim 11\sigma$  ve  $\sim 13\sigma$  düzeylerinde tespit edildi. En iyi konum bilgileri, yıllar içinde biriken *Fermi*-LAT verisi sayesinde artan istatistik ile, ışınımın konumunun daha iyi tespit edilebilmesi ile elde edilmiştir. Bu nedenle de Şekil 1, 2 ve 3'te görüldüğü üzere, 3 SNK için de, bulunan en iyi konumun hata elipsi, her bir SNK'ya karşılık gelen 4FGL kaynağınınkinden daha küçüktür. Bulduğumuz en iyi konumların ve karşılık gelen 4FGL kaynaklarının hata elipslerinin çakışıyor olması, sonuçlarımızın tutarlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bulduğumuz en iyi sonuçlar, GLEAM kataloğunda verilen genişlikler ile uyumludur.

G18.9-1.2, G23.1+0.1 ve G28.3+0.2 kaynaklarına uygulanan noktasal kaynak modelleriyle oluşturulan TS haritaları sırasıyla Şekil 1, 2 ve 3'ün sağ panellerinde gösterilmektedir. Şekillerin sol panellerinde ise, aynı kaynakların radyo dalga boyundaki GLEAM verisi ile oluşturulmuş gökyüzü haritaları gösterilmektedir.

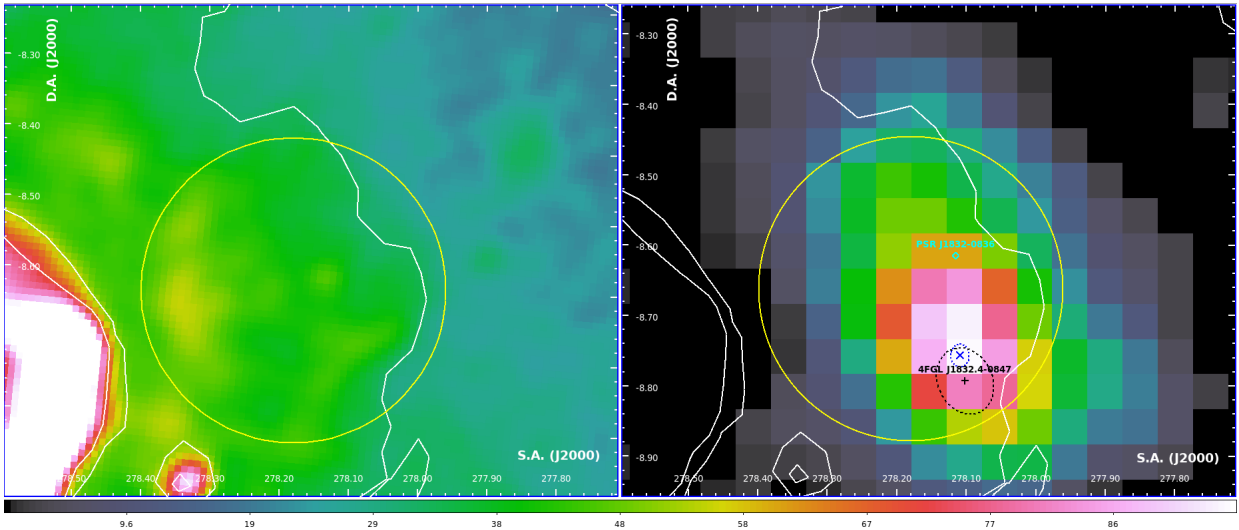
Her üç SNK için bulunan en iyi konum bilgileri kullanılarak denenmiş olan uzamsal modellerin sonuçları, *RadialDisk* ve *RadialGaussian* için sırasıyla Çizelge 2 ve 3'te verilmektedir. Çizelgelerdeki SNK ve model çiftlerinin  $TS_{ext}$  değerleri  $5\sigma$ 'dan düşük olduğu için, bu kalıntıların noktasal gama kaynakları oldukları sonucuna varılmıştır.

1-300 GeV enerji aralığında G18.9-1.2, G23.1+0.1 ve G28.3+0.2 için bulunan enerji akısı değerleri  $\text{MeV cm}^{-2} \text{s}^{-2}$  cinsinden sırasıyla  $(4.49 \pm 0.49) \times 10^{-6}$ ,  $(8.39 \pm 0.65) \times 10^{-6}$  ve  $(7.17 \pm 0.73) \times 10^{-6}$  dır. Toplam foton akıları ise foton  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-2}$  cinsinden, sırası ile  $(2.41 \pm 0.26) \times 10^{-9}$ ,  $(3.42 \pm 0.27) \times 10^{-9}$  ve  $(4.17 \pm 0.31) \times 10^{-9}$  olarak bulunmuştur. Bu hesaplamalarda, her üç SNK'nın da uzamsal olarak nokta kaynak oldukları varsayılmıştır. Ayrıca, enerji tayflarının, G18.9-1.2 ve G28.9+0.2 için *LogParabola* ve G23.1+0.1 için kuvvet kanunu (*PowerLaw*) olduğu varsayılmıştır.

Şekil 1'de sol paneldeki GLEAM verisinde, G18.9-1.2 SNK'sının kabuk benzeri bir şekli olduğu görülmektedir. Bu da daha önce yapılmış çalışmaların sonuçlarıyla (Fürost et al. 1985) uyusmaktadır. Radyo dalga boyunda ve yüksek enerjilerde elde edilen verilerde kalıntının konumlarının çakışıyor olması, kalıntıda bulunan CXOU J182913.1-125113 atarcasının oluşturduğu relativistik elektronların muhtemelen synchrotron emisyonu yaptığına işaret etmektedir. Bu ışınım hem radyo dalga boyunda, GLEAM tarafından hem de X-ışınları ve gama ışınları gibi yüksek enerjilerde gözlemlenebilmektedir. Bu SNK



**Şekil 1.** G18.9-1.2 kaynağının GLEAM konumu merkezde olmak üzere, sol panelde analiz bölgesinin radyo verisi görüntüsü, sağ panelde ise *Fermi*-LAT verisi ile 1-300 GeV enerji aralığında oluşturulmuş gökyüzü TS haritası görülmektedir. Alttaki renk ölçeği, sağ paneldeki gökyüzü TS haritasına aittir. Kaynağın beyaz çizgiler ile gösterilen radyo kontürü 0.45, 0.75, 1.5, 2.25 ve 3 Jy beam<sup>-1</sup> seviyelerine karşılık gelmektedir. Sarı elips, G18.9-1.2 kaynağının GLEAM verisinde elde edilen genişliğini göstermektedir. 4FGL J1829.4-1256 arka alan modelinden silinmiştir ve konumu siyah artı işareti ile, konum hatası ise kesikli çizgi ile bir elips olarak gösterilmektedir. Diğer 4FGL kaynakları kırmızı artı işareti ile, konum hataları ise lacivert elips ile gösterilmektedir. Pembe çarpı işareti en iyi konumu, kesikli pembe elips ise konum hatasını göstermektedir. Mavi kare ile gösterilen CXOU J182913.1-125113 kaynağının, bu SNK ile bağlantılı bir atarca olduğu düşünülmektedir.



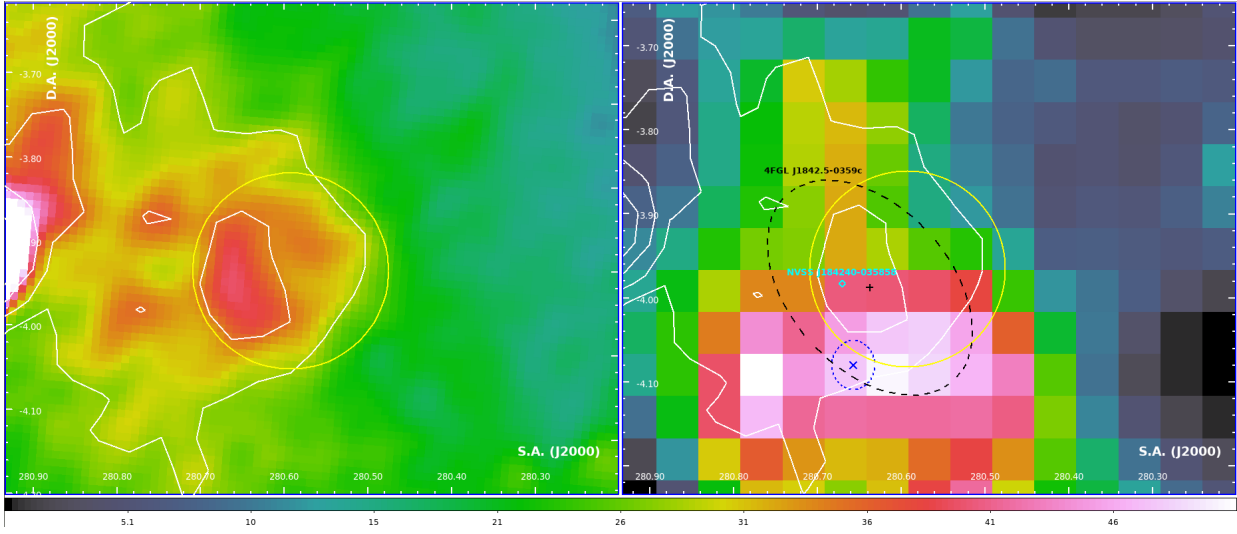
**Şekil 2.** G23.1+0.1 kaynağının GLEAM konumu merkezde olmak üzere, sol panelde analiz bölgesinin radyo verisi görüntüsü, sağ panelde ise *Fermi*-LAT verisi ile 1-300 GeV enerji aralığında oluşturulmuş gökyüzü TS haritası görülmektedir. Alttaki renk ölçeği, sağ paneldeki gökyüzü TS haritasına aittir. Kaynağın beyaz çizgiler ile gösterilen radyo kontürü 0.45, 0.75, 1.35, 2.25 ve 3 Jy beam<sup>-1</sup> seviyelerine karşılık gelmektedir. Sarı elips, G23.1+0.1 kaynağının GLEAM verisinde elde edilen genişliğini göstermektedir. 4FGL J1832.4-0847 arka alan modelinden silinmiştir ve konumu siyah artı işareti ile, konum hatası ise kesikli çizgi ile bir elips olarak gösterilmektedir. Lacivert artı işareti en iyi konumu, kesikli lacivert elips ise konum hatasını göstermektedir. Mavi kare ile gösterilen PSR J1832-0836 kaynağının, bu SNK ile bağlantılı olabileceği düşünülen bir atarcadır.

için yapacağımız çalışmanın devamında, atarcanın veriye olan olası etkisinin dikkate alınması gerekmektedir.

G23.1+0.1 SNK'sı ile ilişkili PSR J1832-0836 atarcası, gama ışınımı yaparak sonucu etkileyebilir. Bu sebeple, atarcadan gelen gama ışınımı modellenip, etkisi yok edilmeden net bir sonuca ulaşmak mümkün değildir. Çalışmanın devamında, atarcanın olası etkisinin göz önüne alınması planlanmaktadır.

G28.3+0.2 SNK'sı ile ilişkili olduğu düşünülen atarcalar ile ilgili daha çok çalışma yapılarak, olası ilişkileri ortaya konmadan net bir yorum yapmak mümkün değildir. Bu kaynak için de çalışmaların devamında, bölgedeki atarcaların (Morris et al. 2002) veriye olan olası etkisi göz önüne alınarak analiz edilmelidir.

Çalışmamızın devamında, G18.9-1.2, G23.1+0.1 ve G28.3+0.2'nin enerji tayflarını çıkarıp bu veriye en uygun



**Şekil 3.** G28.3+0.2 kaynağının GLEAM konumu merkezde olmak üzere, sol panelde analiz bölgesinin radyo verisi görüntüsü, sağ panelde ise *Fermi*-LAT datası ile 1-300 GeV enerji aralığında oluşturulmuş gökyüzü TS haritası görülmektedir. Alttaki renk ölçeği, sağ paneldeki gökyüzü TS haritasına aittir. Kaynağın beyaz çizgiler ile gösterilen radyo kontürü 0.45, 1.3, 1.6, 2.25 ve 3 Jy beam<sup>-1</sup> seviyelerine karşılık gelmektedir. Sarı elips, G28.3+0.2 kaynağının GLEAM verisinde elde edilen genişliğini göstermektedir. 4FGL J1842.5-0359c arka alan modelinden silinmiştir ve konumu siyah artı işareti ile, konum hatası ise kesikli çizgi ile bir elips olarak gösterilmektedir. Lacivert artı işareti en iyi konumu, kesikli lacivert elips ise konum hatasını göstermektedir. Mavi kare ile gösterilen NVSS J184240-035858, bu SNK ile bağlantılı olmayan bir gökada dışı kaynaktır.

olabilecek radyatif modelleri test etmek istiyoruz. Bu testlerden elde edeceğimiz model parametreleri, bize bu kalıntılardan gelen gama ışınının *hadron kaynaklı* (yani yüksek enerjili proton-proton çarpışmasında oluşan yüksüz pilyonların bozunumu sonucu oluşan gama ışınları) mı yoksa *lepton kaynaklı* (yani yüksek enerjili elektronların yarattığı ters Compton etkileşimi veya Bremsstrahlung sonucu oluşan gama ışınları) mı olduğunu veya her iki işıma mekanizması da görülmesi durumunda, bunlardan hangisinin daha baskın olacağını anlamamızı sağlayacaktır.

### Teşekkür

*Fermi*-LAT verilerinin herkes için erişilebilir olmasını sağladıkları için *Fermi* proje çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız. GLEAM radyo veri dosyalarını bizimle paylaştığı için Dr. N.H. Walker'a da teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

- Meşe, B.M., Ergin, Tulun "GeV Gamma-ray Counterparts of New Candidate Radio Supernova Remnants Detected in the GLEAM Survey." 7th Heidelberg International Symposium on High-Energy Gamma-Ray Astronomy, Barcelona, Spain, 4-8 July 2022, in preparation.
- Fürst, E., et al. "A new non-thermal galactic radio source with a possible binary system." *Nature* 314.6013 (1985): 720-721.
- Aschenbach, B., et al. "Observation of soft X-ray emission from the supernova remnant G18. 95-1.1." *A&A* 246 (1991): L32-L35.
- Hewitt, John W., and Farhad Yusef-Zadeh. "Discovery of New Interacting Supernova Remnants in the Inner Galaxy." *The Astrophysical Journal* 694.1 (2009): L16.
- Traverso, P. H., E. M. Reynoso, and G. M. Dubner. "Búsqueda de nubes moleculares asociadas a remanentes de supernovas australes." *Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía La Plata Argentina* 43 (1999): 50-50.
- Tüllmann, R., et al. "Searching for the pulsar in G18. 95-1.1: Discovery of an X-ray point source and associated synchrotron

- nebula with Chandra." *The Astrophysical Journal* 720.1 (2010): 848.
- Harrus, Ilana M., et al. "An X-Ray study of the supernova remnant G18. 95-1.1." *The Astrophysical Journal* 603.1 (2004): 152.
- Acerro, Fabio, et al. "Fermi large area telescope third source catalog." *The Astrophysical Journal Supplement Series* 218.2 (2015): 23.
- Morris, D.J., et al. "The Parkes Multibeam Pulsar Survey - II. Discovery and Timing of 120 Pulsars." *MNRAS* 335.2 (2002): 275-290.
- Ergin, Tulun, and Ayşegül Şen. "GeV Gamma-ray Emission Coinciding with HESS J1832-085." 43rd COSPAR Scientific Assembly. Held 28 January-4 February 43 (2021): 1490.
- Abdalla, H., et al. "The HESS Galactic plane survey." *Astronomy & Astrophysics* 612 (2018): A1.
- Condon, James J., et al. "The NRAO VLA Sky Survey." *The Astronomical Journal* 115.5 (1998): 1693.
- Hurley-Walker, Natasha, et al. "Candidate radio supernova remnants observed by the GLEAM survey over 345° < l < 60° and 180° < l < 240°." *Publications of the Astronomical Society of Australia* 36 (2019).
- Hurley-Walker, Natasha, et al. "New candidate radio supernova remnants detected in the GLEAM survey over 345° < l < 60°, 180° < l < 240°." *Publications of the Astronomical Society of Australia* 36 (2019).
- Ranasinghe, Sujith, Denis Leahy, and W. W. Tian. "Distance and Evolutionary States of Supernova Remnant G18. 9-1.1 and Candidate G28. 6+ 0.0." *arXiv preprint arXiv:1910.05407* (2019).
- Tammann, G. A., W. Loeffler, and A. Schroeder. "The Galactic supernova rate." *The Astrophysical Journal Supplement Series* 92 (1994): 487-493.
- Abdollahi, Soheila, et al. "Fermi large area telescope fourth source catalog." *The Astrophysical Journal Supplement Series* 247.1 (2020): 33.

### Access:

M23-0374: [Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.](#)