




Radyo Gözlemleri ile Keşfedilen Beş Yeni Süpernova Kalıntısının Optik Morfolojilerinin İncelenmesi

Ayşenur İnce¹  ve Ebru Aktekin Çalışkan¹  

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fizik Bölümü, 32000 Isparta, Türkiye

Accepted: November 6, 2025. Revised: November 6, 2025. Received: September 4, 2025.

Özet

Bu çalışmada, radyo gözlemleriyle kısa süre önce keşfedilen beş yeni süpernova kalıntısı (SNK), G282.1-4.1, G285.0-3.2, G289.6+5.8, G295.6+0.5 ve G300.1-1.6 için Southern H α Sky Survey Atlas (SHASSA) verileri kullanılarak optik görüntüleri incelenmiştir. Elde edilen H α görüntüleri bu SNK'ların filament yapısını ortaya çıkarmıştır. SNK'ların optik ve radyo dalgaboylarındaki morfolojileri karşılaştırıldığında, her iki dalgaboyunda da genel olarak uyumlu yapılar sergiledikleri görülmüştür. Kalıntıların morfolojik yapıları evrimsel aşamalarıyla birlikte değerlendirilerek her bir kalıntı için uzaklık değerleri tahmin edilmiştir.

Abstract

In this study, the optical images of five newly discovered supernova remnants (SNRs) in the radio wavelengths, G282.1-4.1, G285.0-3.2, G289.6+5.8, G295.6+0.5 and G300.1-1.6, obtained from the Southern H α Sky Survey Atlas (SHASSA), were examined. The resulting H α images revealed the filamentary structures of these SNRs. The comparison of SNR morphologies in the optical and radio wavelengths reveals that the structures observed in both bands are generally consistent with each other. The morphological structures of the remnants were evaluated along with their evolutionary stages, and distance estimates were made for each remnant.

Anahtar Kelimeler: ISM: supernova remnants – ISM: evolution – ISM: general – ISM techniques: image processing – surveys

1 Giriş

Süpernova kalıntıları (SNK'lar) yıldızlararası ortamın (YAO) evrimini araştırmak için doğal bir laboratuvar işlevi görmektedir. Yıldız evriminin son aşamasını temsil eden bu yapılar, nükleosentez ürünlerini YAO'ya kazandırarak ortamı ağır elementlerle zenginleştirir. Bir süpernova patlamasında açığa çıkan yaklaşık $\sim 10^{51}$ erg'lik enerji, YAO'yı yüksek sıcaklıklara ($>10^6$ K) kadar ısıtarak termal X-ışını emisyonuna yol açar ve yeni sentezlenmiş elementlerin çevre ortamla karışmasına katkı sağlar. Ayrıca, SNK şokları, kozmik ışınları $\sim 10^{18}$ eV mertebesine kadar ivmelendirebilir (Vink 2020).

SNK'ların evrimi ve morfolojik özellikleri, içinde buldukları çevresel koşullardan güçlü biçimde etkilenmektedir. SNK'ların büyük bölümü radyo dalgaboylarında tespit edilmiş olsa da (Dubner & Giacani 2015; Green 2025), optik gözlemlerle; filamenter yapılar, kalıntının genişleme hızları ve çevre ortamın yoğunluğu gibi parametreler belirlenebilmektedir.

Bir SNK'nın evrimsel süreçleri, Cioffi ve diğ. (1988), Truelove & McKee (1999) ve Leahy & Williams (2017) gibi birçok çalışmada ayrıntılı biçimde ele alınmış olup, genellikle dört temel evre ile tanımlanmaktadır: (1) Serbest genişleme veya ejekta baskın aşaması (ED), (2) Adyabatik veya Sedov–Taylor aşaması (ST), (3) Basınçla sürülen kar küreyicisi (pressure-driven snowplow, PDS) olarak da adlandırılan radyatif aşama, ve (4) Kaybolma veya SNK'nın çevresel ortamla birleşme aşamasıdır.

Bu evrelerin yanı sıra aşamalar arası geçişler de vardır. Özellikle ED'den ST'ye geçiş önemlidir; çünkü bu evrede SNK, X-ışını ve radyo dalgaboylarında parlaktır ve yeterince uzun ömürlüdür. Bu nedenle, Samanyolu'ndaki önemli sayıda SNK'nın bu aşamada bulunması olasıdır. SNK'larda, radyo ışınması yıldızlararası manyetik alan ile etkileşen rölativistik elektronların ısısal olmayan sinkrotron salması ile oluşur. Şok cephesinin önünde 10^7 – 10^8 K sıcaklıklarda ısısal X-ışın emisyonu oluşurken şok cephesinin arkasında güçlü bir soğumanın gerçekleştiği ($T \sim 10^4$ K) durumda belirgin H α 6563 Å, [S II] 6716 Å, 6731 Å, [O III] 4959 Å, 5007 Å ve [N II] 6548 Å, 6584 Å emisyon çizgileri ortaya çıkar. X-ışın emisyonu bölgelerinde yüksek hızlar söz konusu iken, optik emisyon şok hızının önemli ölçüde azaldığı (<200 km s $^{-1}$) bölgelerde gözlenir. Radyatif şoklar, şok cephesinin arkasında yüksek sıkışma (compression) oranları üretir. Bu yüksek sıkışma oranları nedeniyle şok sonrası bölgelerde ısısal olmayan sinkrotron radyo ışınması gözlenir (Vink 2020).

Samanyolu'nda radyo gözlemleri ile tanımlanmış yaklaşık 310 SNK bulunmaktadır (Green 2025). Son yıllarda, gelişmiş yetenekleri ve düşük yüzey parlaklığına yüksek hassasiyetleri sayesinde, en son nesil radyo teleskopları (Australian Square Kilometre Array Pathfinder - ASKAP: Hotan ve diğ. 2021, MeerKAT: Jonas & MeerKAT Team 2016, Murchison Widefield Array - MWA: Beardsley ve diğ. 2019 ve Low-Frequency Array - LOFAR: van Haarlem ve diğ. 2013) daha önce tespit edilemeyen, özellikle büyük açısız boyutlu ve sönük birçok Galaktik SNK'nın keşfedilmesini ve incelenmesini mümkün kılmaktadır. SNK'ların elektromanyetik tayf boyunca morfolojik özelliklerini ayrıntılı olarak inceleyen araştırmalar, SNK ve

* ebrucaliskan@sdu.edu.tr

Çizelge 1. Seçilen SNK'ların genel özellikleri. Koordinat ve açılal büyüklük (θ) değerleri Ball ve diğ. (2025)'den alınmıştır.

SNK	α (J2000)	δ (J2000)	θ (')
G282.1-4.1	09 ^h 54 ^m 06 ^s	-59°39'12"	71×48
G285.0-3.2	10 ^h 16 ^m 48 ^s	-60°32'39"	38×25
G289.6+5.8	11 ^h 18 ^m 22 ^s	-54°37'03"	38×32
G295.6+0.5	11 ^h 49 ^m 09 ^s	-61°29'25"	11×11
G300.1-1.6	12 ^h 25 ^m 10 ^s	-64°20'38"	48×31

çevresinin daha büyük ölçekli yapısının karşılaştırmalı olarak yorumlanmasına önemli katkılar sağlamıştır (Dubner ve diğ. 2017).

Yakın zamanda Ball ve diğ. (2025), ASKAP ile yürütülen Evolutionary Map of the Universe (EMU; Hopkins ve diğ. 2025) ve Polarization Sky Survey of the Universe's Magnetism (POSSUM; Gaensler ve diğ. 2025) projelerinden elde edilen güney gökyüzü radyo gözlemlerini kullanarak ısıl olmayan radyo ışması tespit edilen altı yeni SNK ile 37 yeni SNK adayını rapor etmiştir.

Bu çalışmanın amacı, yeni keşfedildiği için daha önce optik dalgaboylarında hiç incelenmemiş bazı Galaktik SNK'ların morfolojik yapılarını ortaya koymak için yüksek kaliteli ve geniş görüş alanına sahip H α emisyon görüntülerini sunmaktır. Bu amaç doğrultusunda, Ball ve diğ. (2025) tarafından yeni keşfedilen G282.1-4.1, G285.0-3.2, G289.6+5.8, G295.6+0.5 ve G300.1-1.6 kalıntılarının optik dalgaboylarında morfolojik özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca her bir SNK için evriminin radyatif aşamasında bulunduğu varsayılarak uzaklıkları tahmin edilmiştir. Optik dalgaboyundaki veri ve bu verilerin analizlerinin ayrıntıları Ş2'de sunulmaktadır. Kalıntıların morfolojik özellikleri ve evrimsel aşamaları dikkate alınarak yapılan uzaklık tahminleri ise Ş3'te verilmektedir.

2 Veri ve Analizi

Bu çalışma için, Ball ve diğ. (2025) tarafından sunulan SNK ve SNK adayları kataloğundan beş yeni SNK seçilmiş olup, bu SNK'ların koordinatları ve açılal büyüklükleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Optik veriler için Southern H α Sky Survey Atlas (SHASSA; Gaustad ve diğ. 2001) kullanılmıştır. SHASSA, Galaksimizdeki sıcak iyonize yıldızlararası gazdan gelen H α ışmasını 656.3 nm dalgaboyunda gözlemleyen ve güney gökyüzünü (dik açıklığı +15 derecenin altındaki bölgeleri) kapsayan robotik geniş açılı sayısal görüntüleme araştırmasının temel veri ürünüdür. Gözlemler, Şili'deki CTIO gözlemevinde çalışan robotik bir kamera ile gerçekleştirilmiştir. SHASSA gözlemleri ile dört harita sunulmaktadır: H α , süreklilik, süreklilik düzeltmeli (H α ve süreklilik görüntülerinin farkı) ve yumuşatılmış süreklilik düzeltmeli. Orijinal açılal çözünürlük yaklaşık 1' dir. Bu çalışmada süreklilik çıkarılmış H α (continuum-subtracted; CS) görüntüleri kullanılmıştır.

Seçilen SNK'lara ait optik görüntüler SHASSA veri tabanından SkyView arayüzü kullanılarak FITS formatında indirilmiş olup görüntü işlemleri DS9 programı ile yapılmıştır. Elde edilen H α görüntüleri Şekil 1'de sunulmuştur. Bu görüntülerde, SNK'yı ve çevresini gösterebilmek amacıyla 1° büyüklüğünde bir alan seçilmiştir. G282.1-4.1 diğer kalıntılara göre daha büyük bir açılal boyuta (71×48') sahip olduğundan, bu kaynak için 1.5° büyüklüğünde bir görüntü verilmiştir.

Çizelge 2. Seçilen SNK'ların 943 MHz'deki radyo akıları $F(943 \text{ MHz})$ (Ball ve diğ. 2025) ve bu çalışmada SHASSA H α görüntülerinden hesaplanan akı $F(H\alpha)$ değerleri. G282.1-4.1 için $F(943 \text{ MHz})$ değeri belirlenmemiştir. Bunun nedeni, kaynağın çok zayıf olması ya da örtüşen kaynakların bulunduğu karmaşık bir bölgede bulunmasıdır (Ball ve diğ. 2025).

SNK	$F(943 \text{ MHz})$ (Jy)	$F(H\alpha) \times 10^{-15}$ (erg cm ⁻² s ⁻¹)
G282.1-4.1	-	0.24±0.01
G285.0-3.2	<1	6.99±0.01
G289.6+5.8	1.4±0.2	2.25±0.01
G295.6+0.5	0.23±0.01	2.90±0.01
G300.1-1.6	3.2±0.2	3.01±0.01

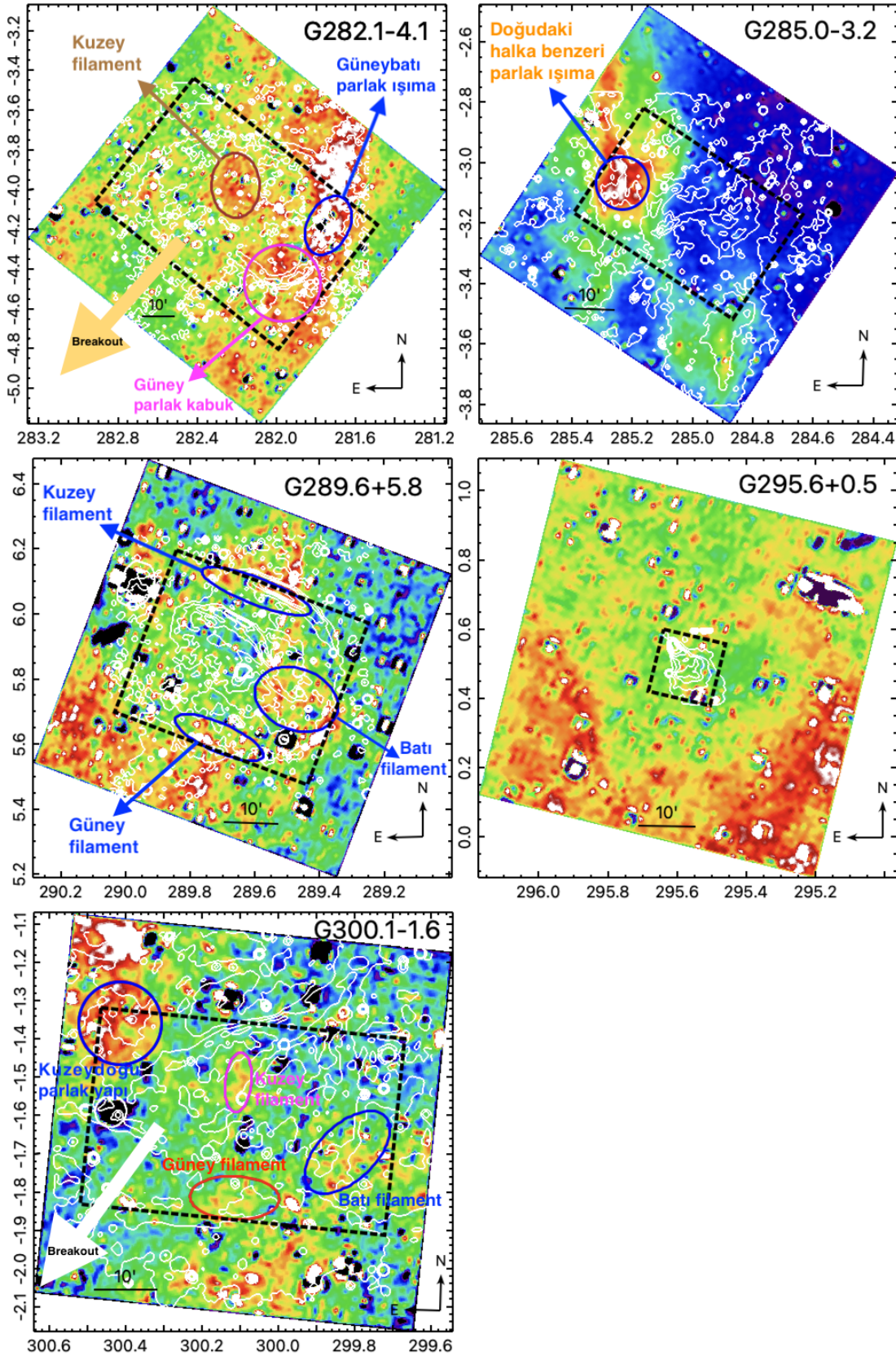
3 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, seçilen G282.1-4.1, G285.0-3.2, G289.6+5.8, G295.6+0.5 ve G300.1-1.6 kalıntılarının morfolojik özellikleri incelenmiş ve evrimsel aşamaları ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır. Seçilen SNK'ların 943 MHz'deki radyo akıları (Ball ve diğ. 2025) ile bu çalışmada SHASSA H α görüntülerinden elde edilen akı değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur. H α akı değerleri, IRAF yazılımındaki phot aracı kullanılarak ve Frew ve diğ. (2013) tarafından önerilen yöntem izlenerek hesaplanmıştır. Çizelgeden görüldüğü üzere, en yüksek H α akısına sahip kalıntı G285.0-3.2'dir. G295.6+0.5 ve G300.1-1.6 kalıntılarının H α akı değerleri birbirine oldukça yakındır. En düşük H α akısı ise G282.1-4.1 kalıntısında gözlenmiştir. Bu kalıntının 943 MHz'deki radyo akısı, kaynağın oldukça zayıf olması ya da örtüşen kaynakların bulunduğu karmaşık bir bölgede yer alması nedeniyle hesaplanamamıştır (Ball ve diğ. 2025). Diğer dört kalıntının H α akısı ile 943 MHz'deki radyo akısı karşılaştırıldığında; (1) G285.0-3.2'nin en yüksek H α akısına sahip olmasına rağmen en düşük radyo akısına sahip iki kalıntıdan biri olduğu, (2) H α akı değerleri birbirine çok yakın olan G295.6+0.5 ve G300.1-1.6 kalıntılarının radyo akıları arasında yaklaşık 14 kat kadar fark olduğu görülmektedir. Bu farklılıklar, SNK'ların buldukları ortamın fiziksel özelliklerinin bu iki yayınımlar üzerindeki etkileriyle ilişkilidir. Örneğin, manyetik alan şiddeti, ortam yoğunluğu, soğurma ve kalıntının çevresindeki moleküler bulutlarla etkileşimi gibi süreçler, radyo ve H α akılarının farklılaşmasında belirleyici rol oynamaktadır (Dubner & Giacani 2015).

3.1 SNK'ların morfolojileri

Bu bölümde, her bir SNK'nın radyo dalgaboylarındaki morfolojileri ASKAP 943 MHz EMU/POSSUM görüntüleri (Ball ve diğ. 2025) temel alınarak, optik dalgaboylarındaki morfolojileri ise Şekil 1'de sunulan SHASSA H α görüntüleri kullanılarak karşılaştırmalı bir inceleme yapılmıştır. SHASSA H α görüntülerinde belirgin olarak görülen bazı yapılar (örneğin filamentler) şekil üzerinde işaretlenmiştir. Ayrıca her bir optik görüntü üzerine ilgili bölgenin ASKAP 943 MHz radyo süreklilik (Hopkins ve diğ. 2025; Ball ve diğ. 2025) konturları de konulmuştur.

G282.1-4.1: Ball ve diğ. (2025) tarafından bu SNK'nın radyo dalgaboylarında, güneyde belirgin parlak bir kabuk ve doğuda birkaç daha sönük filament arasında uzanan başka bir



Şekil 1. Seçilen SNK'ların SHASSA-CS (Gustad ve diğ. 2001) H α görüntüleri (derece cinsinden Galaktik Boylama karşı Galaktik Enlem). Kesikli siyah kutucuk ile gösterilen alan her bir kalıntının radyo kabuğunu temsil etmektedir. Optik görüntülerde belirgin olarak görülen bazı yapılar (örneğin filamentler) şekil üzerinde işaretlenmiştir. Her bir optik görüntü üzerine ilgili bölgenin 943 MHz radyo süreklilik (Hopkins ve diğ. 2025; Ball ve diğ. 2025) kontürleri (beyaz renkte) konulmuştur.

kabuk ile karakterize edilen özgün bir morfolojiye sahip olduğu rapor edilmiştir.

Güneydeki parlak kabuk yapısı (yarıçapı $\sim 11.5'$) Şekil 1'in sol üst panelinde görüldüğü üzere optik dalgaboylarında da açıkça görülmekte ve radyo gözlemleriyle güçlü bir uyum göstermektedir. Ayrıca güneybatı bölgesinde radyo ışması ile uyumlu parlak bir optik ışma ($\sim 9.4 \times 6.3'$ boyutlarında) görülmektedir. Kuzeyde belirgin bir optik filament ($\sim 7.2 \times 9.7'$ boyutlarında) mevcuttur.

G285.0-3.2: Ball ve diğ. (2025)'e göre, SNK birden fazla kabuk benzeri yapıya sahip karmaşık bir radyo morfolojisi sergilemektedir. Kalıntı, **Hare ve diğ. (2019)** tarafından önerilen aday bir X-ışını pulsar rüzgar bulutsusu (PWN) ile örtüşmektedir. Bu konumda, radyo dalgaboyunda küçük bir halka benzeri yapı ile onu çevreleyen daha büyük ve dairesel olmayan bir kabuk gözlenmektedir. Ayrıca, X-ışını kaynağının bulunduğu noktadan doğudaki filamentli emisyonu doğru uzanan bir radyo kuyruğu dikkat çekmektedir. Kaynağın güneybatısında ise G283.8-4.0 olarak adlandırılan uzun bir filament yer almakta olup, bu filamentin G285.0-3.2 ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir; ancak iki yapı arasında dikkate değer bir mesafe bulunmaktadır.

Optik dalgaboylarında SNK'nın doğusunda belirgin halka benzeri bir yapı (yarıçapı $\sim 5.3'$) görülmekte olup bu morfoloji radyo gözlemleriyle güçlü bir uyum göstermektedir (Şekil 1, sağ üst panel). SNK'nın diğer bölgelerinde ise radyo ışması belirgin iken dikkat çeken optik bir yapı görülmemektedir.

G289.6+5.8: Ball ve diğ. (2025), bu kalıntının yüksek enlemde yer alan bir kaynak olduğunu ve iki parlak kuzeybatı kabuğu ile güney boyunca uzanan daha soluk bir kabuktan oluştuğunu belirtmiştir. Ayrıca kaynağın merkezine yakın küçük ve parlak bir bulutsu da gözlenmektedir. Bu bulutsu, olası bir düşük kütleli X-ışını ikili sistemi olarak tanımlanmış bir X-ışını kaynağı ile örtüşmektedir (**Coleiro ve diğ. 2013**). Kuzeybatı kabukları ve merkeze yakın bulutsu belirgin biçimde polarize olmuş olup, bu durum bulutsunun bir PWN olabileceğine işaret etmektedir.

Optik dalgaboylarında kuzeyde ($\sim 10.7 \times 2.4'$ boyutlarında), batıda ($\sim 7.9 \times 5.7'$ boyutlarında) ve güneyde ($\sim 8.8 \times 2.6'$ boyutlarında) radyo görüntüsü ile uyumlu olarak belirgin filament yapılar gözlemlenmekle birlikte, radyo gözlemlerinde çok parlak olan kuzeydeki ikili kabuk yapısı optik görüntülerde görülmemektedir (Şekil 1, orta sol panel).

G295.6+0.5: Bu kaynak, birkaç kabuk benzeri yapıya doğru uzanan bir radyo kuyruğuna sahip bir nokta kaynağı andırmaktadır. Morfolojisi ve güçlü doğrusal polarizasyonu dikkate alındığında, bu kaynağın bir PWN olarak sınıflandırılması gerektiği **Ball ve diğ. (2025)** tarafından rapor edilmiştir.

Optik dalgaboylarında ise, radyo gözlemlerinde belirgin olan kabuk yapısı gözlemlenmemektedir.

G300.1-1.6: Bu kaynak, kuzeyde daha parlak bir kabuk ve güneyde daha soluk bir kabuktan oluşan, aralarında birkaç filament yapısının bulunduğu yaklaşık eliptik bir yapıya sahiptir. Ayrıca kaynağın kuzey kenarı boyunca, doğudan kuzeybatıya doğru yukarı yönlü yay biçiminde uzanan bir filament de gözlemlenmektedir. Bu filament ile en kuzeydeki kabuk polarize olmuştur (**Ball ve diğ. 2025**).

Şekil 1'in alt panelinde görüldüğü üzere, bu SNK optik dalgaboylarında radyo görüntüsüne benzer olarak kuzeydoğuda parlak bir yapı (yarıçapı $\sim 6.5'$) sergilemektedir. Batıda ($4.4 \times 8.2'$ boyutlarında) ve güneyde ($\sim 3.4 \times 7.0'$ boyutlarında)

radyo ışması ile uyumlu ve kuzeyde ($2.1 \times 4.7'$ boyutlarında) filament benzeri yapılar görülmektedir.

Elde edilen morfolojik bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- G282.1-4.1 ve G300.1-1.6 kalıntılarının güneydoğu bölgelerinde 'breakout' morfoloji gözlenmektedir (Şekil 1, sol üst panel ve alt panelde kalın oklarla işaretlenmiştir). Bu morfoloji, kalıntının çevresinde bulunan büyük ölçekli bir yoğunluk düzensizliği ile etkileşimde olduğunu göstermektedir. Örneğin, bir molekül bulutunun kenarında bulunan bir SNK'nın şok dalgası, bulutun dışındaki daha düşük yoğunluklu bölgelere ulaştığında kalıntı bu yönde daha hızlı genişleyebilir. Nitekim, bilinen bazı SNK'ların optik görüntülerinde ana kabuğun dışında belirgin genişleme yapıları saptanmıştır (Örneğin; G70.0-21.5, G82.2+5.3, G210.5+1.3 ve G321.3-3.9: **Fesen ve diğ. 2024**). Ayrıca, güncel çalışmalar bu morfolojik özelliğin SNK'ların radyo dalgaboylarında da yaygın olarak görüldüğünü ortaya koymuştur (**Cotton ve diğ. 2024**).
- İncelenen SNK'ların optik morfolojilerinin radyo morfolojileriyle genel olarak uyumlu olduğu tespit edilmiştir; ancak G295.6+0.5 kalıntısı için bu durum net olarak söylenememektedir. Radyo dalgaboylarında keşfedilmiş bir Galaktik kalıntıya ait optik ışmanın tanımlanması yapılırken; radyo emisyonu ile optik emisyonunun konum olarak çakışması olup olmadığı da araştırılır. Ancak optik ışmanın kesin olarak tanımlanması genellikle $H\alpha$ ve $[S II]$ emisyon görüntülerinin karşılaştırılması ve optik taylarında bazı yayılım çizgi oranları aracılığıyla gerçekleştirilir (SNK'lar için tipik olarak $[S II]/H\alpha > 0.4$) (**Osterbrock & Ferland 2006; Long 2017; Fesen ve diğ. 2024**).
- Bir SNK, evriminin ileri radyatif aşamasına ulaştığında; şok sonrası soğumanın kararsızlaşması ve küçük ölçekli şok yapılarını oluşturması sonucunda, hem radyo hem de optik ışma genellikle daha filament benzeri bir görünüm kazanır (**Raymond ve diğ. 2020**). Elde edilen optik görüntülerde (Şekil 1) ve **Ball ve diğ. (2025)** tarafından verilen radyo görüntülerinde dikkat çeken filament yapısı SNK'ların ileri radyatif aşamasına ulaştığına işaret etmektedir. İncelenen SNK'ların evrim aşamaları bir sonraki bölümde tartışılmaktadır.

3.2 SNK'ların evrim aşamaları ve uzaklık tahminleri

SNK'ların evriminde, "radyatif" ve "radyatif olmayan" olarak adlandırılan iki farklı astrofiziksel şok önemli rol oynar (**Vink 2020**). İncelenen SNK'lardan optik ışma tespit edilmesi, bu kaynakların radyatif aşamada olduğunu göstermektedir.

Bir kalıntının evriminde radyatif yani PDS aşamaya geçebilmesi için ulaşması gereken yarıçap (R_{PDS}), **Cioffi ve diğ. (1988)** tarafından şu şekilde verilmiştir:

$$R_{PDS} = 14.0 \frac{E_{51}^{2/7}}{n_0^{3/7} \zeta_m^{1/7}} \text{ pc} \quad (1)$$

Burada, E_{51} süpernovanın patlama enerjisini 10^{51} erg biriminde, n_0 ortamın yoğunluğunu cm^{-3} cinsinden, ζ_m ise metal içeriğine bağlı bir faktörü ifade eder ve Güneş metalikliği için 1 olarak ($[Fe/H] = 1 \text{ dex}$) alınmıştır. SNK'larda E_{51} ve n_0 için standart (tipik) değerler kullanılarak, Denklem 1'de hesaplanan R_{PDS} değerleri Çizelge 3'de sunulmuştur.

Her bir kalıntının radyatif aşamada, yani R_{PDS} yarıçapına ulaşmış olduğu kabul edildiğinde; SNK'ların çap değerleri $D = 2 \times R_{PDS}$ ifadesiyle elde edilir. Aşağıda verilen bağıntı

Çizelge 3. Farklı E ve n_0 değerleri için hesaplanan R_{PDS} değerlerine karşılık gelen kpc cinsinden SNK uzaklıkları.

	Uzaklıklar (d kpc)			
R_{PDS} (pc)	7.3	14	19	37.5
n_0 (cm^{-3})	1	1	0.3	0.1
E (erg)	10^{50}	10^{51}	0.5×10^{51}	10^{51}
G282.1-4.1	0.7-1.0	1.4-2.0	1.8-2.7	3.6-5.3
G285.0-3.2	1.3-2.0	2.5-3.9	3.4-5.2	6.8-10.3
G289.6+5.8	1.3-1.6	2.5-3.0	3.4-4.1	6.8- 8.1
G295.6+0.5	4.6	8.8	11.9	23.5
G300.1-1.6	1.0-1.6	2.0-3.1	2.7-4.2	5.4-8.3

kullanılarak kalıntıların uzaklıkları tahmin edilebilir.

$$D = d \theta \quad (2)$$

Burada, d kalıntının uzaklığı (kpc), D kalıntının çapı (pc) ve θ ise açısal büyüklüğü (yay dakikası)'dır. Hesaplanan uzaklık değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. θ için Çizelge 1'de verilen iki boyut da gözönüne alınarak hesaplama yapıldığı için uzaklık değerleri aralık olarak sunulmuştur. Yeni keşfedilen bu kalıntıların literatürde uzaklık değerleri ve N_{H} değerleri bulunmamaktadır.

Bir sonraki adımda; her bir SNK yönünde Galaksi boyunca toplam hidrojen yoğunluğu (N_{H}), [Willingale ve diğ. \(2013\)](#) tarafından geliştirilen yöntemle ([nhtot](#)) hesaplanmıştır. Bu yöntemde Galaksi boyunca toplam hidrojen sütun yoğunluğu hesaplanırken hem atomik hem de moleküler hidrojen katkıları göz önüne alınmaktadır ($N_{\text{H}} = N_{\text{HI}} + 2N_{\text{H}_2}$). G282.1-4.1, G285.0-3.2, G289.6+5.8, G295.6+0.5 ve G300.1-1.6 kalıntıları için N_{H} değerleri sırasıyla 8.3×10^{21} , 9.1×10^{21} , 3.3×10^{21} , 12.1×10^{21} ve $11.0 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 3'den görüldüğü üzere, en büyük uzaklığa sahip olmasına rağmen G295.6+0.5 kalıntısı için hesaplanan N_{H} değeri, G289.6+5.8 dışındaki diğer üç SNK ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Bu sonuç, G295.6+0.5 yönünde söz konusu diğer kalıntılara kıyasla görece yoğun bir ortamın bulunmadığını göstermektedir. Bu kalıntı için tahmin edilen uzaklık değerlerinden biri olan 23.5 kpc bilinen Galaktik SNK'lar gözönüne alındığında büyük bir değerdir (SNK kataloğu; [SNRcat: Ferrand & Safi-Harb 2012](#)). Bu durumda G295.6+0.5 için $E=10^{51}$ erg ve $n_0=0.1 \text{ cm}^{-3}$ değerleri olası değildir.

G289.6+5.8 kalıntısı, incelenen kalıntılar arasında en düşük N_{H} değerine sahiptir. Bu kalıntının tahmini uzaklığı G285.0-3.2 kalıntısıyla yaklaşık olarak benzer olmasına rağmen, N_{H} değeri yaklaşık üç kat daha düşüktür. Bu durum, G289.6+5.8 doğrultusunda G285.0-3.2'ye kıyasla görece daha az yoğun bir ortamın bulunduğu işaret etmektedir. Seçilen SNK'ların güvenilir uzaklık tahminlerinin ve Galaksi içindeki konumlarının doğrulanabilmesi için daha ayrıntılı gözlemlere ihtiyaç vardır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, gelecekte çok bantlı gözlemlere dayalı araştırmalar için önemli bir temel oluşturmaktadır. SNK'ların morfolojik yapılarının, içinde buldukları ortamın fiziksel koşullarının ve evrimsel aşamalarının daha ayrıntılı olarak anlaşılabilmesi için X-ışını gözlemleri ve özellikle optik dalgaboylarında yapılacak tayfsal incelemeler kritik öneme sahiptir.

Teşekkür

Hakemlere vermiş oldukları öneriler ve sağlamış oldukları katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Yazarlar ayrıca, ASKAP

943 MHz radyo süreklilik verisini sağlayan Brianna Ball'a teşekkür ederler. Bu çalışma, AI ve EAÇ tarafından ortaklaşa yürütülmekte olup, AI'nin (danışman EAÇ) Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne sunulacak yüksek lisans tezinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu çalışmada, SHASSA (Southern H-Alpha Sky Survey Atlas) $H\alpha$ verisi kullanılmıştır.

Kaynaklar

- Ball B. D., ve diğ., 2025, [ApJ](#), 988, 75
- Beardsley A. P., ve diğ., 2019, [Publ. Astron. Soc. Australia](#), 36, e050
- Cioffi D. F., McKee C. F., Bertschinger E., 1988, [ApJ](#), 334, 252
- Coleiro A., Chaty S., Zurita Heras J. A., Rahoui F., Tomsick J. A., 2013, [A&A](#), 560, A108
- Cotton W. D., Kothes R., Camilo F., Chandra P., Buchner S., Nyamai M., 2024, [ApJS](#), 270, 21
- Dubner G., Giacani E., 2015, [A&ARv](#), 23, 3
- Dubner G., Castelletti G., Kargaltsev O., Pavlov G. G., Bietenholz M., Talavera A., 2017, [ApJ](#), 840, 82
- Ferrand G., Safi-Harb S., 2012, [Advances in Space Research](#), 49, 1313
- Fesen R. A., ve diğ., 2024, [ApJS](#), 272, 36
- Frew D. J., Bojičić I. S., Parker Q. A., 2013, [MNRAS](#), 431, 2
- Gaensler B. M., ve diğ., 2025, [Publ. Astron. Soc. Australia](#), 42, e091
- Gaustad J. E., McCullough P. R., Rosing W., Van Buren D., 2001, [PASP](#), 113, 1326
- Green D. A., 2025, [Journal of Astrophysics and Astronomy](#), 46, 14
- Hare J., Volkov I., Kargaltsev O., Younes G., Rangelov B., 2019, [ApJ](#), 875, 107
- Hopkins A., ve diğ., 2025, [Publ. Astron. Soc. Australia](#), 42, e071
- Hotan A. W., ve diğ., 2021, [Publ. Astron. Soc. Australia](#), 38, e009
- Jonas J., MeerKAT Team 2016, in MeerKAT Science: On the Pathway to the SKA. p. 1, [doi:10.22323/1.277.0001](#)
- Leahy D. A., Williams J. E., 2017, [AJ](#), 153, 239
- Long K. S., 2017, in Alsabti A. W., Murdin P., eds, , Handbook of Supernovae. Springer, Cham, p. 2005
- Osterbrock D. E., Ferland G. J., 2006, Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei. University Science Books
- Raymond J. C., Caldwell N., Fesen R. A., Weil K. E., Boumis P., di Cicco D., Mittelman D., Walker S., 2020, [ApJ](#), 888, 90
- Truelove J. K., McKee C. F., 1999, [ApJS](#), 120, 299
- Vink J., 2020, Physics and Evolution of Supernova Remnants. Springer Cham, [doi:10.1007/978-3-030-55231-2](#)
- Willingale R., Starling R. L. C., Beardmore A. P., Tanvir N. R., O'Brien P. T., 2013, [MNRAS](#), 431, 394
- van Haarlem M. P., ve diğ., 2013, [A&A](#), 556, A2

Access:

M25-0202: [Turkish J.A&A — Vol.6, Issue 2.](#)