

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**SAMANYOLU'NDA BULUNAN BAZI SÜPERNOVA KALINTILARININ OPTİK
DALGA BOYLARINDA ARAŞTIRILMASI**

Günay BULUT

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2022

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**SAMANYOLU'NDA BULUNAN BAZI SÜPERNOVA KALINTILARININ OPTİK
DALGA BOYLARINDA ARAŞTIRILMASI**

Günay BULUT

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAMANYOLU’NDA BULUNAN BAZI SÜPERNOVA KALINTILARININ OPTİK
DALGA BOYLARINDA ARAŞTIRILMASI**

Günay BULUT

UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 27/06/2022 tarihinde jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hicran BAKIŞ (Danışman)

Prof. Dr. Enise Nihal ERCAN

Dr. Öğr. Üyesi Ebru AKTEKİN ÇALIŞKAN

ÖZET

SAMANYOLU'NDA BULUNAN BAZI SÜPERNOVA KALINTILARININ OPTİK DALGA BOYLARINDA ARAŞTIRILMASI

Günay BULUT

Yüksek Lisans Tezi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Hicran BAKIŞ

İkinci Danışman: Prof.Dr. Aytap SEZER

Haziran 2022; 67 sayfa

Bu çalışmada Samanyolu'nda bulunan ve radyo dalga boylarında keşfedilen süpernova kalıntılarının (SNK) arasından seçilmiş 8 SNK'nın, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi teleskopları (RTT150 ve T100) kullanılarak optik gözlemleri yapılmıştır. $H\alpha$ ve [S II] filtreleri kullanılarak yapılan fotometri gözlemleri ile şimdiye dek literatürde optik gözlemine rastlanmayan G107.5–1.5 ve G189.6+3.3 kalıntılarında ilk kez optik ışıma keşfedilmiştir. Optik dalga boyunda daha önce çalışılan G67.7+1.8 kalıntısının güneybatısında yer alan ve kökeni henüz belirlenmemiş bir kaynağın da detaylı gözlemleri ilk kez yapılmıştır. G36.6+2.6, G93.3+6.9, G150.8+3.8, G152.4–2.1 ve G181.1+9.5 kalıntılarında ise verilen poz sürelerinde optik bir ışıma tespit edilememiştir. $H\alpha$ ve [S II] filtreleri ile morfolojileri (yaygın ve iplikli) belirlenen SNK'ların, TFOSC (TUG Faint Object Spectrograph and Camera) ile tayfölçüm gözlemleri de yapılmış ve bu tayflarda SNK'larda beklenen Hidrojen Balmer çizgileri; $H\beta$ λ 4861Å, $H\alpha$ λ 6563Å, ve yasak çizgiler; [O III] λ 4959, 5007Å, [N II] λ 6548, 6584Å ve [S II] λ 6716, 6731Å tespit edilmiştir. Bu çizgilerin akı oranları kullanılarak; ortamın elektron yoğunluğu, şok dalgasının hızı, renk artışı ve yıldızlararası sönmeme katsayısı gibi SNK'nın ve yıldızlararası ortamın bazı fiziksel parametreleri hesaplanmış ve bu değerler teorik değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, T100 teleskobu ile yapılan fotometri gözlemleri ile SNK'lar gibi yaygın ve sönük nesnelerin gözlenebilirlik limitleri de araştırılmış, T100 teleskobunun Samanyolu'nda bulunan SNK gözlemleri için etkin bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Süpernova Kalıntıları, optik, fotometri, tayfölçüm.

JÜRİ: Prof. Dr. Hicran BAKIŞ

Prof. Dr. Enise Nihal ERCAN

Dr. Öğr. Üyesi Ebru AKTEKİN ÇALIŞKAN

ABSTRACT

OPTICAL INVESTIGATIONS OF SOME SUPERNOVA REMNANTS IN MILKY WAY

Günay BULUT

MSc Thesis in Space Science and Technologies

Supervisor: Prof. Dr. Hicran BAKIŞ

Co-Supervisor: Prof. Dr. Aytap SEZER

June 2022; 67 pages

In this study, optical observations of 8 supernova remnants (SNRs) selected from among the SNRs found in the Milky Way and discovered at radio wavelengths were made using TÜBİTAK National Observatory telescopes (RTT150 and T100). With the photometry observations made, using $H\alpha$ and $[S II]$ filters, optical radiation was discovered for the first time from SNRs G107.5–1.5 and G189.6+3.3, which have not been observed optically in the literature. A detailed source of undetermined origin is located southwest of the previously studied SNR G67.7+1.8 at optical wavelength observations were made for the first time. Optical emission could not be detected from G36.6+2.6, G93.3+6.9, G150.8+3.8, G152.4–2.1 and G181.1+9.5 at the given exposure times. Spectroscopic observations of SNRs, whose morphology (diffuse and filamentary) were determined by $H\alpha$ and $[S II]$ filters, were also made with TFOSC (TUG Faint Object Spectrograph and Camera), and the Hydrogen Balmer lines expected in SNRs in these spectra ($H\beta$ $\lambda 4861\text{\AA}$, $H\alpha$ $\lambda 6563\text{\AA}$), and forbidden lines; $[O III]$ $\lambda\lambda 4959, 5007\text{\AA}$, $[N II]$ $\lambda\lambda 6548, 6584\text{\AA}$ and $[S II]$ $\lambda\lambda 6716, 6731\text{\AA}$ were detected. Using the flux ratios of these lines; some physical parameters of the SNRs and the interstellar medium, such as the electron density of the medium, the velocity of the shock wave, the reddening and the interstellar extinction coefficient have been calculated and these values have been compared with the theoretical values. In addition, the observability limits of common and faint objects such as SNRs have been investigated with the photometry observations made with the T100 telescope, and it has been shown that the T100 telescope can be used effectively for SNR observations in the Milky Way.

KEYWORDS: Supernova remnants, optical band, photometry, spectroscopy.

COMMITTEE: Prof. Dr. Hicran BAKIŞ

Prof. Dr. Enise Nihal ERCAN

Assist. Prof. Dr. Ebru AKTEKİN ÇALIŞKAN

ÖNSÖZ

SNK'ların büyük bir çoğunluğu radyo bölgesinde gözlenmiştir. Samanyolu'nda bulunan SNK'ların, gaz ve tozun yoğun olduğu galaksi düzlemine yakın yerlerde bulunması sebebiyle bu SNK'ların çok azının (yaklaşık dörtte birinin) optik dalgaboylarında gözlemi bulunmaktadır. Aynı zamanda elektron yoğunluğunun az olduğu bölgelerde bulundukları için yasak çizgilerin incelenmesinde adeta laboratuvar görevi görmektedirler. SNK tayflarından elde edilen bu çizgilerin akı değerleriyle SNK ve SNK'nın bulunduğu ortama ait parametrelerin hesaplanması ve bunların teorik değerlerle karşılaştırılması önemlidir. Bu tez kapsamında Samanyolun'da bulunan bazı SNK'ların fotometri ve tayfölçüm gözlemleri yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Akademik hayata atılmamı sağlayan ve bana hep yol gösteren danışmanım Sayın Prof. Dr. Hicran BAKIŞ'a ve ikinci danışmanım Sayın Prof. Dr. Aytap SEZER'e teşekkür ederim. Tayf indirgeme aşamalarında sorularıma yanıt bulan Sayın Prof. Dr. Volkan BAKIŞ'a teşekkür ederim. TUG 1562 proje numarasıyla RTT150 ve TUG 1592 proje numarasıyla T100 teleskoplarının kullanımına verdiği destek için TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ne teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni hep destekleyen, maddi ve manevi hep yanımda olan aileme sonsuz minnettarlığımı sunarım. Onların sayesinde havacılık aşkıma bir üst noktaya, uzaya çıkarmış oldum. Üniversite ve tez sürecimde bana yardımcı olan ve bıkmadan sorularımı cevaplayan eşim Batuhan BULUT'a yanımda olduğu için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Süpernovalar	4
2.1.1. Tip Ia süpernovası	5
2.1.2. Çekirdek çöküş süpernovası	6
2.2. Süpernova Kalıntıları	7
2.2.1. Süpernova kalıntılarının evrimleri	8
2.2.2. Süpernova kalıntılarının sınıflandırılmaları	9
2.3. Süpernova Kalıntılarının Optik Işıması ve Oluşum Mekanizmaları	11
2.3.1. Isısal Bremsstrahlung	15
2.3.2. Sinkrotron ışıması	15
2.3.3. Compton ve ters Compton	15
2.3.4. Yasak çizgi oluşumu ve iyonizasyon	16
2.3.5. Salma çizgi oranları ve teorik bağıntılar	19
3. MATERYAL VE METOT	22
3.1. Teleskoplar	22
3.1.1. RTT150	22
3.1.2. T100	23
3.2. Verilerin İndirilmesi	24
3.2.1. Fotometri verilerinin indirilmesi	24
3.2.2. Tayfsal verinin indirilmesi	27
3.3. G107.5–1.5	29
3.3.1. SNK G107.5–1.5’in fotometrisi	30
3.3.2. SNK G107.5–1.5’in tayfölçümü	34
3.4. G67.7+1.8’in Güneybatısındaki Kaynak	37
3.4.1. G67.7+1.8’in güneybatısındaki kaynağın fotometrisi	37
3.4.2. G67.7+1.8’in güneybatısındaki kaynağın tayfölçümü	46
3.5. G189.6+3.3	47
3.5.1. G189.6+3.3’ün fotometrisi	49
3.5.2. G189.6+3.3’ün tayfölçümü	53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	55
4.1. G107.5–1.5	55
4.1.1. G107.5–1.5’in morfolojik özellikleri	55
4.1.2. G107.5–1.5’in tayfsal özellikleri	56
4.2. G67.7+1.8’in GB Bölgesi	57
4.2.1. G67.7+1.8’in GB bölgesinin morfolojik özellikleri	57
4.2.2. G67.7+1.8’in GB bölgesinin tayfsal özellikleri	58

4.3. G189.6+3.3	59
4.3.1. G189.6+3.3'ün morfolojik özellikleri	59
4.3.2. G189.6+3.3'ün tayfsal özellikleri	59
4.3.3. Optik ışıma tespit edilmeyen bölgeler	60
5. SONUÇLAR	61
6. KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Samanyolu’nda Bulunan Bazı Süpernova Kalıntılarının Optik Dalga Boylarında Araştırılması” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

27/06/2022

Günay BULUT



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

α	: Sağ açıklık
δ	: Dik açıklık
λ	: Dalgaboyu
F	: Işınım akısı
$H\alpha$	: Hidrojen α
$H\beta$	: Hidrojen β
Fe	: Demir
HI	: Nötr Hidrojen
HII	: Bir kez iyonlaşmış Hidrojen
SII	: Bir kez iyonlanmış Kükürt
OIII	: İki kez iyonlaşmış Oksijen
$M_{\odot}$	: Güneş kütlesi
$\text{\AA}$	: Angstrom
pc	: parsek
km	: Kilometre
s	: Saniye
K	: Kelvin
F	: Akı
$(B - V)$	: Renk indisi
N_e, n_e	: Elektron yoğunluğu
V_s	: Şok hızı
n_c	: Şok öncesi bulut yoğunluğu
A_v	: Yıldızlararası soğurma
T_e	: Etkin sıcaklık
σ	: Stefan-Boltzmann Sabiti

Kısaltmalar

CCD	: Charge Coupled Device (Yük bağlanmış cihaz)
CGPS	: Canadian Galactic Plane Survey
FWHM	: Full Width at Half Maximum (Yarı yükseklikteki Tam Genişlik)
IRAF	: Image Reduction and Analysis Facility
IY	: Işık yılı
RTT150	: TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi 150 m ayna çaplı teleskop
SN	: Süpernova
SNK	: Süpernova Kalıntısı
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
T100	: TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi 100 cm ayna çaplı teleskop
TUG	: TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
TFOSC	: TUG Faint Object Spectrograph and Camera
YAO	: Yıldızlararası Ortam

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. SN türü sınıflandırılması	4
Şekil 2.2. Tip Ia ışık eğrisi (Kirshner 1990)	6
Şekil 2.3. Yıldızın demir çekirdeği, silikon ve kükürt, oksijen, neon, oksijenle karışmış karbon, helyum ve son olarak hidrojen katmanlarıyla çevrilidir (ESO, Digitized Sky Survey)	7
Şekil 2.4. SNK IC 443'ün görüntüsü: $H\alpha$ (18×20 dk), $[O III]$ (38×10 dk), $[S II]$ (15×20 dk). Kırmızı = $H\alpha + 24 [S II]$, Yeşil = $[O III]$, Mavi = $[O III] + 15 H\alpha$	10
Şekil 2.5. Cassiopeia A ve onun genişleyen kalıntısının animasyonlu bir görüntüsü. Bu, kabuk tipi SNK klasik bir örneğidir (NASA / ESA ve Hubble Heritage STScI / Aura-ESA / Hubble İşbirliği)	10
Şekil 2.6. M1, Yengeç Bulutsusu: Dolu kabuk (pleriyonik) tipi SNK prototipi. SN 1054 patlamasından ortaya çıkmıştır (NASA, ESA ve Allison Loll / Jeff Hester (Arizona Eyalet Üniversitesi), Davide De Martin (ESA / Hubble))	11
Şekil 2.7. Farklı sıcaklıklara sahip karacisimler için Planck eğrisi	13
Şekil 2.8. Şok dalgasının, şok önü ve şok arkası olarak adlandırılan iki farklı bölgesinin şematik gösterimi	14
Şekil 2.9. Bazı yasaklı çizgilerin enerji diyagramları; kırmızı ok, artan enerjiyi göstermektedir	18
Şekil 2.10. Ortamın elektron yoğunluğu ve $[S II]$ akı oranı arasındaki ilişki (Osterbrock ve Ferland 2006)	20
Şekil 3.1. G107.5–1.5'in Kuzeybatı bölgesinin 4500 s poz süreli $H\alpha$ görüntüsü	31
Şekil 3.2. G107.5–1.5'in Kuzeybatı bölgesinin $H\alpha$ - V görüntüsü	31
Şekil 3.3. G107.5–1.5'in Kuzeydoğu bölgesinin 4500 s poz süreli $H\alpha$ görüntüsü	32
Şekil 3.4. G107.5–1.5'in Kuzeydoğu bölgesinin $H\alpha$ - V görüntüsü	32
Şekil 3.5. G107.5–1.5'in Güneydoğu bölgesinin 600 s poz süreli $H\alpha$ görüntüsü	33
Şekil 3.6. G107.5–1.5'in Güneydoğu bölgesinin $H\alpha$ - $H\alpha$ cont. görüntüsü	33
Şekil 3.7. G107.5–1.5'in mozaik görüntüleri ve 4850 MHz radyo süreklilik kontürleri (yeşil renkte) gösterimi	34
Şekil 3.8. G107.5–1.5'in KB bölgesinin 1800 s poz süreli 1 numaralı tayfı	35
Şekil 3.9. G107.5–1.5'in KB bölgesinin 900 s poz süreli 2 numaralı tayfı	35
Şekil 3.10. G107.5–1.5'in KD bölgesinin 1800 s poz süreli 1 numaralı tayfı	36
Şekil 3.11. G107.5–1.5'in GD bölgesinin 900 s poz süreli 1 numaralı tayfı	36
Şekil 3.12. G107.5–1.5'in GD bölgesinin 900 s poz süreli 2 numaralı tayfı	37
Şekil 3.13. G67.7+1.8'in (siyah elips) 4500 s poz süreli $[S II]/H\alpha$ görüntüsü, bu kalıntının GB'sindeki yaygın kaynağın (siyah ok) gösterimi	39

Şekil 3.14. G67.7+1.8 GB kaynağının 6300 s poz süreli $H\alpha$ görüntüsü	40
Şekil 3.15. G67.7+1.8 GB kaynağının $H\alpha$ -V süreklilik görüntüsü	41
Şekil 3.16. G67.7+1.8 GB kaynağının $[S II]$ -V süreklilik görüntüsü	42
Şekil 3.17. G67.7+1.8 GB kaynağının $([S II]-V) / (H\alpha-V)$ görüntüsü	43
Şekil 3.18. G67.7+1.8'in CGPS ile alınan radyo dalga boyundaki radyo kontürleri (yeşil) ve optik dalgaboyunda elde edilen $H\alpha$ -V süreklilik görüntüsünün üst üste gösterimi	44
Şekil 3.19. G67.7+1.8 GB kaynağının $([S II]-V) / (H\alpha-V)$ görüntüsü üzerinde $[S II]/H\alpha$ akı oranı hesaplanan alanların gösterimi	45
Şekil 3.20. G67.7+1.8'nin GB bölgesinin 900 s poz süreli 1 numaralı tayfi	46
Şekil 3.21. G67.7+1.8'nin GB bölgesinin 900 s poz süreli 2 numaralı tayfi	47
Şekil 3.22. G67.7+1.8'nin GB bölgesinin 1800 s poz süreli 3 numaralı tayfi	47
Şekil 3.23. G189.6+3.3'ün 2850 s poz süreli $H\alpha$ görüntüsü	49
Şekil 3.24. G189.6+3.3'ün $H\alpha - V$ görüntüsü	50
Şekil 3.25. G189.6+3.3'ün 2850 s poz süreli $[S II]$ görüntüsü	50
Şekil 3.26. G189.6+3.3'ün $[S II] - V$ görüntüsü	51
Şekil 3.27. G189.6+03.3'un $([S II]-V) / (H\alpha-V)$ görüntüsü	51
Şekil 3.28. G189.6+03.3'un $([S II]-V) / (H\alpha-V)$ görüntüsü üzerinden $[S II]/H\alpha$ oranları hesaplanan alanların gösterimi	52
Şekil 3.29. G189.6+3.3'ün $H\alpha$ -V görüntüsü üzerinde CGPS ile alınan radyo-süreklilik kontürleri (yeşil) gösterimi	52
Şekil 3.30. G189.6+3.3'ün 4500 s poz süreli tayfi	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. SNK tayflarında görülen çizgiler ve bu çizgilerin bazı özellikleri (Osterbrock ve Ferland 2006)	19
Çizelge 3.1. RTT150 teleskobunun optik özellikleri	22
Çizelge 3.2. RTT150 teleskobu CCD özellikleri	23
Çizelge 3.3. RTT150 teleskobunda fotometrik gözlemlerde kullanılan filtrelerin özellikleri	23
Çizelge 3.4. RTT150 teleskobuna takılı TFOSC aletinin özellikleri	23
Çizelge 3.5. T100 teleskobu genel özellikleri	24
Çizelge 3.6. T100 teleskobu CCD özellikleri	24
Çizelge 3.7. T100 teleskobunda kullanılan filtrelerin özellikleri	26
Çizelge 3.8. Optik ışıma tespit edilen SNK'ların gözlem bilgileri	28
Çizelge 3.9. Optik ışıma tespit edilemeyen bölgelerin gözlem bilgileri	28
Çizelge 3.10. RTT150 teleskobuyla alınan tayfların gözlem bilgileri	29
Çizelge 3.11. G107.5–1.5'in tayflarında gözlenen çizgilerin sırasıyla KB, KD ve GD bölgeleri için akı değerleri verilmiştir. Tüm akı değerleri $F(H\alpha) = 100$ olarak normalize edilmiştir. S/G oranları parantez içinde verilmiştir. Çizgi oranları ve hesaplanan fiziksel parametreler de bu çizelgede sunulmuştur	38
Çizelge 3.12. G67.7+1.8 GB kaynağının $[S II]/H\alpha$ görüntüsünden ölçülen akı değerleri	45
Çizelge 3.13. G67.7+1.8 GB bölgesinden alınan tayflardaki çizgi akı (F) değerleri. Tüm akı değerleri $F(H\alpha) = 100$ olacak şekilde normalize edilmiştir. S/G oranları parantez içinde verilmiştir. Çizgi oranları ve hesaplanan fiziksel parametreler çizelgede sunulmaktadır	48
Çizelge 3.14. G189.6+3.3 kaynağının $[S II] / H\alpha$ görüntüsünden elde edilen değerler	53
Çizelge 3.15. G189.6+3.3'nin tayfında görülen çizgilerin akıları (F) değerleri. Tüm akı değerleri $F(H\alpha) = 100$ olacak şekilde normalize edilmiştir. S/G oranları parantez içinde verilmiştir. Çizgi oranları ve fiziksel parametreler çizelgede sunulmuştur	54

1. GİRİŞ

Süpernovalar (SN) olarak bilinen büyük enerjili ($\sim 10^{51}$ erg) patlamalar ve geride bıraktıkları kalıntılar, Galaksimiz, yıldızlararası ortam (YAO) ve birçok yıldızlararası maddenin oluşumu için evrendeki en önemli olaylardan biridir. SN'ler, büyük kütleli anakol ($M > 8M_{\odot}$) yıldızları için evrimin son aşamasıdır (Woosley ve Weaver 1986). Bu yıldız ölümü olayı ile evrene dağılan maddeler gezegenlerin, bitkilerin ve hayvanların yapı taşı haline gelir (Prantzos 2007). İlk olarak Tycho Brahe, 1500'lü yıllarda Samanyolu'nda SN'lerin meydana geldiğini keşfetmiştir fakat şu an sadece kalıntıları mevcuttur. Bunun sebebi bir SN'nin doğumu ve ölümü arasında binlerce yıl olmasıdır.

Süpernova kalıntıları (SNK), SN patlaması sonucunda atılan gazın (ejecta), YAO'da bulunan gazı da süpürerek genişlemesiyle oluşurlar. SNK, patlama hızına ve bulunduğu ortamın yoğunluğuna göre genişleyen bir bulutsudur. Patlama ile YAO'ya yayılan gazın genişleme hızı, ortamdaki ses dalgasının hızından fazla olursa, bu gaza "şok dalgası" denir. YAO'da ilerleyen şok dalgası, gazın uyarılmasına ve iyonlaşmasına sebep olduğu için ortamdaki gazı sıkıştırır ve ısıtır. Bu nedenle şok dalgasının önündeki (shock-front) bu bölgelerde sıcaklık 10^7 K ve üstünde olur. Şok dalgasının arkasındaki (shock-behind) bölgede ise sıcaklık $\sim 10^4$ K mertebesinde (Osterbrock ve Ferland 2006). Bir gazın sıcaklığı arttıkça atomları iyonize edebilecek kadar (ışığa ya da çarpışma yolu ile) enerji ortaya çıkar. Yayılan kabuk çok sıcak olduğu için ortamda seyrek bulunan hidrojen atomları iyonizasyona uğrar. Aynı zamanda bu sıcaklıktan dolayı YAO'da bulunan oksijen de beşinci dereceden iyonizasyona uğrar. SN patlamasında fırlatılan maddenin yanı sıra, patlayan yıldızın oluşturduğu şok dalgasıyla süpürülen yıldızlararası maddeden oluşan SNK, ağır elementleri YAO'ya yayar. Kabuk, YAO'da yayıldıkça, önündeki gazı süpürerek ilerlediği için geçtiği yerlerdeki gaz seyrelir. Bu büyüklükte genişleyen şok dalgaları, yıldızlararası gazın büyük bir bölümünün evriminde etkili olur (Woosley ve Weaver 1986; Woosley ve Janka 2005). Genişleyen SNK'ların yıldızlararası madde ile etkileşimleri, yıldızlararası maddenin yapısı ve bileşimi hakkında fikir verir. Atom numarası demire (Fe) kadar olan çift numaralı elementler, anakol aşamasından sonra yıldızların çekirdeklerinde ve geri kalan elementler de yıldızların ölüm aşamalarında (esas olarak kırmızı devler) üretilir. Demirden daha ağır elementler bir SN patlaması sırasında üretilir. SNK'lar kozmik ışınların üretimi ile de ilişkilendirilir (Biermann vd. 2010; Goldsmith 1989). Daha yaygın bir yıldız ölümü biçimi ise gezegenimsi bulutsuyu oluşturur. Gezegenimsi bulutsuların aksine, bir SN patlaması yıldızlararası madde içinde daha fazla yıldız oluşumunu tetikleyebilecek yüksek enerjili şok dalgaları yaratır (Xu vd. 2011). Bu nedenle bulundukları galaksideki kimyasal elementlerin bolluğunu artırır. SN'lerin yarattığı süper kabarcıklar (super-bubbles), onların oluşturduğu şok dalgaları 200 ışık yılı (IY) uzaklıktaki ortamı doğrudan etkileyebilir (Vink 2020).

SNK'lar aynı zamanda H II bölgeleri ve molekül bulutları gibi nesnelerle yakın oldukları için birbirleriyle etkileşime geçerek ortamdaki madde yoğunluğunun değişmesine neden olurlar. H II bölgesi, iyonize hidrojen atomlarından oluşan yaygın bulutsu ya da salma bulutsusu olarak bilinir. SNK ve H II bölgelerini ayırt etmek ve ortamın parametrelerini belirlemek söz konusu fiziksel süreçleri anlamak açısından oldukça önemlidir.

Samanyolu'nda bulunan SNK'ların çoğu galaksi düzlemine yakın yerlerde bulunurlar. SNK'ların böyle bir ortamda bulunması optik gözlemi zorlaştıran bir etkidir. Gözlem yaparken dar bant (narrow band) filtreleri ($H\alpha$, [S II], [O III] ve [N II] vb.) kullanarak uzun poz sürelerinin verilmesi bu zorluğun aşılmasını sağlar (Osterbrock ve Ferland 2006). SNK'ların bulundukları konum nedeniyle çok azının (yaklaşık dörtte birinin) optik dalga boylarında gözlemi bulunmaktadır (Safi-Harb vd. 2013). Optik dalga boylarındaki gözlemlerden, SNK'ya ve bulundukları ortama ait önemli bilgiler elde edilmektedir. Bu bilgiler ortamın elektron yoğunluğu, şok dalgasının hızı, şok öncesi bulut yoğunluğu gibi yıldızlararası ortamın ve SNK'nın bazı özellikleridir.

SNK'lar radyo, X-ışın ve optik bölgelerde yapılan gözlemlerle belirlenir. SNK'lar ısısal olmayan sinkrotron ışıması (non-thermal synchrotron) yaptığı için esas olarak radyo bölgesinde ışıma verirler. Şok dalgasının önünde gazın sıcaklığı milyon derece mertebesinde olduğu için bu bölgeler X-ışıması yaparlar. Şok dalgasının arkasındaki soğuk bölgeler ise optik ışıma verir. Günümüzde galaksimizin üyesi olduğu bilinen ve radyo bölgesinde gözlenmiş yaklaşık 300 adet SNK tespit edilmiştir (Green 2019). SNK'lar yoğunlukla radyo dalga boylarında yaptıkları ışımlarla keşfedilseler de elektromanyetik tayfin her dalga boyunda ışıma yaparlar (Osterbrock ve Ferland 2006). Birçok SNK, radyo dalga boyunun yanı sıra optik dalga boylarında da $H\alpha$ gözlemleri ile keşfedilmiştir (How vd. 2018; Mavromatakis 2003; Sezer vd. 2012).

Optik bölgede yapılan fotometrik gözlemlerle, SNK'nın optik ışımasının, kalıntının neresinden geldiği bulunabilir. Bunun için $H\alpha$ filtresi ile yapılan gözlemlerden yararlanılır ve bu şekilde SNK'nın optik bölgedeki morfolojisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Böylece SNK'ların optik dalga boylarında açısal büyüklükleri tespit edilerek bu büyüklükler, radyo dalga boyu görüntüleriyle karşılaştırılır. Ayrıca, [S II] / $H\alpha$ akı oranı ile SNK'lar H II bölgelerinden ayırt edilebilmektir. Bu amaçla, gözlemlerden elde edilen [S II] / $H\alpha$ akı oranının, teorik değerlerle karşılaştırılması da yapılır.

Tayfsal gözlemlerle ise, SNK'lardan gelen salma çizgi akı değerleri belirlenir ve bu değerler kullanılarak SNK'ların ve bulundukları ortamın parametreleri hesaplanır. Ortamın elektron yoğunluğu, şok dalgasının hızı, şok öncesi bulut yoğunluğu, yıldızlararası sönümleme katsayısı, nötr hidrojen sütun yoğunluğu ve renk artışı gibi

parametreler her SNK için belirlenir ve teorik değerlerle karşılaştırılır. Hangi çizgi akı oranlarının nasıl kullanılacağı “Materyal ve Metot” kısmında açıklanmıştır.

Bu tez çalışmasında Samanyolu’nda bulunan G36.6+2.6, G93.3+6.9, G150.8+3.8, G152.4–2.1, G181.1+9.5 SNK’larının fotometrik ve G107.5–1.5, G189.6+3.3, G67.7+1.8 SNK’larının fotometrik ve tayfsal gözlemleri yapılmıştır.

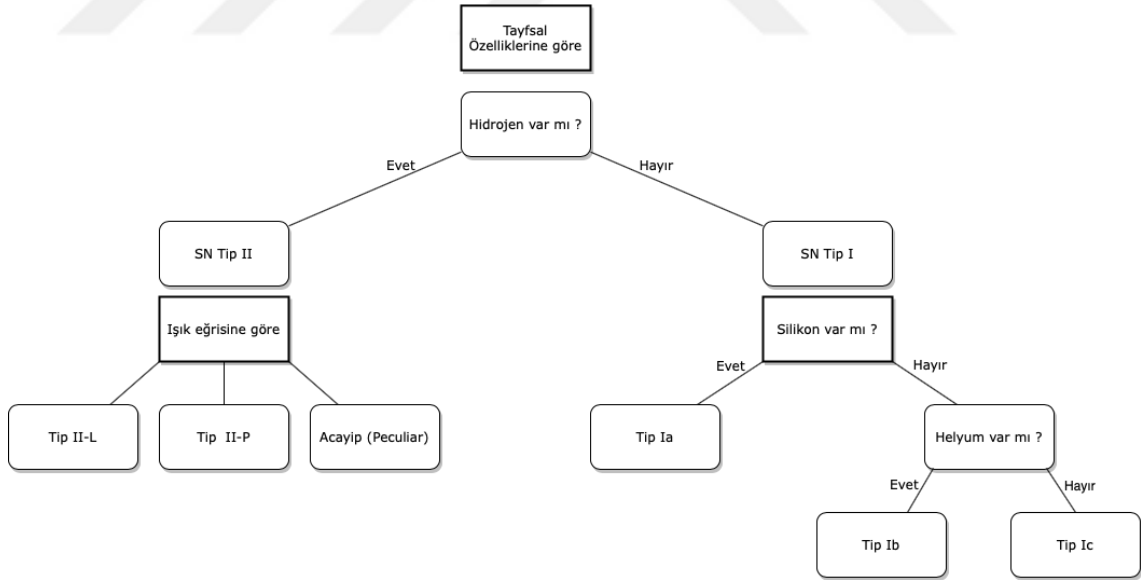


2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Süpernovalar

SN patlamaları, Baade ve Zwicky (1934) tarafından ilk kez tanımlanmıştır. Zwicky (1938) tarafından yapılan araştırmaya dayanarak Minkowski (1941) 12 SN gözlemi yapmıştır. Bu gözlemlere dayanarak SN patlamalarının optik bölge tayflarını iki türe ayırmıştır: Tip I ve Tip II (Şekil 2.1). Bu iki tür arasındaki temel fark, optik bölge tayfında hidrojen (H) elementinin varlığı ya da yokluğudur. Alt türlerin belirlenmesinde, küçük harfli (a, b, c, L, P) olarak isimlendirilenler tayfsal farklılıklara göre ayrılır. Büyük harfliler (I, II) ise ışık eğrisinin zamana bağlı şekli ile isimlendirilir.

Tip Ia SN'ler, Hubble tarafından sınıflandırılan tüm galaksi türlerinde meydana gelirken, Tip II SN'ler esas olarak geç tip (spiral) galaksilerde meydana gelir (van den Bergh vd. 2003). Tip Ia ve Tip II türleri arasındaki bir diğer önemli fark, geç tip galaksi içindeki konumlarıdır. Tip II, aynı zamanda çekirdek çöküş (core-collapse, CC) SN olarak da bilinir. Çekirdek çöküş türleri, çoğunlukla genç, popülasyon I yıldızlarının bulunduğu galaksilerin tozlu kollarında ve genellikle hidrojen bulutu (H I ve H II) bölgelerinin yakınında bulunur. Tip Ia SN ise bir galaksinin tüm bölgelerinde bulunur. Tip Ia SN'lerin esas olarak yaşlı popülasyon II yıldızlarıyla ilişkili olma olasılığı vardır (Wheeler ve Benetti 2000), bu da tüm galaksi türlerinde neden bulunduklarını açıklar.



Şekil 2.1. SN türü sınıflandırılması

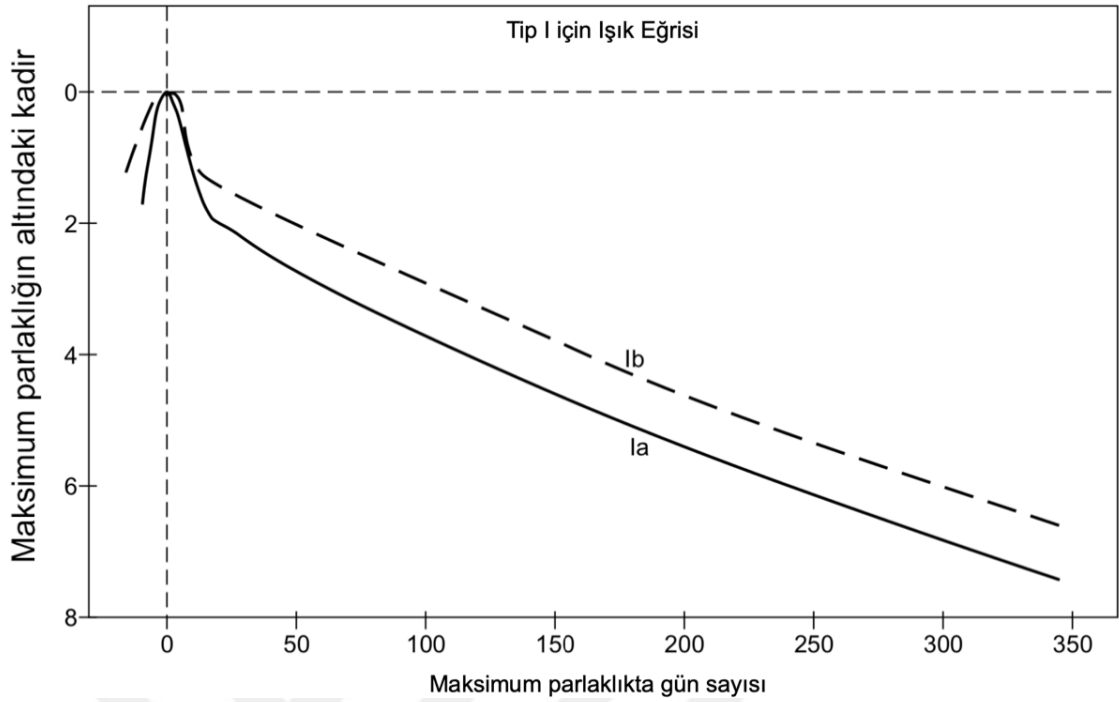
2.1.1. Tip Ia süpernovası

Tip Ia SN'nin patlama sırasında dış H katmanını kaybettiği, optik tayfında H salma çizgisi bulunmadığından anlaşılmaktadır. Bir Tip Ia SN'nin, beyaz cüce bileşenli bir çift sistemde, beyaz cücenin patlamasıyla oluştuğu bilinmektedir. Bir beyaz cüce, başlangıç kütlesi $8 M_{\odot}$ den daha küçük kütleli yıldızların evriminin son aşamasıdır ve bu yıldızlar Karbon ve Oksijenden (C + O) oluşan çekirdeğe sahiptir. Beyaz cüce patlaması iki senaryo ile açıklanmaktadır.

Birinci senaryo, bileşenlerinden biri süperdev ($M > 12 M_{\odot}$) yıldız, diğeri bir beyaz cüce olan çift sistemin varlığına dayandırılmaktadır. Süper dev yıldızdan akan gaz, doğrudan beyaz cüceye çarpmaz, beyaz cücenin etrafında birikir ve böylece Roche lobunu doldurur. Biriken gaz dahil olmak üzere toplam beyaz cücenin kütlesi Chandrasekhar kütle limitini (yaklaşık $1.44 M_{\odot}$) aştığında, ortamdaki dejenere elektron basıncı bu ağırlığı dengeleyemediği için termal patlama olarak bilinen bir işlemle beyaz cüce genişler ve patlar (Iwamoto vd. 1999).

Diğer senaryo ise, toplam kütlesi Chandrasekhar sınırını aşan iki beyaz cücenin birleşmesidir. Bu çift sistemde beyaz cüceler zamanla birbirine yaklaşarak birleşir ve patlama sonucunda nötron yıldızı veya karadelik oluşmaz çünkü kütleleri yeterli değildir. Fe ve Si gibi bazı elementlerin çoğu, O, Ne ve Mg'den sentezlenmektedir (Nomoto vd. 1984).

Tip Ia SN'nin karakteristik ışık eğrileri Şekil 2.2'deki gibidir. Tip Ia SN'ler, Chandrasekhar sınırında benzer kütleli beyaz cüceye sahip olmaları nedeniyle, genellikle ışık eğrilerinde aynı tepe parlaklığını gösterirler. Bu özelliği kullanılarak, Tip Ia SN'lerden, kozmolojik mesafelerin ölçülmesinde yararlanılır.



Şekil 2.2. Tip Ia ışık eğrisi (Kırshner 1990)

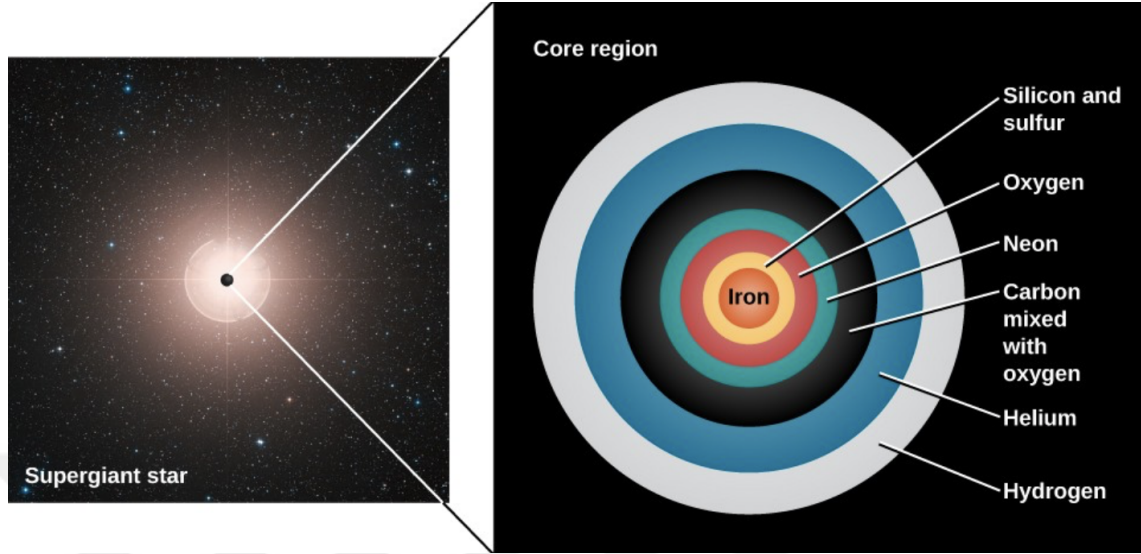
2.1.2. Çekirdek çöküş süpernovası

CC SN'leri, büyük kütleli yıldızların ($M \geq 8 M_{\odot}$) patlaması sonucunda oluşur. Tip II, Tip Ib ve Tip Ic SN türlerinde görülür. Büyük kütleli bir yıldızın evriminin son aşaması Güneş gibi daha küçük kütleli yıldızlardan farklıdır. Büyük kütleli bir yıldız, merkezindeki yüksek basınç ve sıcaklık nedeniyle nükleer füzyon ile H ve He'den daha ağır elementleri oluşturabilir (Şekil 2.3). Helyum çekirdeğinin büzülmesi sıcaklığı yükseltir, böylece C yanmasını tetikler. Karbon yanma aşamasından sonra neon, oksijen ve silikon yanma aşamaları gelir ve bunların her biri öncekinden daha kısa sürer. Silisyumun yanma aşamasının sonucu demir (Fe) üretimi gerçekleşir. Fe çekirdek gittikçe sıkışır ve $\sim 3 \times 10^9$ K'lık bir iç sıcaklığa ulaşır ve böylece Fe çekirdeklerinde fotoparçalama (photodisintegration) gerçekleşir;



Bu reaksiyon endotermik olduğu için yıldız iç yapısının dengesi bozulur, yıldız kütle çekimine karşı koyamaz. Yıldızı çevreleyen madde tarafından salınan enerji dışa doğru yayılan bir şok dalgası yaratır (Thielemann vd. 1995). Şok dalgası patlayıcı nükleer füzyona yol açar ve yıldızlararası ortama yayılır. Bu nedenle, CC tarafından oluşan

element bollukları, çökmekte olan yıldızın (SN Tip Ib, Ic ve II türlerinde) kütlesine bağlı zarftan etkilenir. Patlamadan geriye bir nötron yıldızı veya bir karadeliik kalır.



Şekil 2.3. Yıldızın demir çekirdeği, silikon ve kükürt, oksijen, neon, oksijenle karışmış karbon, helyum ve son olarak hidrojen katmanlarıyla çevrilidir (ESO, Digitized Sky Survey)

Kütle-çekimsel çöküşün ürettiği toplam enerji, CC SN patlaması sırasında ~ 10 s boyunca $\sim 10^{53}$ erg'dir. Bununla birlikte, genişleyen şok dalgasının enerjisi sadece $\sim 10^{51}$ erg'dir. Çünkü nötrinolar toplam enerjinin %99'unu taşır. Büyük kütleli yıldızların daha küçük kütleli yıldızlardan ($\sim 10^6$ – 10^7 yıl) daha kısa bir ömrü vardır. Bu nedenle CC SN patlama olasılığı, Tip Ia patlama olasılığından daha yüksektir. CC SN patlama olayları, gözlenen SN patlama olaylarının yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır.

2.2. Süpernova Kalıntıları

Bir SN, bir beyaz cücenin (Tip Ia SN) veya büyük kütleli bir yıldızın (Tip II ve Ib / c SN) patlamasını işaret eder. SN patlamalarının ardından YAO'da kalan ve yayılan kalıntılar, SNK olarak tanımlanır. SNK'lar, yıldızdan atılan kütle ile SNK'yı çevreleyen ortam (circumstellar medium, CSM) ve YAO arasındaki etkileşimden üretilir. Bu nedenle SNK'lar, yıldızların yaşam döngüsü ve galaksideki madde döngüsü arasında önemli bir bağlantıdır. Yıldız ömrü boyunca ve patlama sırasında üretilen ağır elementlerle zenginleştirilmiş olan atılan madde, YAO'da on binlerce yıl boyunca on binlerce parsek genişler. Başlangıçta son derece süpersonik olan hareketler, parçacıkları hızlandırdığı için, maddeyi aynı anda ısıtan ve iyonize eden güçlü bir patlama dalgasını tetikler. Şekil 2.4'deki gibi SNK görüntüsü SN patlaması sonrası yapılan gözlemlerle

elde edilmektedir. Başta $H\alpha$ olmak üzere dar band filtreler kullanılarak SNK'ların optik dalga boyunda görüntüleri ve morfolojileri elde edilir.

2.2.1. Süpernova kalıntılarının evrimleri

SNK'lar, yıldızlararası ortamı ısıtırlar, galaksiye ağır elementler dağıtırlar ve kozmik parçacıkları hızlandırırlar. Bir SNK'nın ömrü dört ana aşamada incelenir.

Birinci aşama; patlama sonrasında “serbest genişleme” evresi olarak görülür. Genişleme, YAO ile etkileşime giren şok dalgasının önünde oluşur. Bu evre, SNK içindeki sabit sıcaklık ve kabuğun sabit genişleme hızı ile karakterize edilir. Bu süreç 90–300 yıl arasında sürer.

Sedov veya Adyabatik evre olarak bilinen ikinci evrede; SNK yavaşlamaya ve soğumaya başlar (Kondorskii ve Sedov 1959). Bu aşamada, SNK'nın ana kabuğu Rayleigh-Taylor kararsızlığındadır ve SN ile atılan kütle, şok dalgası tarafından hızlandırılan gazla karışır. Bu karışan madde aynı zamanda SNK kabuğunun içindeki manyetik alanı artırır. Bu aşama 10.000–20.000 yıl sürer. Öte yandan SNK, sıcak yıldızlararası madde bölgesinde genişliyorsa, bu aşama süresi (bir SNK yarıçapı yaklaşık 180 pc'ye ulaşabilir) çok uzun olabilir (McKee ve Ostriker 1977).

Üçüncü aşama, Kar küreme (snow plow) veya Radyatif evre olarak adlandırılır. Kabuk yaklaşık 10^6 K'ye soğuduktan sonra bu aşama başlar. Bu aşamada, elektronlar daha ağır atomlarla (Oksijen gibi) yeniden birleşmeye başlar, böylece kabuk daha verimli bir şekilde enerji yayabilir. Bu da kabuğu daha hızlı soğutur, büzülmesini ve yoğunlaşmasını sağlar. Kabuk ne kadar çok soğursa, daha fazla atom yeniden birleşerek bir kartopu etkisi yaratır. Bu kartopu etkisi nedeniyle, SNK hızla ince bir kabuk geliştirir ve enerjisinin çoğunu optik ışık olarak yayar. Burada hız, r^{-3} ile orantılı olarak hızla azalır (r , SNK yarıçapıdır). Bu aşamada, ortamdaki madde X-ışını üretmek için yeterli sıcaklığa sahip değildir, bu nedenle optik ve radyo bölge gözlemleri ile bu orta yaşlı SN kalıntıları tespit edilir. Bu aşama yaklaşık 20.000 yıl kadar sürebilir.

Dördüncü aşama “dağılma evresi” olarak bilinmektedir. Kar küreme evresinde hız, sonik hale geldiği için SNK'dan geriye kalanlar YAO'ya dağılır ve kabuk parçalanır. Tipik olarak bu, radyatif evrenin sonunda başlar. SNK parçalara ayrılmaya başlar ve bu son aşamada SNK boyutu yaklaşık 50 (başlangıçta) ile 100 pc arasında değişir. SNK dağıldıkça elektromanyetik salmalar hızla düşer ve SNK'nın ölümü yani YAO ile aynı yoğunluğa düşmesiyle ortamda kaybolması gerçekleşir.

2.2.2. Süpernova kalıntılarının sınıflandırılmaları

SNK'lar morfolojilerine göre üç grupta incelenir:

1. Kabuk tipi (Shell type) SNK'lar

SN patlaması ile oluşan şok dalgası, YAO'ya doğru yayılırken karşılaştığı yıldızlararası ortamı ısıtır, böylece uzayda büyük sıcak bir kabuk oluşturur. SNK'da orta kısmına göre kenarlarında daha fazla sıcak gaz bulunmaktadır. Bu durum kabuğun ısınımasının gözlemlerde halka benzeri bir yapı olarak görülmesine sebep olur (bkz. Şekil 2.4). Bu olguya kenar parlaması (limb brightening) denir. Bu SNK'ların serbest genişleme ve adyabatik evresi arasında olduğunu gösterir.

2. Yengeç benzeri (Crab type) SNK'lar

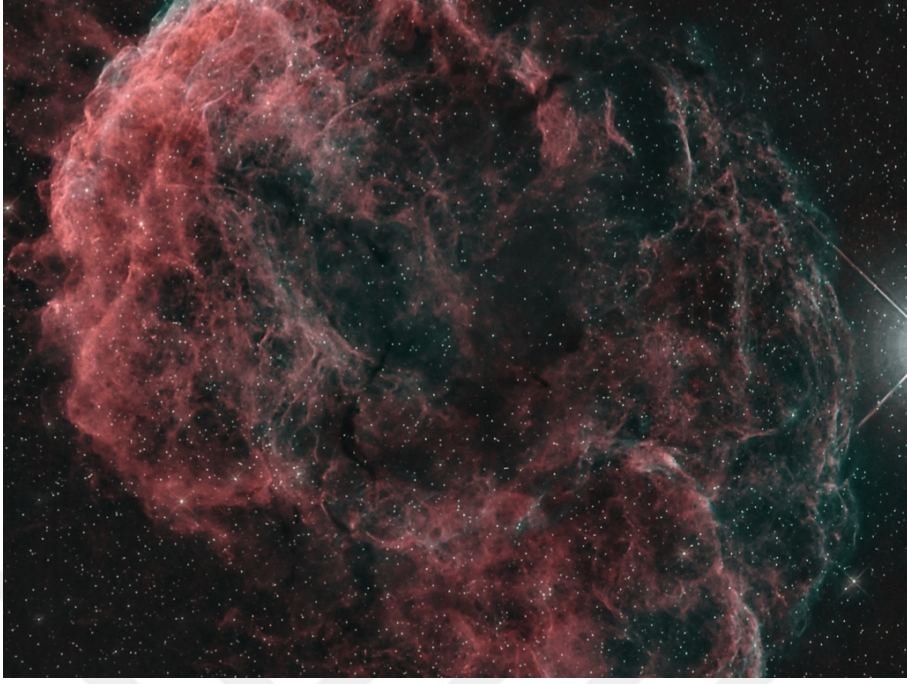
Bu kalıntılar pulsar rüzgar bulutsuları veya plerion olarak da adlandırılır. Kabuk benzeri kalıntıların aksine, bir halkadan daha çok bir damla gibi görünür. Plerionlar, ortasında bulunan pulsardan atılan yüksek enerjili elektronlarla doludur. Bu elektronlar, sinkrotron radyasyonu ile manyetik alanla etkileşime girer ve X-ışınları, görünür ışık ve radyo dalgaları yayar. En ünlü plerion Şekil 2.6'daki SNK Yengeç Bulutsusu'dur.

3. Kompozit tip (Composite type) SNK'lar

Bu kalıntıların morfolojileri kabuk tipi kalıntılar ile yengeç benzeri kalıntılara benzemektedir. Elektromanyetik tayfın hangi dalgaboyunda gözlem yapıldığına bağlı olarak kabuk benzeri, yengeç benzeri veya her ikisi de oluşabilmektedir. Isıl (termal) ve dolu tip olmak üzere iki tür kompozit kalıntı vardır.

a) Isıl kompozit kalıntılar: Bu SNK'lar radyo dalga boyunda kabuk tipi olarak görünür. Bununla birlikte, X-ışınlarında yengeç benzeri görünürler, ancak gerçek yengeç benzeri kalıntıların aksine, X-ışını tayfları sıcak gazı işaret eden tayfsal çizgilere sahiptir.

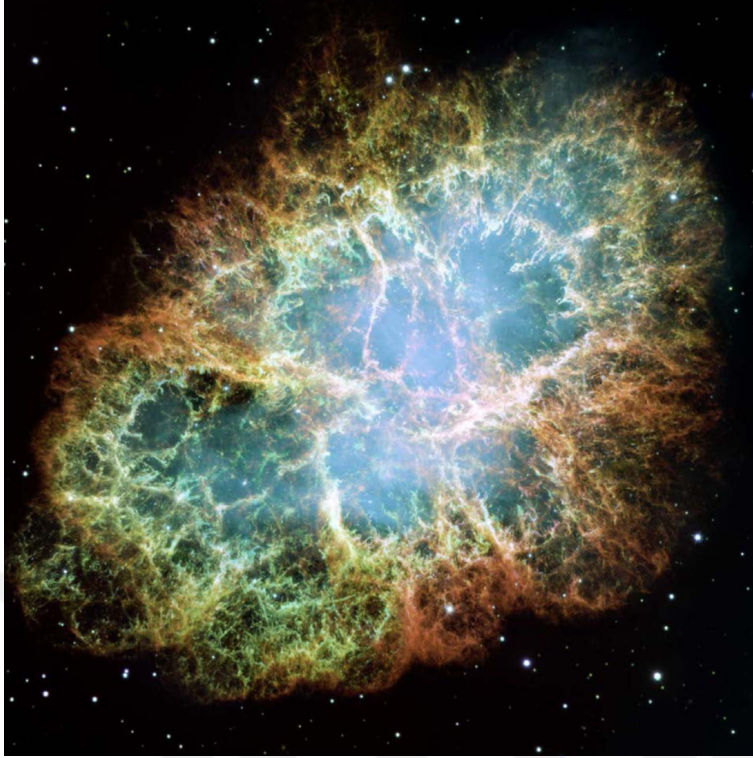
b) Dolu tip (Pleriyonik) kompozit kalıntılar: Bu kalıntılar hem radyoda hem de X-ışınlarında içi dolu kabuk tipinde görünürler. Bu tür kalıntıların merkezinden X-ışın tayf çizgisi gözlenmez. Kabuğun yakınlarında bu çizgi gözlenebilir. İçi dolu olsa da merkezinde pulsar gibi bir kaynak bulunmaz.



Şekil 2.4. SNK IC 443'ün görüntüsü: $H\alpha$ (18×20 dk), $[O III]$ (38×10 dk), $[S II]$ (15×20 dk). Kırmızı = $H\alpha + 24 [S II]$, Yeşil = $[O III]$, Mavi = $[O III] + 15 H\alpha$ (Vienna Gözlemevi)



Şekil 2.5. Cassiopeia A ve onun genişleyen kalıntısının animasyonlu bir görüntüsü. Bu, kabuk tipi SNK klasik bir örneğidir (NASA / ESA ve Hubble Heritage STScI / Aura-ESA / Hubble İşbirliği)



Şekil 2.6. M1, Yengeç Bulutsusu: Dolu kabuk (pleryonik) tipi SNK prototipi. SN 1054 patlamasından ortaya çıkmıştır (NASA, ESA ve Allison Loll / Jeff Hester (Arizona Eyalet Üniversitesi), Davide De Martin (ESA / Hubble))

2.3. Süpernova Kalıntılarının Optik Işınması ve Oluşum Mekanizmaları

SNK'dan kaynaklanan ısısal ışınım veya karacisim ışınımı, gaz ve toz parçacıklarının birlikte ısıtılmasının bir sonucudur. Karacisim ışınımı kuantum mekaniğinin iki temel deneyinden biridir (diğeri fotoelektrik etkidir). 1900 yılında Max Planck tarafından açıklanan karacisim ışınımı, elektromanyetik ışınımın “quanta” adı verilen ayrı enerji paketlerinde salındığını varsayar (Planck 1900). Bu kuantumlar o zamandan beri foton olarak bilinmektedir. Bir fotonun taşıdığı enerji;

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.2)$$

burada h , Planck sabitidir ve $h = 6.6 \times 10^{-34} J \cdot s$ 'dir. Enerji, frekans ile doğru ve dalga boyu ile ters orantılıdır. Bu formülde $hc = 1.98644568 \times 10^{-25} J \cdot m$ 'dir. Bir fotonun taşıdığı momentum,

$$P = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c} \quad (2.3)$$

ile verilir. Sıcaklığı 0 K'nin üzerinde olan herhangi bir cisim, karacisim ışıını yayar. Karacisim ışıını tanımlayan üç temel özellik şunlardır:

1.) Frekansın bir fonksiyonu olarak ışıının yoğunluğu belirli bir şekile sahiptir. Frekans azaldıkça, maksimum değere ulaşana kadar yoğunlukta dik bir artış olur, daha sonra frekans azalmaya devam ettikçe yoğunlukta daha yavaş bir azalma olur.

2.) ışıının maksimum yoğunlukta dalg boyu, cismin sıcaklığı olan T ile ters orantılıdır. Bu Wien'in kayma yasasıdır (Wien 1897). Yasaların frekans cinsinden,

$$V_{\max} \approx \left(\frac{3kT}{h} \right) \approx (6 \times 10^{10}) T \quad (2.4)$$

burada $\frac{3kT}{h} = 2.32918351 \times 10^{33} m^{-1} kg^{-1}$ dir. Bu formül aynı zamanda dalg boyu cinsinden,

$$\lambda_{\max} \approx \left(\frac{0.51}{T} \right) \quad (2.5)$$

yazılabilir. $\lambda_{\max}$; cm ve sıcaklık T ; K cinsindendir. Wien kayma yasası; ışıını yapan bir nesnenin rengi ile sıcaklığı arasındaki ilişkiyi gösterir. ışıının rengi, nesnenin sıcaklığı arttıkça kırmızıdan turuncuya, sarıya, mora ve sonra maviye geçer. Sıcaklık $\nu_{\max}$ 'ın ultraviyole veya X-ışıını bölgelerinde bulunduğu noktaya doğru gittikçe cisim mavi renkte ışıını yapar. Çok daha düşük sıcaklıklarda, nesne optik foton yaymayabilir, ancak kızılötesi veya mikrodalg ışıını yayar, böylece uygun teleskopla tespit edilebilir.

3.) Birim yüzey alanı başına tüm doğrultularda yayılan toplam enerji olan E_A (tüm elektromanyetik tayfta toplanır) cismin sıcaklığının dördüncü kuvveti ile orantılıdır (Stefan-Boltzmann Yasası). Böylece,

$$E_A \sim \sigma T^4 \quad (2.6)$$

burada $\sigma = 5.6704 \times 10^{-5} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ Stefan-Boltzmann sabiti olarak bilinir (Boltzmann 1879). Planck eğrisinin (Şekil 2.7) altındaki alanı bulmakla eşdeğerdir. Bu, bir cismin sıcaklığı ve parlaklığı arasındaki ilişkiyi verir.

Nesnenin yüzeyinden yayılan toplam enerji E 'dir.

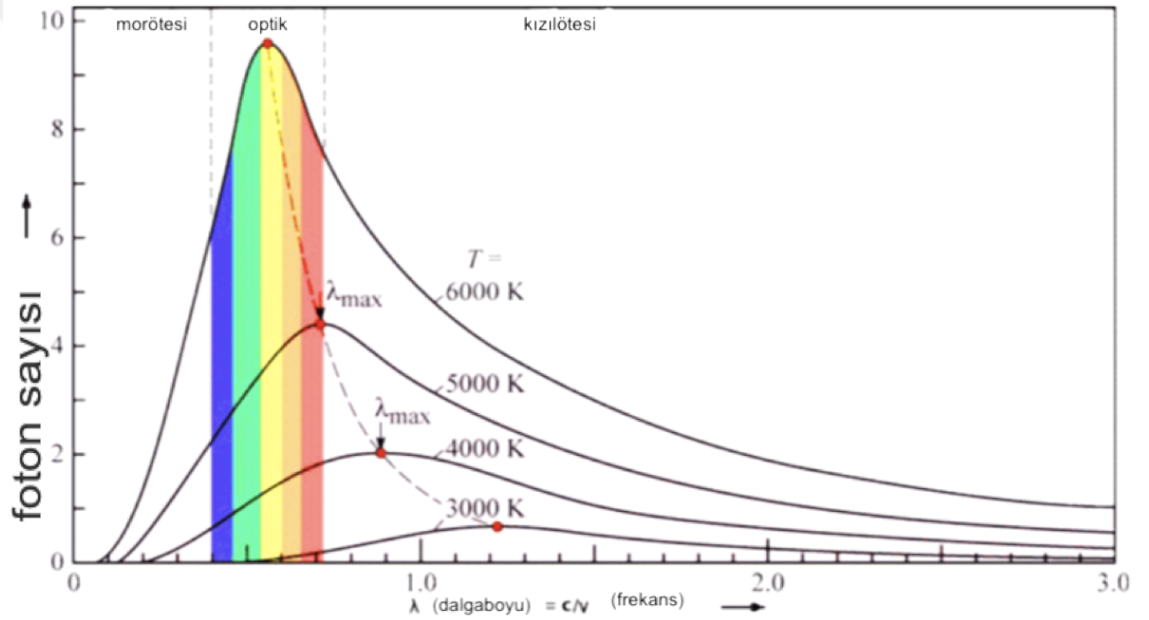
$$E = E_A \times A \sim \sigma T^4 \times A \quad (2.7)$$

burada A cismin yüzey alanıdır. Bununla birlikte, SNK için A 'nın belirlenmesi zor olabilir.

Max Planck bu özellikleri, Planck Yasası (karacisim ışıınımı) adı verilen bir formülasyonda birleştirmiştir;

$$F_{\nu}(T) = \left(\frac{2h\nu^3}{c^2} \right) \left(\frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \right) \quad (2.8)$$

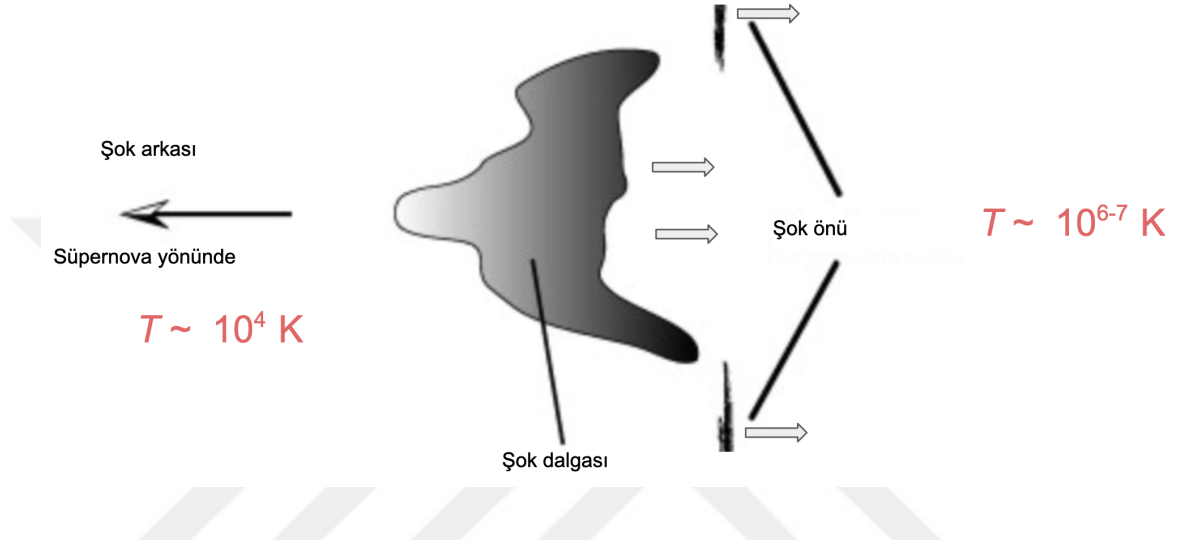
burada $F_{\nu}(T)$ birim alan başına yayılan enerji (akı yoğunluğu), ν frekans, T , Kelvin cinsinden, sıcaklık, h Planck sabiti ve k Boltzmann sabitidir. Wien yasası ve Rayleigh-Jeans yasası deneyseldir ve her ikisi de Planck yasasından türetilir. Planck yasası, Şekil 2.7'deki gibi eğriler oluşturur.



Şekil 2.7. Farklı sıcaklıklara sahip karacisimler için Planck eğrisi

Yıldızlar, karacisim gibi modellense de öyle davranmadıkları bilinmektedir. Gaz ve toz bulutları (örneğin SNK'lar), karacisim gibi davranmaya daha yakındır. Bir SNK'nın ışıınının λ_{max} değeri kızılötesindeyse karacisim ışıını, SNK'daki tozun sıcaklığından dolayıdır. Şok dalgasıyla yayılan SNK'nın sıcaklığı, yayıldığı ortama ve SNK patlama hızına bağlı olarak değişmektedir. Şok dalgasının, önünde ve arkasında bıraktığı toz ve gazda sıcaklıklar farklıdır (Şekil 2.8). Şok dalgasının arkasında sıcaklık daha düşüktür ve böylece bu bölgelerde optik dalga boylarında ışıma görülür. Gaz ve tozu süpürerek ilerleyen şok dalgasının önü ise daha yoğun ve sıcaktır. Bu nedenle buradan X-ışını görülmektedir (Osterbrock ve Ferland 2006).

X-ışını bölgesinde yapılan gözlemlerle plazma ve plazma sıcaklığı hakkında bilgi elde edilir (Sezer vd. 2018; Kawasaki vd. 2020). Yeniden birleşen plazmanın iyonlaşma zamanı ve yeniden birleşme zaman ölçeği bulunabilmektedir (Yamaguchi 2020; Sawada vd. 2012). SNK'nın yaşı, akı yoğunluğu, ortamın elektron yoğunluğu ve sıcaklığı gibi özellikler bulunur (Osterbrock ve Ferland 2006). Ayrıca emisyonun geldiği hacim hesaplanabilir ve elementlerin YAO'dan mı ejektadan mı geldiği X-ışın analizleriyle tespit edilir (Lazendic ve Slane 2006; Vink 2020).



Şekil 2.8. Şok dalgasının, şok önü ve şok arkası olarak adlandırılan iki farklı bölgesinin şematik gösterimi

SNK'ların optik bölgedeki gözlemleri; SN patlama türü, şok dalgasının hızı, ortamdaki elektron yoğunluğu gibi yıldızlararası ortamın ve SNK'nın bazı özellikleri hakkında bilgiler sunmaktadır (Kirshner vd. 1980; Mavromatakis 2003). Bu parametreler Bölüm 2.3.5'te ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

SNK'ların asıl ışıma yaptığı dalga boyu, radyo bölgesidir ve genelde SNK'lar bu dalga boyundaki görüntülerle tespit edilirler. Radyo dalga boyunda alınan verilerin analizi ile SNK'nın açısal büyüklüğü, uzaklığı, akı yoğunluğu gibi önemli parametreleri belirlenmektedir (Green 2019).

SNK'lar için önemli olan süreçler; serbest-bağlı geçişler, serbest-serbest geçişler, bremsstrahlung, Compton, ters-Compton ve sinkrotron mekanizmalarından kaynaklanan emisyonlardır.

2.3.1. Isısal Bremsstrahlung

Bremsstrahlung, frenlenme ve ışıınım için Almanca sözcüklerin karşılığının birleşiminden gelir. Bremsstrahlung bir X-ışını emisyonu kaynağıdır.

Gaz sıcaklığı çok yüksek ($\sim 10^9$ K) olduğu için çoğu element yüksek oranda iyon halindedir. (Narayan ve Yi 1995). Böyle bir plazmada negatif yüklü elektronlar, bir iyona yakın olduklarında yolundan sapar ve yük elektromanyetik dipol ışıması yayar. Elektron enerji kaybettiğinden yavaşlayacaktır. Bu nedenle ismi "ısısal bremsstrahlung"tur. Elektron yavaşlarken, plazma da enerji kaybeder ve böylece gaz soğur. Elektron etkileşim öncesi ve sonrasında herhangi bir iyona bağlı değildir. Bu nedenle bu radyasyona serbest radyasyon adı da verilir.

Isısal bremsstrahlung, radyo dalga boylarında H II bölgeleri için baskın ışıınım salma mekanizmasıdır (Brown ve Emslie 1987). Ek olarak, ısısal bremsstrahlung ışıınımı SNK'lar da beklenmektedir (Straka ve Lada 1975).

2.3.2. Sinkrotron ışıması

Sinkrotron ışıması, manyetik alanla etkileşime giren rölativistik elektronlardan meydana gelir. Yüklü bir parçacık, manyetik alanın çizgileri boyunca hareket ettiğinde, Lorentz kuvveti onun spiral bir yol izlemesine neden olur. Hareketin her anında, spiralin eksenini manyetik alan çizgilerine teğettir ve parçacığın kazandığı ivme, alan çizgilerine diktir. Böylece, parçacık hareket ettikçe ivmenin yönü sürekli olarak değişir ve parçacığın hızındaki buna karşılık gelen değişiklik emisyonuna neden olur. Manyetik alanla karşılaşan bir dizi enerjiye sahip çok sayıda elektron olacağından, yayılan radyasyon geniş bir frekans aralığını kapsar. Bu nedenle sinkrotron radyasyonu sürekli emisyon olarak görülmektedir.

Sinkrotron radyasyonu, hızlı hareket eden elektronların ve manyetik alanların olduğu her yerde görülebilir (Jun ve Norman 1996). Örneğin, SN ve SNK, pulsarlarda ve güçlü manyetik alanlara sahip gezegenlerin etrafında, aktif galaksilerden çıkan jetlerde ve karadeliklerin etrafında meydana geldiği bilinmektedir.

2.3.3. Compton ve ters Compton

Rölativ hızlarda hareket eden elektronlardan oluşan bir plazma bir ışıınım alanına (fotonlar) girerse ve plazma sıcaklığı (T_e) fotonların sıcaklığından (T_{rad}) çok farklıysa, aralarında enerji aktarımı olur. Compton, $T_e < T_{rad}$ olduğu zaman gerçekleşir. Bunun fiziksel anlamı; fotonlar, elektronlara enerji aktararak soğutulacaktır. Tam tersi durumda

ise elektronlar, fotonlara enerji aktarır, sıcaklıklar $T_e > T_{\text{rad}}$ şeklindedir ve bu olaya "ters Compton" denir.

2.3.4. Yasak çizgi oluşumu ve iyonizasyon

Uzay ortamında yoğunluk, cm^3 başına sadece birkaç atom olabilir, bu da atomik çarpışmaları mümkün kılmaz. Yıldızlararası uzayın düşük yoğunluklarında ve sıcak yıldızların geniş atmosferlerinde, çarpışmalar oldukça nadirdir ve kendiliğinden geçişin gerçekleşmesi kolay değildir.

Atomların oluşturduğu tayfsal çizgilerin şiddeti ve yoğunluğu, elektronun o çizginin üretiminde yer alan enerji seviyeleri arasındaki geçiş olasılığına bağlıdır. Geçiş olasılığı ne kadar büyükse çizgilerin şiddeti o kadar güçlüdür. Geçişleri yöneten kurallar seçim yasalarına dayanmaktadır.

Seçim kurallarına göre meydana gelmesi en muhtemel geçişler, izin verilen geçişler (permitted transitions) olarak adlandırılır ve bunlara karşılık gelen tayfsal çizgiler izinli çizgilerdir (permitted lines). Bu geçişlerin yaydığı ışınım elektrik-dipol (elektron ve çekirdek bir elektrik dipolü oluşturur) olarak adlandırılır.

Elektrik dipoller için olan seçim kuralları şu şekildedir:

1. Parite mutlaka değişmelidir (Eisberg ve Resnick 1974).
2. $\Delta L = 0, \pm 1$
3. $\Delta J = 0, \pm 1$ fakat $J \rightarrow 0$ ise yasaklı geçiştir.
4. $\Delta I = \pm 1$
5. $\Delta S = 0$ spin değişmez.

Bir atom, foton soğurarak veya çarpışma yoluyla uyarılmış bir duruma getirildiğinde, elektron uyarılma olayından sonra sadece n_s 'ler içinde izin verilen bir geçişten alt düzeylere geçer. Bilinen elektrik dipol geçişler 10^{-8} s gibi bir zamanda oluşur (Aygün ve Zengin 1998).

Elektronun yarı kararlı bir uyarılmış enerji seviyesine geçmesi de mümkündür. Çok katlılığı aynı olmayan terimler arasında geçiş olamaz. Çok katlılığı aynı olmadığı halde bu terimler arasında geçiş olursa böyle geçişlere interkombinasyon geçişler denir. Bu durumda, elektron 1–100 s'lik bir zaman aralığı boyunca daha yüksek enerji seviyesinde kalabilir (Frank vd. 2002). Atom uyarılmazsa, elektron yasak geçiş yoluyla düşebilir. Laboratuvar da görülmeyen geçişlere karşılık gelen tayfsal çizgiler olan bu geçişlere, yasaklı çizgiler (forbidden lines) denir. Yasak geçişli çizgiler, elektrik dipol olmadıkları için seçim kurallarına uymazlar.

Yasak çizgiler, iki kat iyonize oksijen [O III] çizgileri gibi köşeli parantezlerle gösterilir. Yasak çizgiler belirli bir kritik yoğunluğun ($\sim 10^8$ atom/cm³) üzerinde kaybolur ve bu nedenle bu çizgilerin varlığı yıldızlararası gazdaki yoğunluğun bir göstergesidir. C II] gibi tek bir köşeli parantez ile belirtilen yarı yasak bir çizgi, geçiş olasılığının yasak bir çizgiden yaklaşık bin kat daha yüksek olduğu durumlarda oluşur.

Geçişler 3 şekilde meydana gelmektedir:

1.) Kendiliğinden geçişler:

Verilen bir hacimde çeşitli atomlar, birbirlerine bağlı olmadan kendiliğinden enerji yayarlar. Aynı tür atomlardan oluşan N tane atomlu bir ortamda, bu atomlar uyarılmış enerji seviyelerine göre dağılır. Birim zamanda, birim hacimde $k \rightarrow i$ geçişlerinin sayısı, yukarı k seviyesinde birim hacimdeki atomların sayısı N_k ile orantılıdır.

2.) Uyarılmış (mecburi) geçişler:

Elektromanyetik dalgaların madde ile karşılıklı etkileşimi sonucunda atomlar enerji yayınlamaya yukarı enerji seviyesinden aşağı enerji seviyelerine geçebilirler. Bu geçişler dış ışıyım alanının etkisiyle meydana geldiğinden 'mecburi geçişler' ve onlara karşılık gelen ışıyım da 'mecburi ışıyım' olur.

Bu geçişte yayınlanan kuantların ve yayınlanmaya neden olan kuantların frekansı, fazı, yayılma yönü ve polarizasyonu tamamen aynıdır. Bu nedenle mecburi yayınlamada bu geçişlere neden olan dış elektromanyetik radyasyonun şiddeti, radyasyon yayınlayan enerji miktarını artırır. Birim hacimde ve birim zamanda $k \rightarrow i$ mecburi geçişlerinin sayısı, k seviyesindeki atomların sayısı N_k ve dış ışıyım alanının hacim yoğunluğu $q_{k \rightarrow i}$ ile orantılıdır.

3.) Soğurma Geçişleri:

Atomlar, üzerine gelen fotonları soğurarak aşağı seviyelerden yukarı seviyelere geçiş yapabilir. Dış ışıyım alanının hacim yoğunluğuna bağlı olarak soğurma geçişlerinin sayısı değişmektedir. Dış ışıyım alanı olmazsa soğurma geçişi meydana gelmez. Birim zamanda ve birim hacimde $i \rightarrow k$ geçişinde soğurulan fotonların sayısı, i seviyesindeki atom sayısı N_i ve dış ışıyım alanının hacim yoğunluğu $q_{i \rightarrow k}$ ile orantılıdır.

Yarı kararlı enerji seviyesindeki atom ise, temel enerji seviyesine 2 farklı yolla geçiş yapar (Frank vd. 2002):

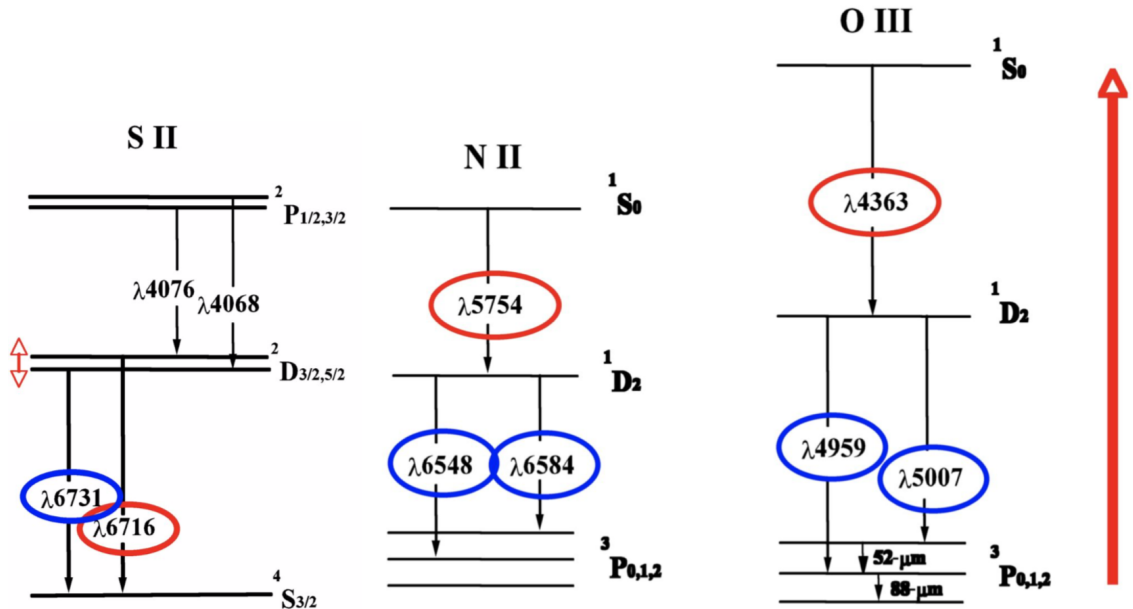
1.) Çarpışma Yolu ile Ters Uyarılma

Atom, bir elektronla çarpışarak enerjisini, çarpışma yaptığı yüzeye ya da yüzeyden söktüğü elektrona aktarır. Burada bir geçiş olduğu halde foton salınımı yoktur. Foton salınmadığı için ışıma da tespit edilemez.

2.) Işınım Yolu ile Ters Uyarılma

Atom, yarı kararlı seviyede 10^{-8} s'den daha uzun süre kaldıktan sonra temel seviyeye geçiş yapar. Geçiş yaparken foton salınımı gerçekleştiği için ışıma tespit edilir.

SNK'lar ortamdaki elektron yoğunluğunun az olduğu bölgelerdir ($N_e \sim 1 \text{ cm}^{-3}$) (Osterbrock ve Ferland 2006). Bu nedenle yasak çizgiler için bir laboratuvar görevi görürler (Kuli-Zade vd. 1995). SNK'larda en çok görülen yasak çizgiler; [O III] λ 4363, λ 4959, λ 5007, [S II] λ 6716, λ 6731 ve [N II] λ 6548, λ 6584'tür. [O III], [S II] ve [N II] yasaklı çizgiler için enerji seviyeleri arasındaki geçişler Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Bazı yasaklı çizgilerin enerji diyagramları; kırmızı ok, artan enerjiyi göstermektedir

2.3.5. Salma çizgi oranları ve teorik bağıntılar

Çok düşük yoğunluklu bir gaz tarafından yayılan salma çizgileri, bulutsularda veya aktif galaktik çekirdeklerde görülür. Bu çizgiler yoğunluğun daha fazla olduğu yerlerde (örneğin Dünya) normal koşullar altında gerçekleşmez (Kuli-Zade vd. 1995). Tayfsal çizgiler, elektronların daha yüksek bir enerji seviyesinden daha düşük bir enerji seviyesine veya enerji durumundaki farklılıklara bağlı olarak foton salınımıyla bağlı-bağlı geçişlerden oluşur.

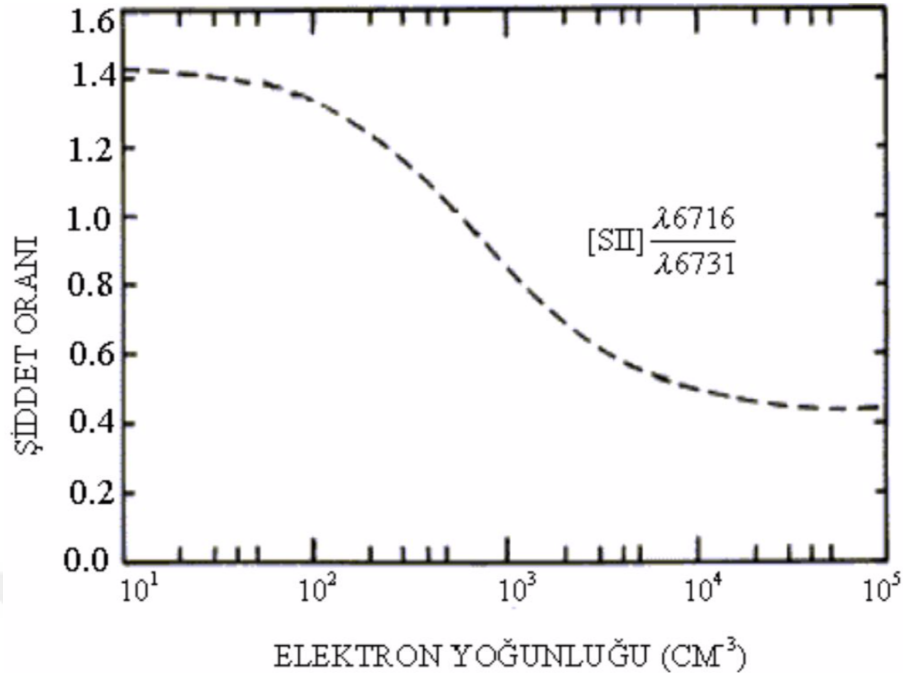
SNK'ların optik gözlemlerinden elde edilen tayflarda; izinli geçişler sonucu oluşan $H\alpha$, $H\beta$ salma çizgileri ve yasaklı geçişler sonucu oluşan $[O III]\lambda 4363$, $\lambda 4959$, $\lambda 5007$, $[S II]\lambda 6716$, $\lambda 6731$ ve $[N II]\lambda 6548$, $\lambda 6584$ salma çizgileri görülür. Bu çizgilerin akı değerleri belirlenip, bilinen teorik bağıntılarda kullanılarak SNK ve SNK'nın bulunduğu ortama ait fiziksel parametreler hesaplanabilmektedir. Çizelge 2.1'de listelenen çizgiler ve bu çizgilerin bazı özellikleri Osterbrock ve Ferland (2006) tarafından verilmiştir.

Çizelge 2.1. SNK tayflarında görülen çizgiler ve bu çizgilerin bazı özellikleri (Osterbrock ve Ferland 2006)

İyon	Dalgaboyu (Å)	Geçiş	Geçiş Türü
[O III]	4363	$2p^2 \ ^1D_2 - 2p^2 \ ^1S_0$	yasak
[O III]	4359	$2p^2 \ ^3P_1 - 2p^2 \ ^1D_2$	yasak
[O III]	5007	$2p^2 \ ^3P_2 - 2p^2 \ ^1D_2$	yasak
[S II]	6716	$2p^3 \ ^4S - 2p^3 \ ^2D_{3/2}$	yasak
[S II]	6731	$2p^3 \ ^4S - 2p^3 \ ^2D_{3/2}$	yasak
$H\alpha$	6563	2-3	izinli
$H\beta$	4861	2-4	izinli
[N II]	6548	$2p^2 \ ^3P_1 - 2p^2 \ ^1D_2$	yasak
[N II]	6584	$2p^2 \ ^3P_1 - 2p^2 \ ^1D_2$	yasak

Bu salma çizgilerininin akı ölçümleriyle; SNK'nın ve SNK'nın bulunduğu ortamın bazı parametreleri hesaplanmaktadır. Örneğin; N_e , V_s , n_c , $[N(H I)]$ parametreleridir.

Oluşan çizgilerin akı değerleri, ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. SNK'lar için $T_e = 10^4$ K kabul edilmektedir (Osterbrock ve Ferland 2006). $[S II]\lambda 6716 / \lambda 6731$ akı oranı ile ortamın elektron yoğunluğu arasındaki ilişki Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Ortamın elektron yoğunluğu ve [SII] akı oranı arasındaki ilişki (Osterbrock ve Ferland 2006)

[SII] λ 6716 / λ 6731 akı oranından ortamın elektron yoğunluğunun (N_e) hesaplanması: Burada x parametresini bulmak için akı oranlarından yararlanılır;

$$[SII](\lambda 6716/\lambda 6731) = (1.49)[(1 + 3.77x)/(1 + 12.8x)] \quad (2.9)$$

formülüyle belirlenir (Osterbrock ve Ferland 2006). T_e (10^4 K) ve x parametresi;

$$x = 10^2 \times N_e \times T_e^{-1/2} \quad (2.10)$$

formülünde yerine yazılırsa ortamın elektron yoğunluğu bulunur (Osterbrock ve Ferland 2006; Frank vd. 2002). N_e hesabı için `nebular.temden`¹ programı da kullanılmaktadır.

[OIII] / $H\beta$ akı oranından şok dalgası hızının (V_s) hesaplanması: [OIII]'ün λ 5007'de oluşan yasak geçişli çizgi şiddetinin, izinli geçiş sonucu oluşan $H\beta$ λ 4861 çizgi şiddetine oranıdır. [OIII] λ 5007 / $H\beta$ ile V_s elde edilir (Cox ve Raymond 1985; Hartigan vd. 1987).

¹<http://stdas.stsci.edu/nebular/temden.html>

$H\alpha / H\beta$ akı oranından, c parametresi;

$$c = 1/0.331 \times \log[(H\alpha/H\beta)/3] \quad (2.11)$$

formülüyle belirlenir.

$$E(B - V) = 0.664 \times c \quad (2.12)$$

formülünde c parametresi kullanılarak renk artığı $[E(B - V)]$ bulunur (Kaler 1975; Aller 1984). Renk artığı bulunduktan sonra,

$$N(HI) = 5.4 \times 10^{21} \times E(B - V) \quad (2.13)$$

formülüyle nötr Hidrojen sütun yoğunluğu $N(HI)$ bulunur (Predehl ve Schmitt 1995).

Renk artığı,

$$A_V = 3.1 \times E(B - V) \quad (2.14)$$

formülünde kullanılarak yıldızlararası soğurma katsayısı A_V bulunur (Fesen ve Kirshner 1980).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Teleskoplar

3.1.1. RTT150

1.5 m çapında aynaya sahip olan RTT150 teleskobunda gözlemler Bakırlıtepe'deki merkez binada bulunan "Teleskop Kontrol Odası"ndan veya "Antalya Yönetim Binası"nda bulunan "Teleskop Kontrol Merkezi"nden uzak bağlantı yoluyla yapılabilmektedir. İlk ışık 2001 yılında alınmıştır. RTT150 teleskobu Ritchey-Chretien optik tasarımına sahiptir ve Cassegrain ve Coude odak düzlemi modları vardır. SNK gözlemleri için Cassegrain odak düzlemi modu kullanılmaktadır. RTT150 teleskobu ile hem fotometrik hem de tayfsal gözlemler yapılabilmektedir. Kullanılan CCD modeli Andor iKon-L 936 BEX2-DD-9ZQ ve CCD formatı 2048×2048'dir. Piksel boyutu 13.5 μm ve görüntü ölçek değeri 0.33 açı saniyesi/pikseldir. Görüş alanı (Field of View, FoV) ise 11.1×11.1 açı dakikası²'dir. Diğer detaylar Çizelge 3.1'de verilmiştir. Takip ünitesi ayrı olarak tasarlanmış ve 2006 yılında faaliyete geçmiştir. Kullanılan CCD özellikleri ise Çizelge 3.2'te verilmiştir. Tez kapsamında fotometrik gözlemlerde kullanılan dar bant filtrelerin özellikleri ise Çizelge 3.3'te sunulmuştur. RTT150 teleskobunun tüm çizelge bilgileri TUG sitesinden² alınmıştır.

Çizelge 3.1. RTT150 teleskobunun optik özellikleri

Odak	Odak Oranı	Odak Uzaklığı (mm)	Odak Ölçeği ("/mm)	Açısal Görüş Alanı (açı dakikası)	Doğrusal Görüş Alanı (mm)
Cassegrain	f/7.7	11611	17.8	26.7	90
Coude	f/48	72257	2.9	3.83	80
Fotoelektrik Takip Teleskobu	f/10	3590	57	76	80
Görsel Takip Teleskobu	f/10	3590	57	76	80
Arayıcı (2 adet)	f/4.2	504	409	240	-

Yarık (slit) tayfları için TFOSC (TUG Faint Object Spectrograph and Camera)³ tayfçekerini kullanılmıştır. TFOSC aletinin özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

²<https://tug.tubitak.gov.tr/tr/teleskoplar/rtt150>

³<http://tug.tubitak.gov.tr/tr/icerik/tfosc-tug-faint-object-spectrograph-and-camera>

Çizelge 3.2. RTT150 teleskobunun CCD özellikleri

Modeli	Andor iKon-L 936 BEX2-DD-9ZQ
CCD çip	E2V CCD42-40
Piksel format	2048×2048
Piksel ölçeği	13.5×13.5 μm
Piksel boyutu	0.33 açı saniyesi/pixel
Görüş alanı	11.1×11.1 açı dakikası ²
Okuma hızı	0.05 MHz
Gürültü	3.2 e- rms
Kazanç	0.8 e-/ADU

Çizelge 3.3. RTT150 teleskobunda fotometrik gözlemlerde kullanılan filtrelerin özellikleri

Filtre	Dalga boyu (Å)	FWHM (nm)
H α	6563	5
H α süreklilik	6446	13
[S II]	6749	6.4
[S II] süreklilik	6964	30

Çizelge 3.4. RTT150 teleskobuna takılı TFOSC aletinin özellikleri

Dalgaboyu aralığı	330 – 1200 nm
Tayfsal çözünürlük	R $\sim$ 200 – 5000
Yarıklar	39, 44, 54, 67, 100 ve 134 μm

Tayf kalibrasyonu için 6 adet lamba (Halogen, Ne, He ve Fe-Ar ve Th/Ar) kullanılabilmektedir.

3.1.2. T100

Fotometri amaçlı gözlemlerde kullanılmak üzere 1 m ayna çaplı teleskop, 2009 yılında Bakırtepe Yerleşkesi'nde T100 binasına kurulmuştur. Teleskop odak düzleminde 2 adet filtre tekerleği, Spectral Instruments 1100 serisi 4K × 4K bir CCD (görüntüleme) ve SBIG ST402M CCD kamera (Takip düzeltme) bulunmaktadır. T100 teleskobunda bilimsel gözlem projelerine Ekim 2010'da başlanmıştır. T100 teleskobunun özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Teleskopta geniş alan gerektiren fotometrik ve astrometrik gözlem projelerinde kullanılması amacıyla 21.5 × 21.5 açı dakikası²'lık görüş alanına sahip CCD

bulunmaktadır. Görüş alanının, geniş bir alanı kapsaması sebebiyle SNK'ların morfolojisinin incelenmesinde büyük avantaj elde edilmiştir. T100 teleskobunda bulunan CCD'nin özellikleri Çizelge 3.6'da sunulmuştur. T100 teleskobunun tüm çizelge bilgileri TUG sitesinden⁴ alınmıştır.

Çizelge 3.5. T100 teleskobu genel özellikleri

Model	ACE RC1.0
Optik sınıfı	Ritchey-Chretien
Ayna çapı	100 cm
Odak uzaklığı	f/10
Odak düzlemi	45 mm dışarıda
Alan merceği	3 elemanlı (takılı değil)
Ayırma gücü	0.11 açı saniyesi
Odak ölçeği	21 açı saniyesi/mm
Filtre tekerleği	8 yuvalı, 2 adet
Kubbe	Çap 6.86 m (22 '6 ")
Yarık Genişliği	2.28 m (90 açısaniyesi)

Çizelge 3.6. T100 teleskobu CCD özellikleri

Modeli:	SI 1100 Cryo
Sensör tipi :	Fairchild 486 BI
Piksel formatı:	2048×2048
Piksel büyüklüğü :	15×15µm
Piksel boyutu:	0.31 arcsec/pixel
Görüş alanı:	21.5×21.5 açı dakikası ²
Okuma gürültüsü:	4.11 e- (100 KHz, Ch:A)
Kazanç:	0.57 e-/ADU

3.2. Verilerin İndirilmesi

3.2.1. Fotometri verilerinin indirilmesi

Görüntülerin indirgeme aşamalarını anlamak için ışığı nasıl aldığımız ve bilgisayarda nasıl işlediğimizi bilmek önemlidir. Teleskopla baktığımız kaynağın ışığı, CCD'ye gelir. Her piksel, gökyüzünün o bölgesindeki ışıkla orantılı yük biriktirir. Daha sonra CCD, piksel piksel bir okuma devresi kullanılarak okunur. Her pikselin yükü (bir analog sinyal) karşılık gelen bir sayıya (dijital bir sinyal) dönüştürülür. Bu, bir Analog-Dijital Dönüştürücü (ADC) kullanılarak yapılır. Bir dijital sayı (DN), bir elektronik cihazdaki iki olası duruma karşılık gelebilen bir dizi 0 ve 1 olarak temsil

⁴<https://tug.tubitak.gov.tr/tr/teleskoplar/t100-odak-duzlemi-aletleri>

edilir. Bir sayının ne kadar büyük temsil edilebileceği, 0'ları ve 1'leri depolayabilen kayıtların sayısına bağlıdır. Örneğin 8 bitlik bir sistemde, depolanabilecek maksimum sayı 2^8 'dir. Okuma işlemi sayesinde her bir piksele düşen yükü görürüz ve bunu SAOImageDs9 programında 2 boyutlu olarak görüntüleyebiliriz. Belirli bir sayı veya sayı aralığına gri gölge atamak için uygun bir şema kullanılır. Ekranda, her biri CCD üzerindeki bir piksele karşılık gelen ve sayıya göre renklendirilen 2 boyutlu bir renkli görüntü elde edilir. Örneğin, 0 tamamen siyah ve en yüksek sayı beyaz olabilir. Aradaki tüm sayılar grinin bazı tonları, daha koyu olanlar daha düşük sayıları, daha parlak olanlar daha yüksek sayıları ifade eder. Bu elde edilen görüntü pozitif görüntüdür. SNK'ları tespit etmek için negatif görüntüler kullanılır. Böylece yıldızlar beyaz ve SNK'lar siyah tonlarında görülür. Bunun daha ayrıntılı açıklaması aşağıda sunulmaktadır.

Teleskop ile verimli bir gözlem yapabilmek için gözlem sırasında belirli görüntüleri elde etmek gerekir. Hava koşulları ve elektronik aksamın hazırlığına göre gözleme başlanır. Her fotometri gözleminde alınan bias, karanlık akım (dark) ve düz alan (flat) görüntüleri ön-indirgeme işlemi için gereklidir.

Ön-indirgeme adımları:

Bias: CCD kameralar, tipik olarak her görüntüye bir sapma değeri ekler. Deklanşör kapatıldığında, pozlama sıfır saniyede alınır. Böylece tüm görüntülerden bias çıkarttığımızda görüntü ortadan kalkar.

Karanlık akım: CCD çipinin her pikseli, sıcaklığına bağlı olarak sabit bir oranda elektronlarla doldurur. Karanlık akımın katkıda bulunduğu son elektron sayısı, çipin sıcaklığına ve maruz kalmanın süresine bağlıdır. Görüntülerin piksel değerlerindeki bu eklenen hatayı düzeltmenin standart yolu; bilimsel görüntüden yalnızca karanlık akım katkısını içeren bir görüntüyü çıkarmaktır. Çıkarılacak görüntü, gece boyunca alınan her farklı poz süreleri için alınmalıdır. Bu işlem deklanşör kapalıyken yapılır bu yüzden karanlık görüntü olarak adlandırılır.

Düz alan görüntüsü: Bu prosedür, çip boyunca hassasiyetteki değişimi düzeltir. Düz alan görüntüsündeki pikselden piksele hassasiyet farklı olduğu için bu görüntüye ihtiyaç duyulur. Gökyüzünün ham görüntüsü herhangi bir karanlık akım ve bias için düzeltildikten sonra, düz alan düzeltmesi yapılabilir. Teleskopta kenarlara doğru odak bozulması ve her bir pikselin duyarlılık farkı olması sebebiyle her bir piksele aynı miktarda ışık düşmemektedir. Görüntüleri, düz alan görüntüsüne bölerek aynı miktarda ışık düşmesi sağlanmaktadır.

Kötü piksel düzeltmesi: T100 teleskobu 4 ayrı CCD'ye sahiptir. Bu yüzden görüntülerin ortasında bir boşluk yani çizgi görülür. Aynı zamanda uçak, uydu gibi

geçişleri nedeniyle de görüntülerde uzun çizgi şekli görülebilir. Bu görüntülerde istenmeyen kötü pikselleri silmek için `ccdproc` taskı kullanılmaktadır.

SNK'lar temel olarak radyo dalga boyunda yapılan gözlemlerle tespit edildikleri için SNK kataloğundan⁵ seçilen SNK'ların radyo dalgaboyunda kapladıkları alanlar kontrol edilir. Böylece aday SNK'nın gözlemi için teleskobun CCD görüş alanına göre kaç parçada gözleneceğine karar verilir. Örneğin; T100 teleskobu 21.5×21.5 açı dakikası²'lik bir görüş alanına sahiptir. Kalıntı bu alandan daha büyükse; SNK alanını birkaç parçaya bölerek aynı ya da farklı gecelerde her alan tek tek gözlenir. Gözlemde ön-indirgeme için gereken görüntüler aldıktan sonra kalıntıları incelemek için belirlenen filtrelerdeki bilimsel SNK görüntüleri uygun poz sürelerinde alınır. Bu filtreler ile yapılan gözlemler SNK'ların optikteki morfolojilerini tespit etmek için kullanılmaktadır. Yeni bir SNK gözlemine başlanırken öncelikle aday SNK'nın H α filtresi kullanılarak gözlemi yapılır. SNK'lar yaygın olarak H α ışıması yaptıkları için öncelikle bu filtreyle her bölge kontrol edilir. Gözlenen her bölgede H α ışıması olup olmadığı tespit edilir. Verilen poz sürelerinde optik ışıma tespit edilirse daha sonra diğer filtreler ile görüntü alımına devam edilir. Kalıntıların H α 'dan sonra H α süreklilik, [S II] ve [S II] süreklilik görüntüleri alınır. T100 teleskobunda dar bant süreklilik filtreleri olmadığı için onun yerine Johnson V filtresi kullanılmaktadır. Johnson V filtresi optik bölgede ışıma yapan yıldızların katkısının çıkarılması amacıyla süreklilik filtresi olarak seçilmiştir. H α ve [S II] görüntüleri teleskobun takip süresi gözönüne alınarak maksimum 900 s'lik poz süreleri ile alınmıştır. Daha sonra her filtredeki 900 s'lik görüntüler toplanarak sinyal artırılmıştır. Yıldızların görüntüde doymaması (piksele fazla yük binmemesi) için V görüntüleri 150 s poz süresi ile alınmaktadır. Bu görüntüler kullanılarak H α -V, [S II]-V süreklilikten arındırılmış görüntüler elde edilir. Bu çıkarma işlemleri IRAF 2.7v programında `imarith` paketi ile yapılır. Bu filtrelerin özellikleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. T100 teleskobunda kullanılan filtrelerin özellikleri

Filtre	Dalga boyu (Å)	FWHM (nm)
H α	6560	10.8
[S II]	6740	11.2
V	5510	88

H α ve [S II] görüntülerinden süreklilik görüntülerinin çıkarılmasındaki amaç; yıldızlardan gelen ışımayı elimine etmektir. Çıkarma işlemi yapılmış bu görüntülerde yıldızlardan gelen ışık yoktur ve bu nedenle yıldızların olduğu yerlerin oyuk olması gerekmektedir. SNK'lar ise net bir şekilde görülmektedir. Görüntüler SAOImageDs9

⁵<http://snrcat.physics.umanitoba.ca/SNRtable.php>

programında açılır, scale ve renk gibi özellikleri ayarlanabilir. Örneğin `invertcolormap` kullanılarak negatif görüntü elde edilebilir.

Süreklilik görüntüleri çıkarıldıktan sonra $[S II]/H\alpha$ görüntüsünü elde ederek kaynağın SNK olup olmadığı tespit edilebilmektedir. $[S II]/H\alpha$ akı oranı > 0.5 ise ışıma, SNK'ya aittir, $[S II]/H\alpha < 0.4$ ise; ışıma H II bölgesi ile ilişkilendirilir ve bu değer 0.4-0.5 arasında ise SNK, H II bölgesiyle iç içe geçmiştir (Mathewson ve Clarke 1973; Fesen 1984; Matonick ve Fesen 1997; Blair ve Long 1997).

İncelenen her SNK adayının öncelikle optik bölgede T100 teleskobuyla görüntüleri alınır. Morfolojisi tanımlanır, optik ışıma yapan bölgeler ve bu bölgelerin SNK'ya ya da HII bölgesine ait olup olmadığı tespit edilir. $H\alpha$ görüntüsünde ışıma tespit edilenlerin daha sonra fiziksel parametrelerinin hesaplanması amacıyla tayfları alınır. Tez kapsamında gözlemleri yapılan ve ışıması kaşfedilen G107.5–1.5, G67.7+1.8 ve G189.6+3.3 SNK'larına ait T100 teleskobuyla alınan görüntülerin gözlem bilgileri Çizelge 3.8'de verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 3.9'da verilen poz süreleri ile gözlemleri yapılan ancak optik ışımasının belirlenemediği SNK'lar da bu çizelgede gösterilmektedir.

3.2.2. Tayfsal verinin indirgemesi

Bir tayf verisi, planck eğrisi, piksel duyarlılık eğrisi (Q), grating duyarlılık eğrisi (B), atmosferik etki, teleskop etkisi gibi etkenlerden oluşur. Tayfta sadece SNK ışığı kalması istendiği için diğer etkenlerden arındırılmaktadır. Görüntü indirgemesinde olduğu gibi bias ve düz alan düzeltmesi burada da yapılmaktadır. RTT150 teleskobunda CCD yeterince soğuk tutulabildiği için ısınma durumu olmamaktadır. Bu nedenle karanlık akım düzeltmesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Düz alan düzeltmesi yapıldıktan sonra kuantum etkinliği ve blaze fonksiyonundan oluşan akı-piksel grafiği elde edilir. Daha sonra Demir (Fe) - Argon (Ar) gibi seçilen kalibrasyon lambalarının tayfi kullanılarak, dalgaboyuna karşılık piksel grafiği elde edilir. Buna "dispersiyon çözümü" denir. Kalibrasyon tayfları ile standart yıldız tayfları kullanılarak dalga boyu ve akı kalibrasyonu yapılmaktadır. Böylece dalgaboyuna karşılık akı grafiği yani tayf elde edilir.

SNK'lar yaygın nesneler olduklarından, bu gözlemlerde en geniş yarık olan 134 μm 'lik yarık kullanılmıştır. Tayflarında beklenen çizgilere uygun dalga boyu aralığını kapsayan 15 no'lu grism tercih edilmiştir. Kalibrasyon için Fe-Ar lamba tayfları alınmıştır. Alınan tayflar IRAF 2.7v programı ile indirgenmiştir. Flat ve bias düzeltmesi yapıldıktan sonra, dalga boyu kalibrasyonu (`apall`, `identify`, `hedit`, `dispcor`) yapılmıştır. Dalga boyu kalibrasyonu için Fe-Ar lamba tayfi kullanılmıştır. Dalga boyu kalibrasyonundan sonra en son işlem olan akı ayarlaması

Çizelge 3.8. Optik ışıma tespit edilen SNK'ların gözlem bilgileri

SNK	SNK bölgesi	Filtre	Tarih	Görüntü sayısı	Poz süresi (s)	Görüş değerleri (")
G107.5–1.5	KB	H α , [S II]	19-07-2020	5	900	1.52
		H α cont., [S II]cont.	19-07-2020	3	150	1.52
	KD	H α , [S II]	16-12-2020	5	900	1.76
		H α cont., [S II]cont.	16-12-2020	3	150	1.76
	GD	H α , [S II]	13-07-2021	1	600	1.97
		H α cont., [S II]cont.	13-07-2021	1	150	1.97
G67.7+1.8		H α , [S II]	23-08-2020	7	900	2.25
		H α cont, [S II]cont.	23-08-2020	2	150	2.25
G189.6+3.3		H α , [S II]	03-11-2021	19	150	4.35
		H α cont, [S II]cont.	03-11-2021	3	150	4.35

Çizelge 3.9. Optik ışıma tespit edilemeyen bölgelerin gözlem bilgileri

SNK	Poz süresi (s)	Görüntü sayısı
G93.3+6.9	900	5
G36.6+2.6	600	7
G181.1+9.5	900	7
G152.4-2.1	600	1
G150.8+3.8	900	1

(observation, standart, sensfunc, calibrate) yapılmıştır. Akı ayarlaması için spektrofotometrik standart yıldızlar (örneğin; Feige 34, HD 93521, BD+28D4211, Feige 110, Feige 66) kullanılmıştır. Her tayf atmosferik çizgilerden

arındırılarak analizler için hazırlanmıştır. Elde edilen tayflardan çizgilerin sinyal-gürültü (S/G) oranları hesaplanmıştır. Hesaplama için her çizginin süreklilik çizgilerinden gürültüleri okunmuştur. Ölçümü yapılan dalga boyunun sinyali, bu gürültüye bölünmüştür.

Işıma tespit edilen her SNK adayının RTT150 teleskobuyla tayfları alınmıştır. Tez kapsamında gözlenen G107.5–1.5, G67.7+1.8 ve G189.6+3.3 SNK'lara ait alınan tayfların gözlem bilgileri Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. RTT150 teleskobuyla alınan tayfların gözlem bilgileri

Tayf	Koordinat ($\alpha; \delta$) (h m s; $^{\circ} ' ''$)	Poz süresi (s)	Gözlem tarihi	Görüş değerleri ($''$)
G107.5–1.5 KB bölgesi				
1	22 49 38; 57 47 01	900(2)	2020-07-11	1.39
2	22 49 22; 57 45 58	900(1)	2020-07-22	2.10
G107.5–1.5 KD bölgesi				
1	22 53 41; 58 08 51	900(2)	2020-08-16	2.07
G107.5–1.5 GD bölgesi				
1	22 56 10; 57 45 58	900(1)	2021-07-13	1.97
2	22 56 12; 57 45 11	900(1)	2021-07-18	2.57
G67.7+1.8 GB bölgesi				
1	19 54 02; 31 21 38	900(1)	2020-08-15	3.52
2	19 53 55; 31 22 19	900(1)	2020-08-15	
3	19 54 09; 31 22 48	900(2)	2020-08-15	
G189.6+3.3				
1	06 22 36; 23 04 28	900(5)	2021-12-02	3.05

3.3. G107.5–1.5

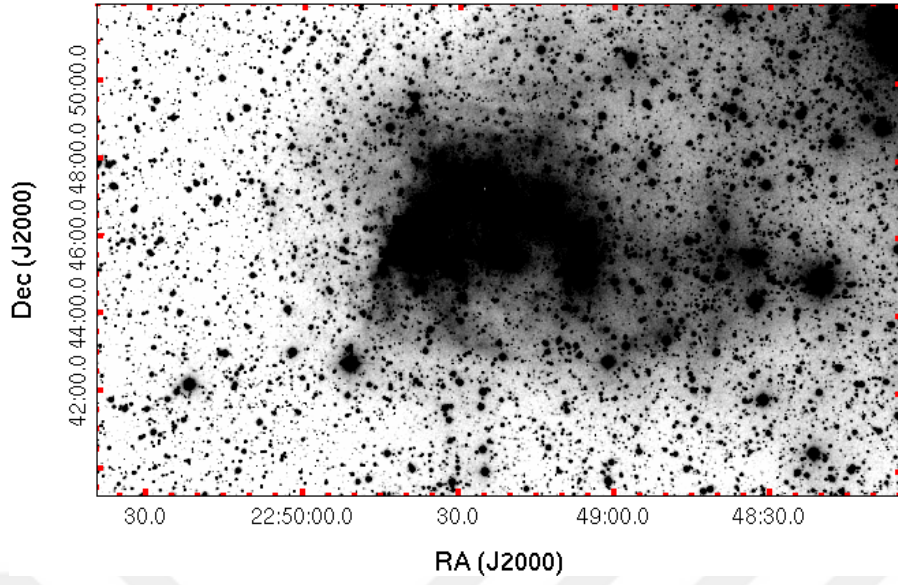
Kabuk tipi bir SNK olan G107.5–1.5, Kothes (2003) tarafından Canadian Galactic Plane Survey (CGPS) verileri kullanılarak keşfedilmiştir. 408 ve 1420 MHz radyo süreklilik ışımasından spektral indeks $\alpha = -0.6 \pm 0.1$ ($S \sim \nu^{\alpha}$) olarak bulunmuştur. Yazar, H I özelliklerine bağlı olarak G107.5–1.5 için ~ 1.1 kpc'lik bir uzaklık elde etmiş ve radyo kabuğunun merkezine yakın 1RXS J225203.8+574249 dahil olmak üzere bu bölgede sekiz parlak nokta kaynağı belirlemiştir. Jackson vd. (2014) ise, G107.5–1.5'in *XMM-Newton* X-ışın gözlem verilerinin analizinden SNK'dan yayılan X-ışını tespit edememişlerdir.

Bu tezde, RTT150 ve T100 teleskopları kullanılarak G107.5–1.5'in optik dalga

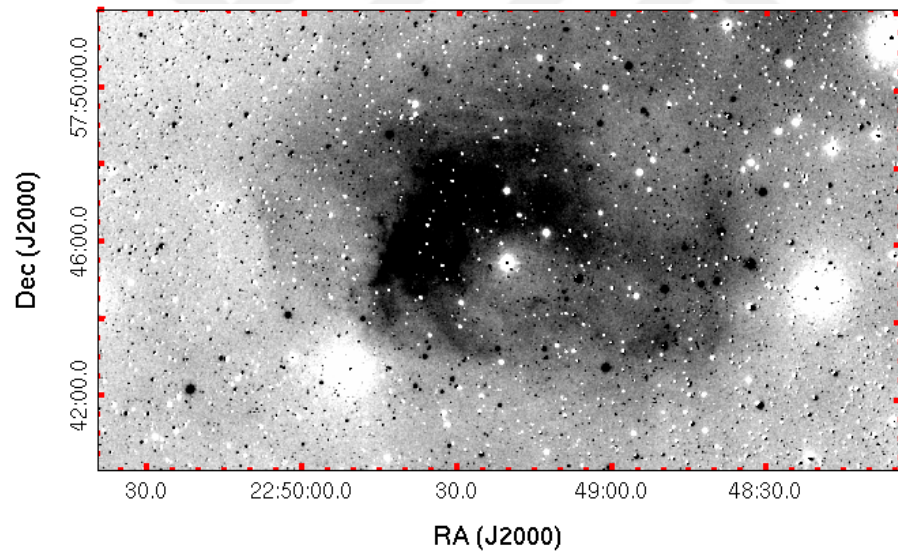
boylarında ışıması araştırılmış ve G107.5–1.5’in optik morfolojisi incelenmiştir. SNK’dan ilk kez optik ışıma keşfedilmiş bu bölgelere ait şok dalgasının hızı ve ortamın elektron yoğunluğu gibi fiziksel parametreler hesaplanarak literatüre katkıda bulunulmuştur.

3.3.1. SNK G107.5–1.5’in fotometrisi

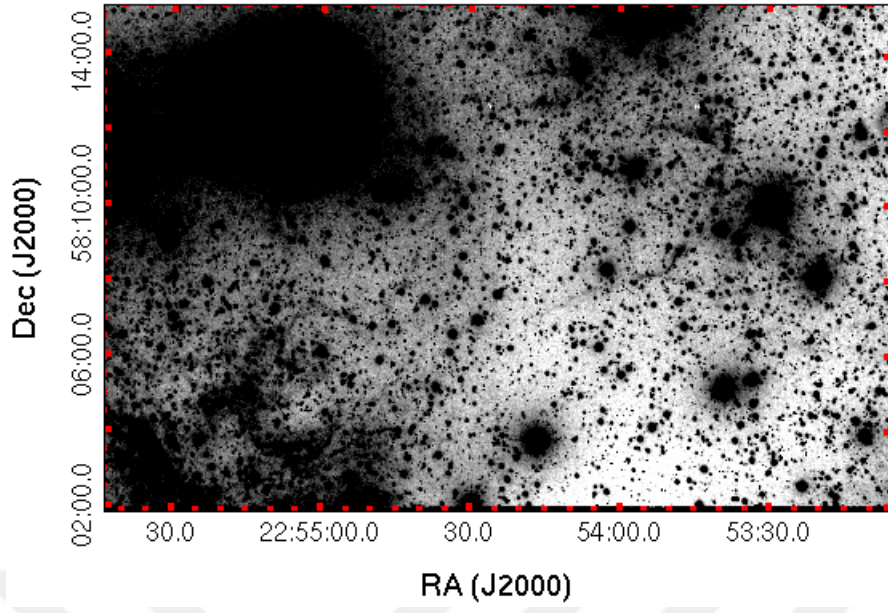
G107.5–1.5’de optik ışımanın varlığının araştırılması amacıyla her bir bölge için elde edilen $H\alpha$ görüntüleri, sırasıyla Şekil 3.1 - 3.6 arasında verilmiştir. Kalıntı, kullanılan CCD alanlarına sığmadığı için birkaç parçaya bölünerek (mozaik yöntemi) gözlemleri yapılmıştır. Tarama sonucu optik ışıma belirlenen bölgelerin $H\alpha$, [SII] ve süreklilik filtreleri kullanılarak görüntüleri alınmıştır. Süreklilik görüntülerinin asıl görüntülerden çıkarılma işlemleri IRAF 2.7v’de yer alan *imarith* paketi ile yapılmıştır. Alınan görüntülere ait gözlem bilgileri Çizelge 3.8’de verilmiştir. Bu görüntüler *invertcolormap* ile negatif olarak verilmiştir. Görüntülerden kalıntının optik dalga boyunda sahip olduğu morfolojik yapısının hem dağınık (diffuse) hem de ipliksi (filament) yapılarına sahip olduğu görülmüştür. Şekil 3.7’de verilen mozaik görüntü ise Green Bank Teleskobu verilerinden (4850 MHz) alınan radyo-süreklilik kontürleri (yeşil) ile G107.5–1.5’in optik ışımasını belirlediğimiz üç bölgesinin (KB, KD ve GD) optik dalgaboyu görüntülerini ($H\alpha$) gösterir. KB ve KD bölgesi görüntüleri T100 teleskobuyla, GD bölgesi görüntüleri RTT150 teleskobuyla gözlenmiştir. Radyo sürekliliğinin kontür seviyeleri $\sim 3.57 - 4.10 \text{ mJy beam}^{-1}$ aralığındadır. Optik görüntülerin kapladığı alan, T100 teleskobunun görüş alanı olan 21.5×21.5 açı dakikası²’dir. Mozaik görüntünün tamamı ise 110×50 açı dakikası²’lık bir alanı kapsamaktadır. SNK’nın optik ışıması ile radyo süreklilik ışıması korelasyon göstermektedir.



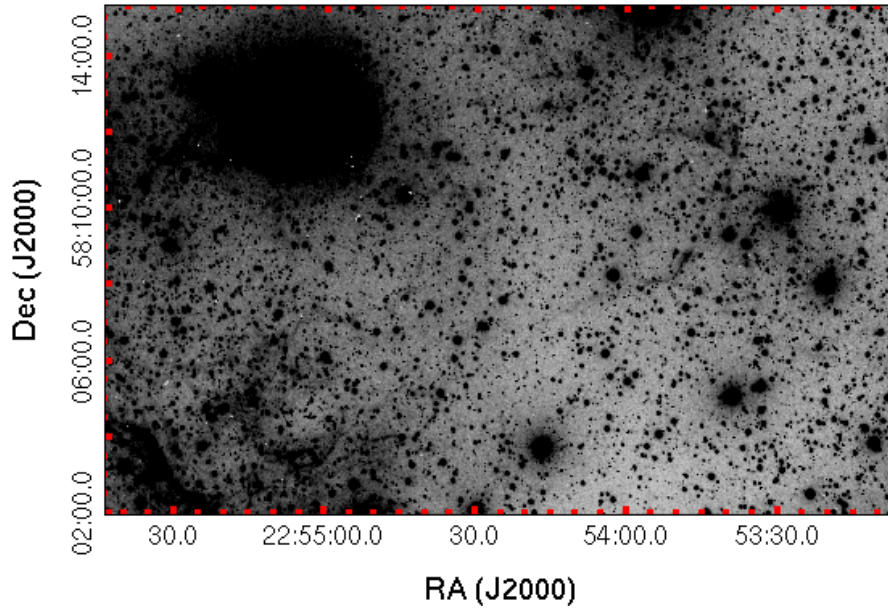
Şekil 3.1. G107.5–1.5’in Kuzeybatı bölgesinin 4500 s poz süreli $H\alpha$ görüntüsü



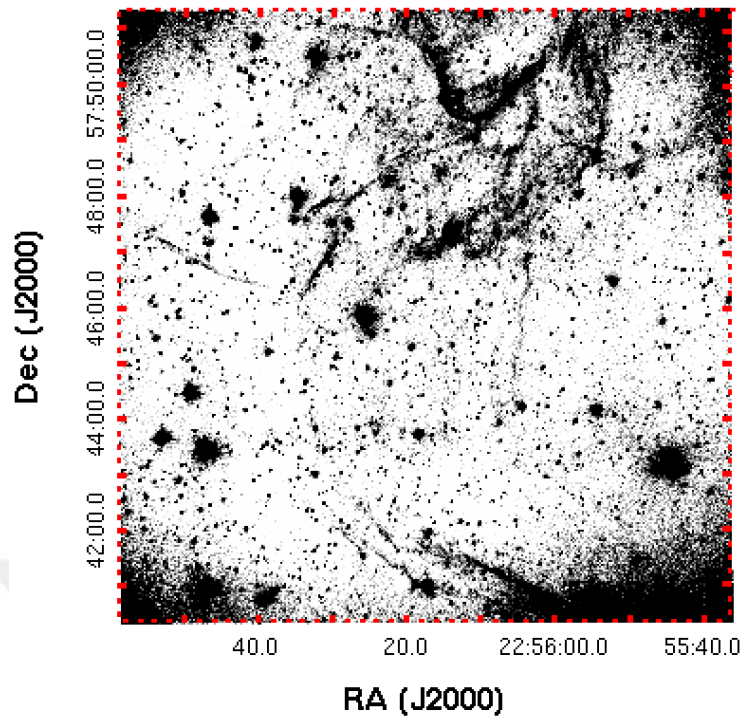
Şekil 3.2. G107.5–1.5’in Kuzeybatı bölgesinin $H\alpha$ - V görüntüsü



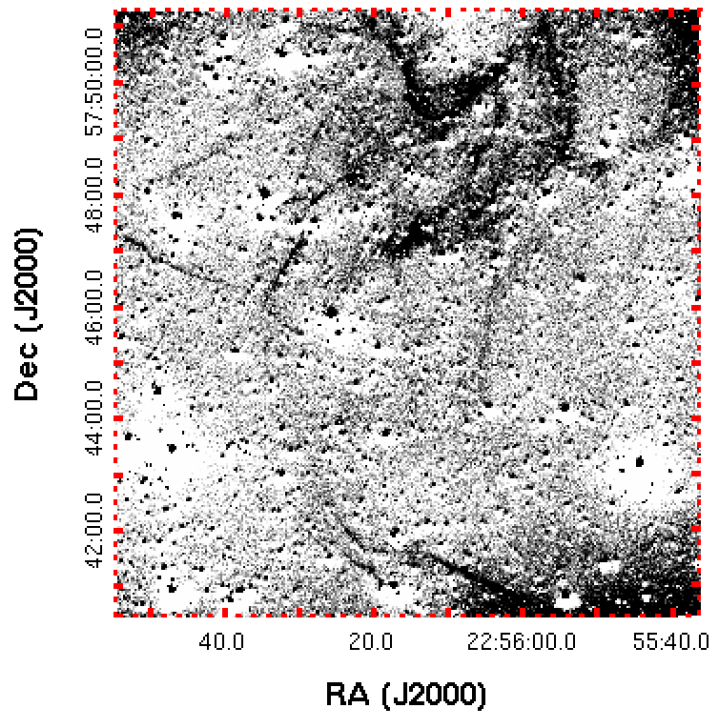
Şekil 3.3. G107.5–1.5’in Kuzeydoğu bölgesinin 4500 s poz süreli H α görüntüsü



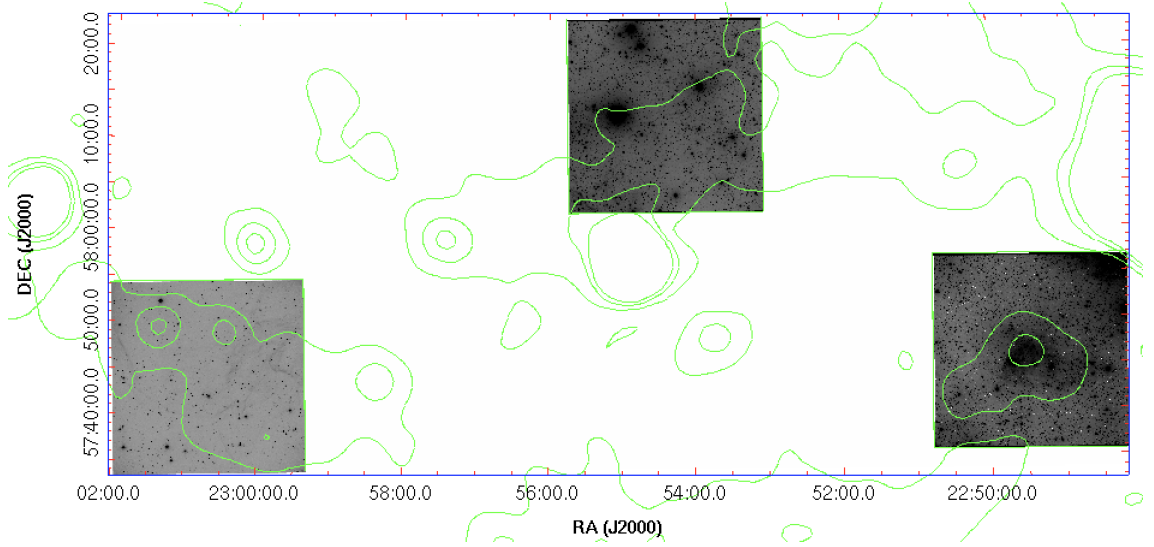
Şekil 3.4. G107.5–1.5’in Kuzeydoğu bölgesinin H α - V görüntüsü



Şekil 3.5. G107.5–1.5’in Güneydoğu bölgesinin 600 s poz süreli $H\alpha$ görüntüsü



Şekil 3.6. G107.5–1.5’in Güneydoğu bölgesinin $H\alpha$ - $H\alpha$ cont. görüntüsü

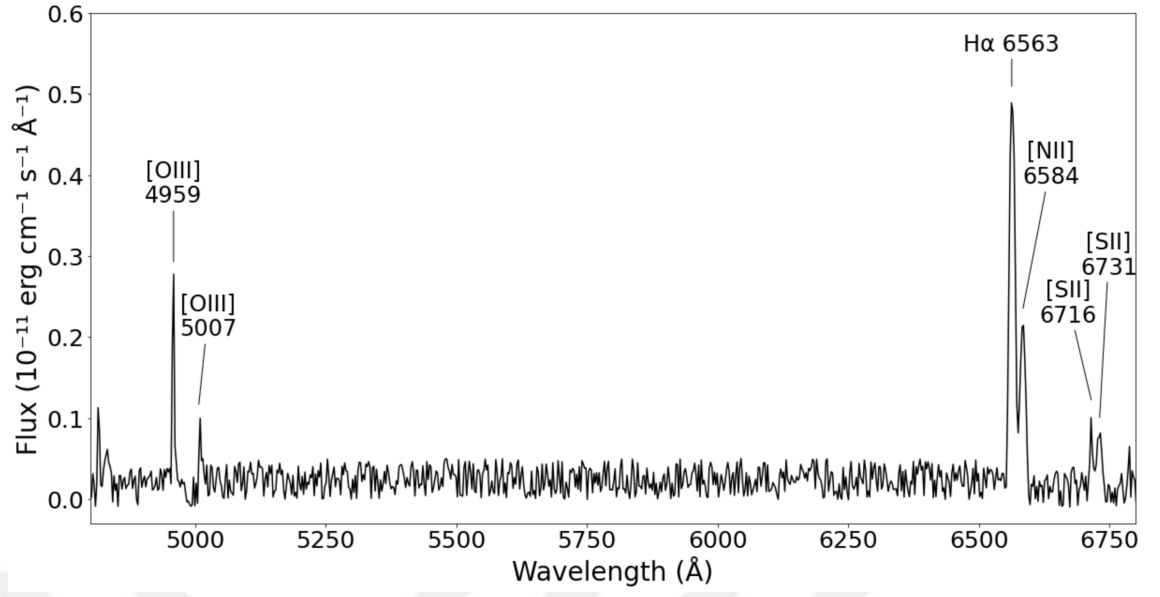


Şekil 3.7. G107.5–1.5’in mozaik görüntüleri ve 4850 MHz radyo süreklilik kontürleri (yeşil renkte) gösterimi

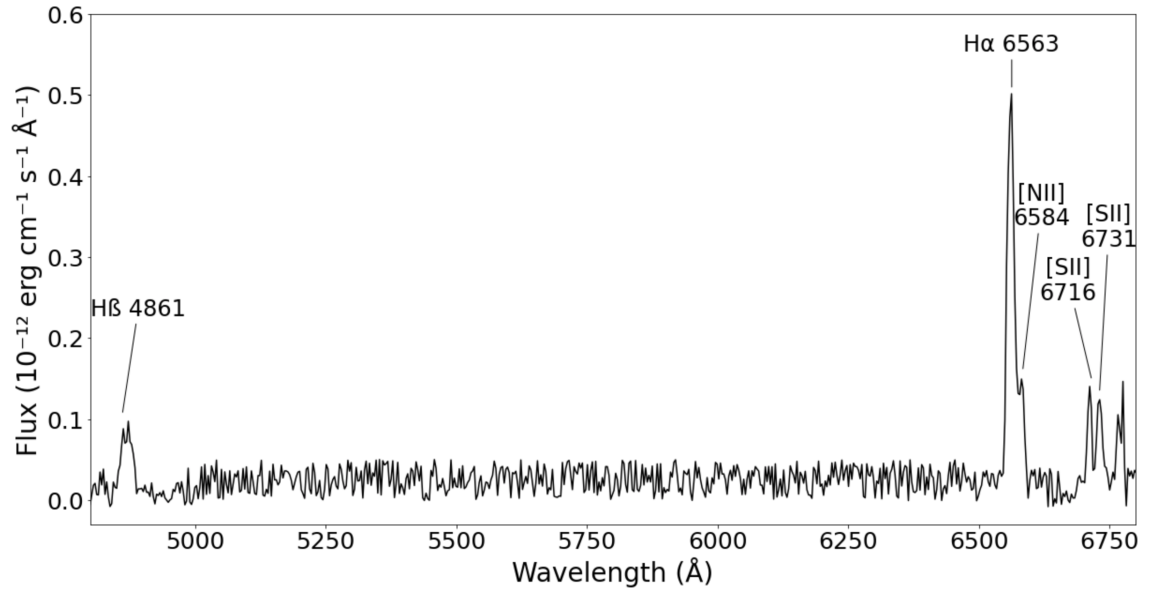
3.3.2. SNK G107.5–1.5’in tayfölçümü

SNK G107.5–1.5’in tayfölçümü TUG’da RTT150 teleskobuna takılı TFOSC tayfölçeri kullanılarak yapılmıştır. Optik ışıma elde edilen 3 bölgeden tayflar alınmıştır. KB bölgesinden 2, KD bölgesinden 3 ve GD bölgesinden 2 adet tayf alınmıştır (Çizelge 3.10). Ön-indirgemenin ardından yapılan dalga boyu ayarlaması ve akı ayarlaması sonucu elde edilen tayflar Şekil 3.8 - 3.12 arasında verilmiştir. Tayflarda $H\beta$ ($\lambda 4861$), $[O III]$ ($\lambda 4959$, $\lambda 5007$), $[N II]$ ($\lambda 6548$), $H\alpha$ ($\lambda 6563$), $[N II]$ ($\lambda 6584$) ve $[S II]$ ($\lambda 6716, \lambda 6731$) çizgileri görülmektedir.

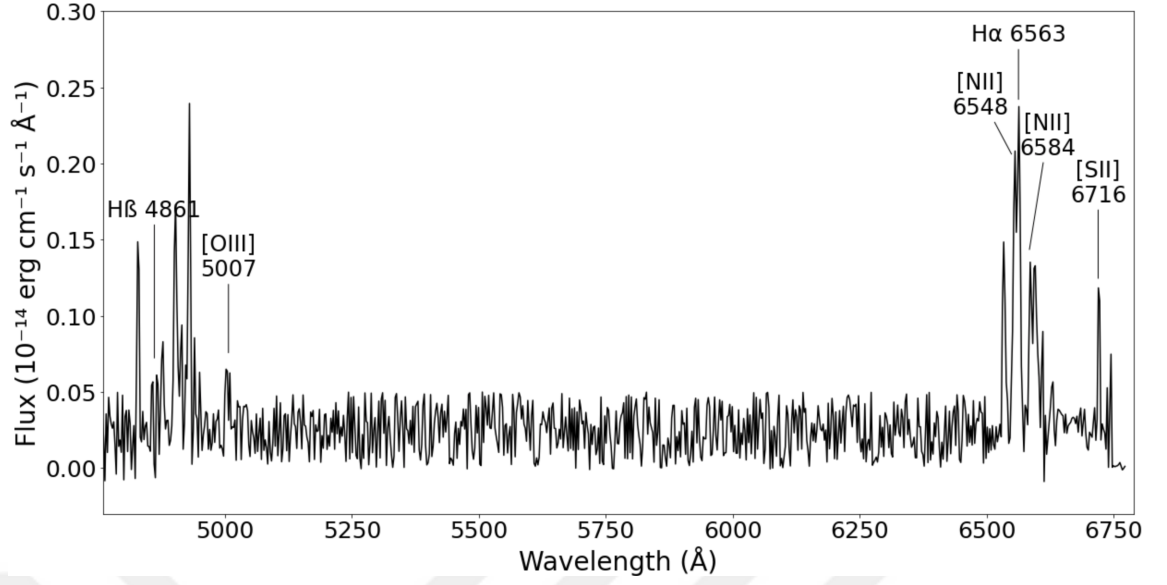
G107.5–1.5’in optik ışımasının keşfedildiği 3 bölgenin tayflarından hesaplanan çizgi akı değerleri, S/G oranları (bknz. Bölüm 3.2.2) ve hesaplanan fiziksel parametreler Çizelge 3.11’de listelenmiştir.



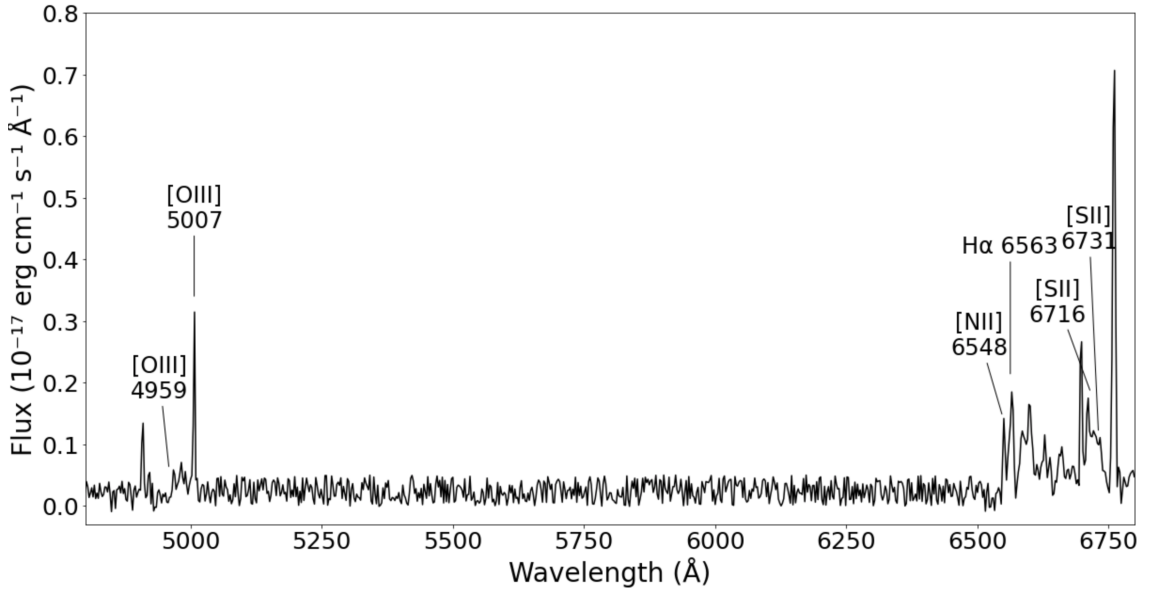
Şekil 3.8. G107.5–1.5’in KB bölgesinin 1800 s poz süreli 1 numaralı tayfı



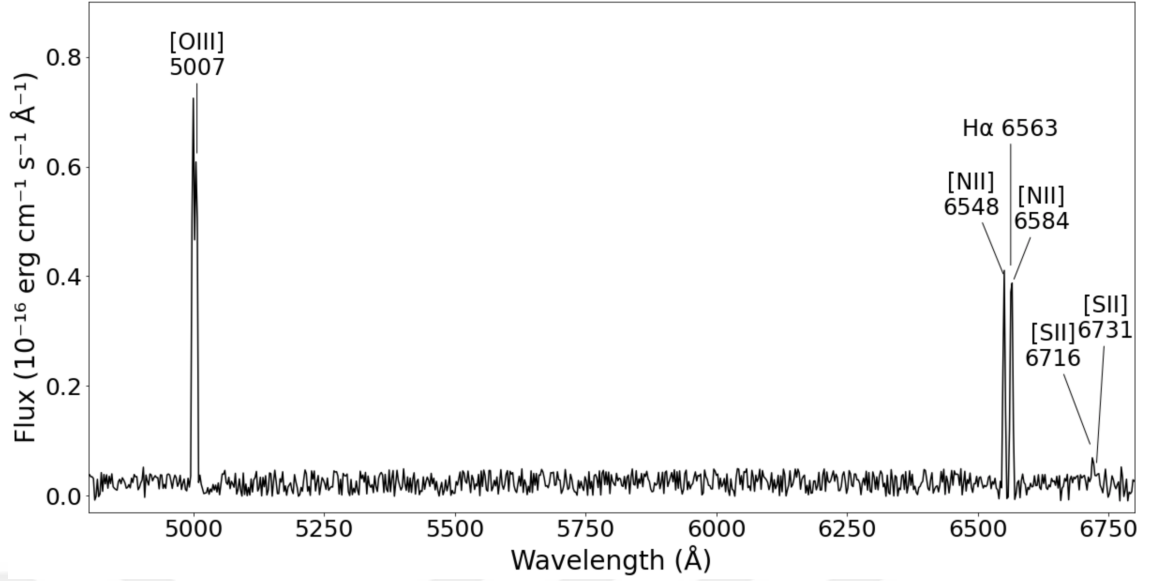
Şekil 3.9. G107.5–1.5’in KB bölgesinin 900 s poz süreli 2 numaralı tayfı



Şekil 3.10. G107.5–1.5’in KD bölgesinin 1800 s poz süreli 1 numaralı tayfı



Şekil 3.11. G107.5–1.5’in GD bölgesinin 900 s poz süreli 1 numaralı tayfı



Şekil 3.12. G107.5–1.5’in GD bölgesinin 900 s poz süreli 2 numaralı tayfı

3.4. G67.7+1.8’in Güneybatısındaki Kaynak

G67.7+1.8 kalıntısı, 327 MHz radyo gözlemleriyle Taylor vd. (1992) tarafından keşfedilmiştir. Bu gözlem verilerinin analizinden spektral indeks $\alpha = -0.5 \pm 0.1$ ($S \sim \nu^\alpha$) olarak bulunmuştur. Daha sonra optik bölgede Mavromatakis vd. (2001) ve ardından Gök vd. (2008) tarafından gözlenmiş ve analizleri yapılmıştır. Daha önce RTT150 teleskobuyla Gök vd. (2008) tarafından incelenen bu SNK’nın T100 teleskobuyla gözlemi bulunmamaktadır.

Mavromatakis vd. (2001); G67.7+1.8’e yakın yeni yaygın bir kaynağın tespit edildiğini ve bu kaynağın ayrıntılı olarak incelenmesi için daha yüksek çözünürlüklü görüntüleme ve tayfsal gözlemlere ihtiyaç duyulduğunu rapor etmişlerdir. Bu kaynağın, SNK G67.7+1.8 ile ilişkili olup olmadığı ilk kez T100 teleskobuyla bu tezde araştırılmıştır. Kaynağın kalıntıya göre nerede konumlandığını anlamak için 4500 s poz süreli H α görüntüsü incelenmiştir. Şekil 3.13’te bu kaynağın G67.7+1.8’e göre CCD’nin sağ alt köşesinde bulunduğu görülmektedir.

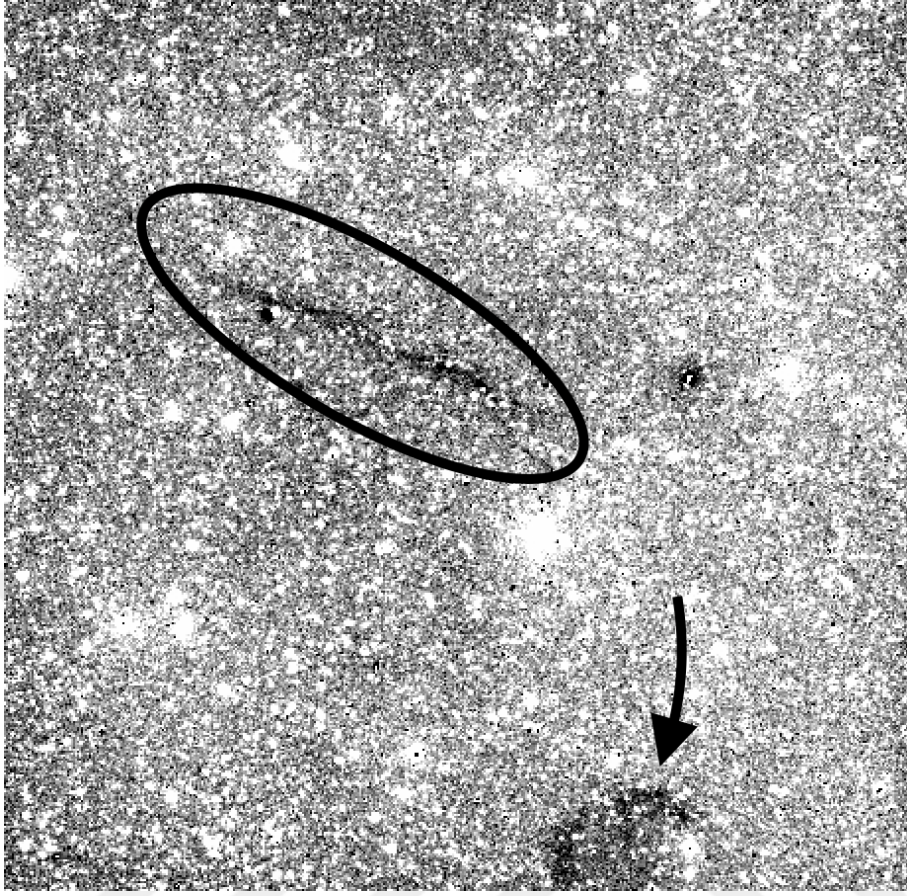
3.4.1. G67.7+1.8’in güneybatısındaki kaynağın fotometrisi

G67.7+1.8 GB bölgesinden optik ışımanın varlığının araştırılması amacıyla H α , H α süreklilik, [SII] ve [SII]/ süreklilik görüntüleri alınmıştır. Bu amaçla 6300 s poz süreli H α ve [SII] görüntüsü alınmıştır. Bu görüntüler kullanılarak H α -H α süreklilik, ve [SII]-[SII] süreklilik görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler Şekil 3.14 - 3.19

Çizelge 3.11. G107.5–1.5’in tayflarında gözlenen çizgilerin sırasıyla KB, KD ve GD bölgeleri için akı değerleri verilmiştir. Tüm akı değerleri $F(H\alpha) = 100$ olarak normalize edilmiştir. S/G oranları parantez içinde verilmiştir. Çizgi oranları ve hesaplanan fiziksel parametreler de bu çizelgede sunulmuştur

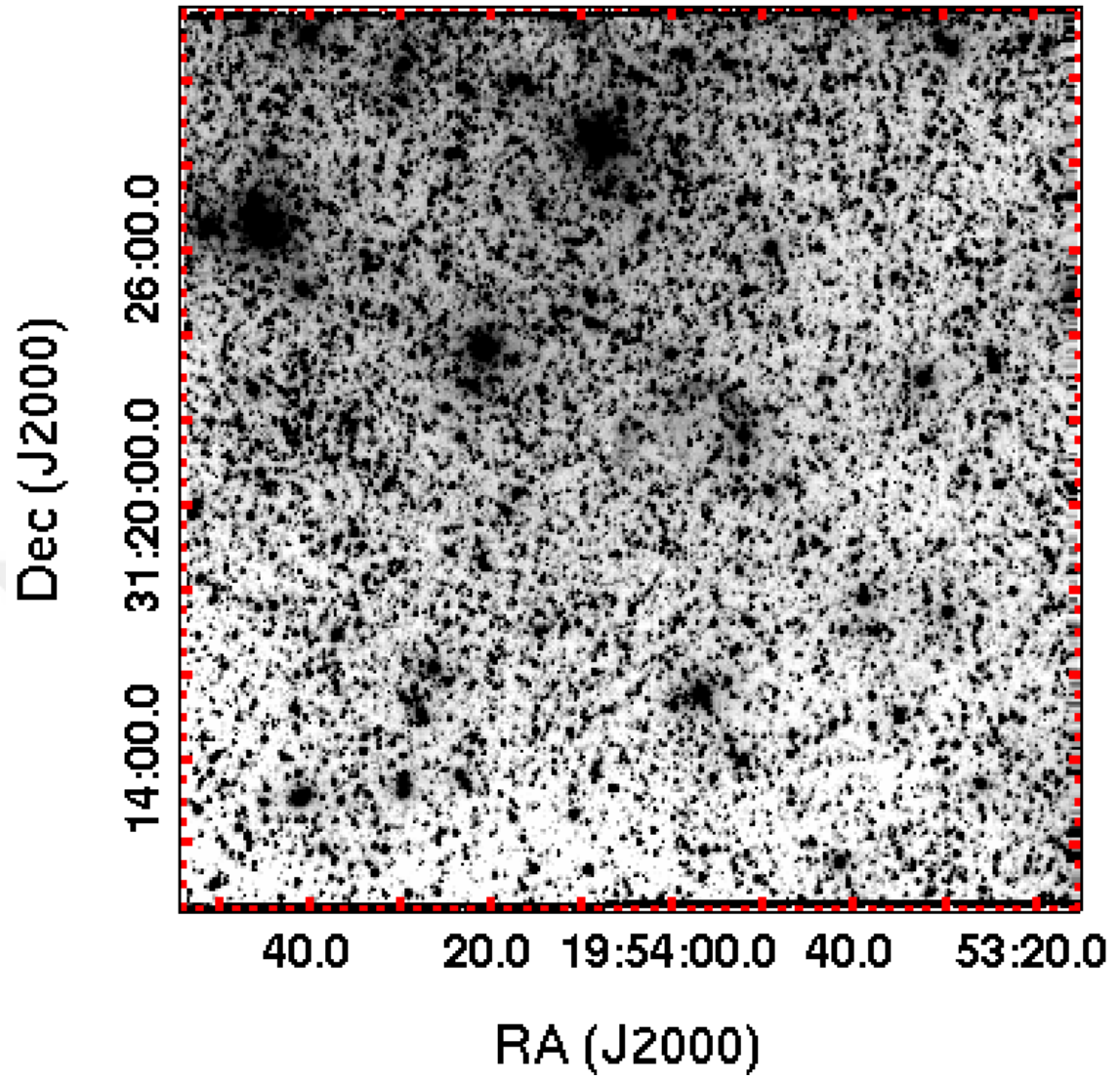
Çizgiler (Å)	Akılar ($H\alpha=100$) ve S/G oranları				
	KB		KD	GD	
	1	2	1	1	2
H β ($\lambda 4861$)	—	11 (15)	13 (30)	—	—
[O III] ($\lambda 4959$)	20 (47)	—	—	13 (17)	—
[O III] ($\lambda 5007$)	5 (17)	—	7 (34)	59 (28)	136 (30)
[N II] ($\lambda 6548$)	—	—	113 (29)	39 (41)	87 (50)
H α ($\lambda 6563$)	100 (40)	100 (39)	100 (34)	100 (50)	100 (47)
[N II] ($\lambda 6584$)	39 (18)	24 (51)	23 (36)	—	45 (10)
[S II] ($\lambda 6716$)	9 (10)	17 (28)	27 (24)	75 (38)	17 (18)
[S II] ($\lambda 6731$)	14 (26)	21 (12)	—	60 (20)	13 (10)
Çizgi oranları		Değerler			
F($H\alpha$)	6.42×10^{-11}	7.9×10^{-12}	1.98×10^{-14}	0.18×10^{-17}	2.41×10^{-16}
($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
[S II] / H α	0.23 ± 0.03	0.38 ± 0.02	0.27 ± 0.05	1.35 ± 0.03	0.3 ± 0.04
[S II]	0.64 ± 0.04	0.81 ± 0.06	—	1.24 ± 0.04	1.25 ± 0.09
$\lambda 6716 / \lambda 6731$					
[O III] / H β	—	—	0.54 ± 0.05	—	—
Parametreler		Değerler			
$N_e(\text{cm}^{-3})$	3301 ± 530	1432 ± 150	—	240 ± 3	231 ± 6
$V_s(\text{km s}^{-1})$	—	—	80	—	—
$E(B - V)$	—	0.94 ± 0.02	0.81 ± 0.13	—	—
A_v	—	2.91 ± 0.05	2.5 ± 0.11	—	—
N_H (10^{21} cm^{-2})	—	5.07 ± 0.08	4.38 ± 0.19	—	—

arasında verilmiştir Çıkarma işlemleri IRAF 2.7v’de imarith paketi ile yapılmıştır. Bu görüntüler invertcolormap ile negatif olarak Şekil 3.14 - 3.19 arasında verilmiştir. Bu görüntülerin alınmasındaki amaç [S II]/H α görüntüsünü elde etmektir. Bu görüntü üzerinden [S II]/H α akı oranları, belirlenen alanlar (yeşil) için hesaplanmıştır (Şekil 3.19). Hesaplanan çizgi oranları Çizelge 3.12’de sunulmuştur. Böylece tayftan bulunan [S II]/H α akı oranı ile Bölüm Bulgular ve Tartışma’da karşılaştırılmıştır. Kaynağın dağınık (diffuse) bir morfolojiye sahip olduğu görülmektedir. Kaynağa ait

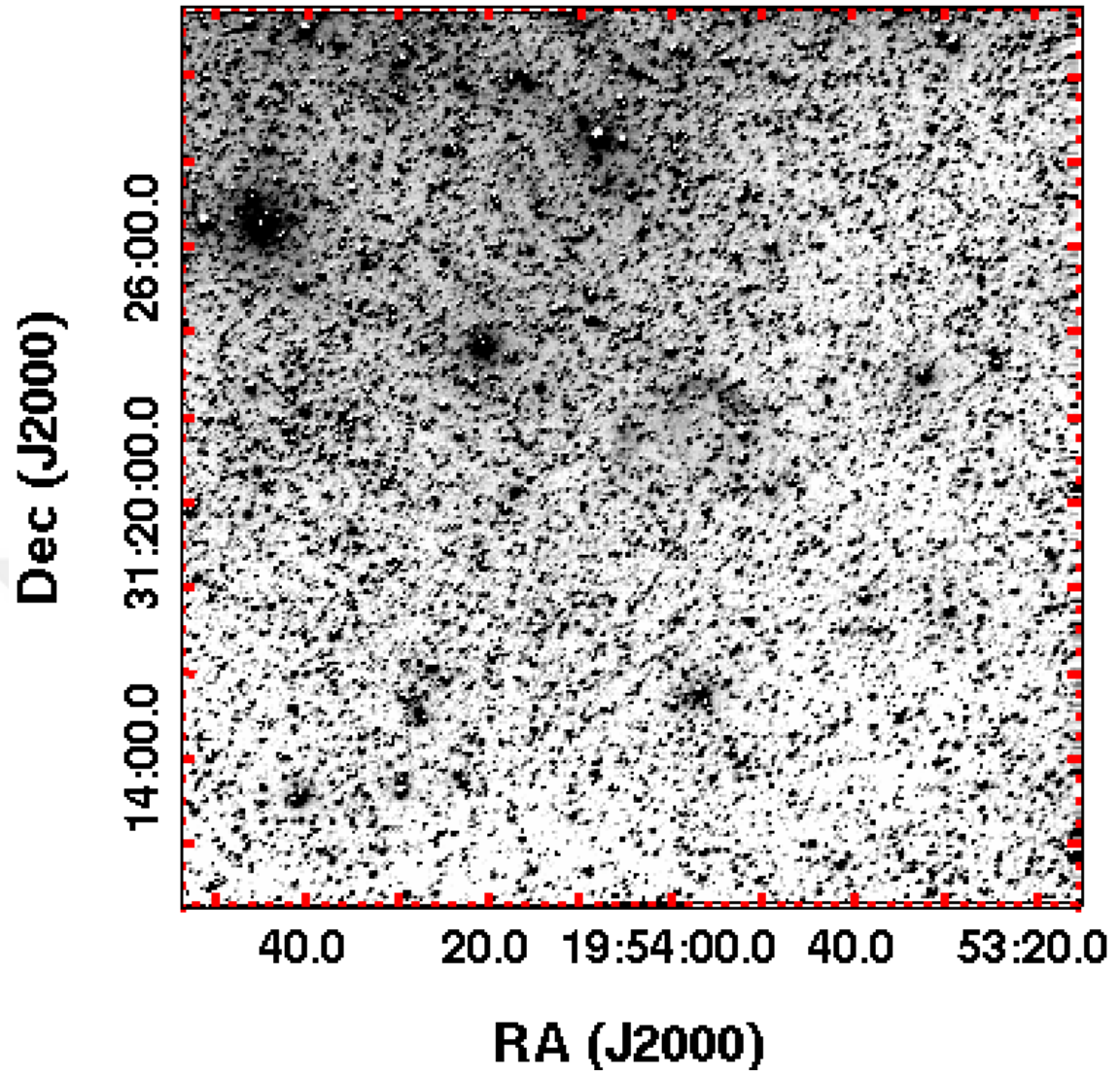


Şekil 3.13. G67.7+1.8'in (siyah elips) 4500 s poz süreli $[S II]/H\alpha$ görüntüsü, bu kalıntının GB'sindeki yaygın kaynağın (siyah ok) gösterimi

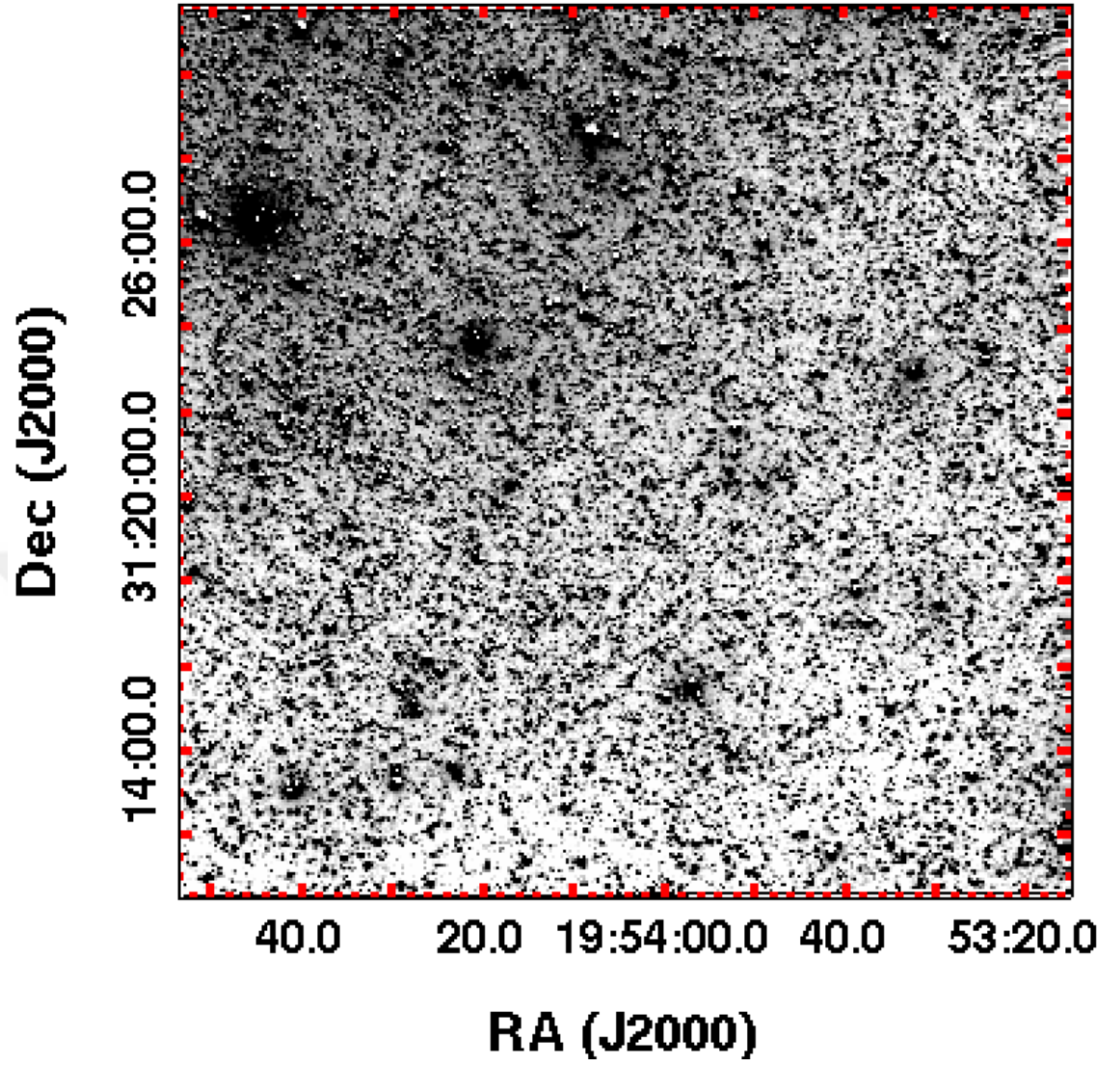
görüntü sayısı ve kullanılan filtreler Çizelge 3.8'de verilmiştir. Kalıntının CGPS ile alınan radyo-süreklilik kontürleri (yeşil) ile uyumu Şekil 3.18'da verilmiştir. Radyo sürekliliği seviyeleri 6.13 (düşük) ve 8.42 (yüksek) $mJy \text{ beam}^{-1}$ 'dir. Optik görüntünün kapladığı alan 21.5×21.5 açılı dakikası²'dir.



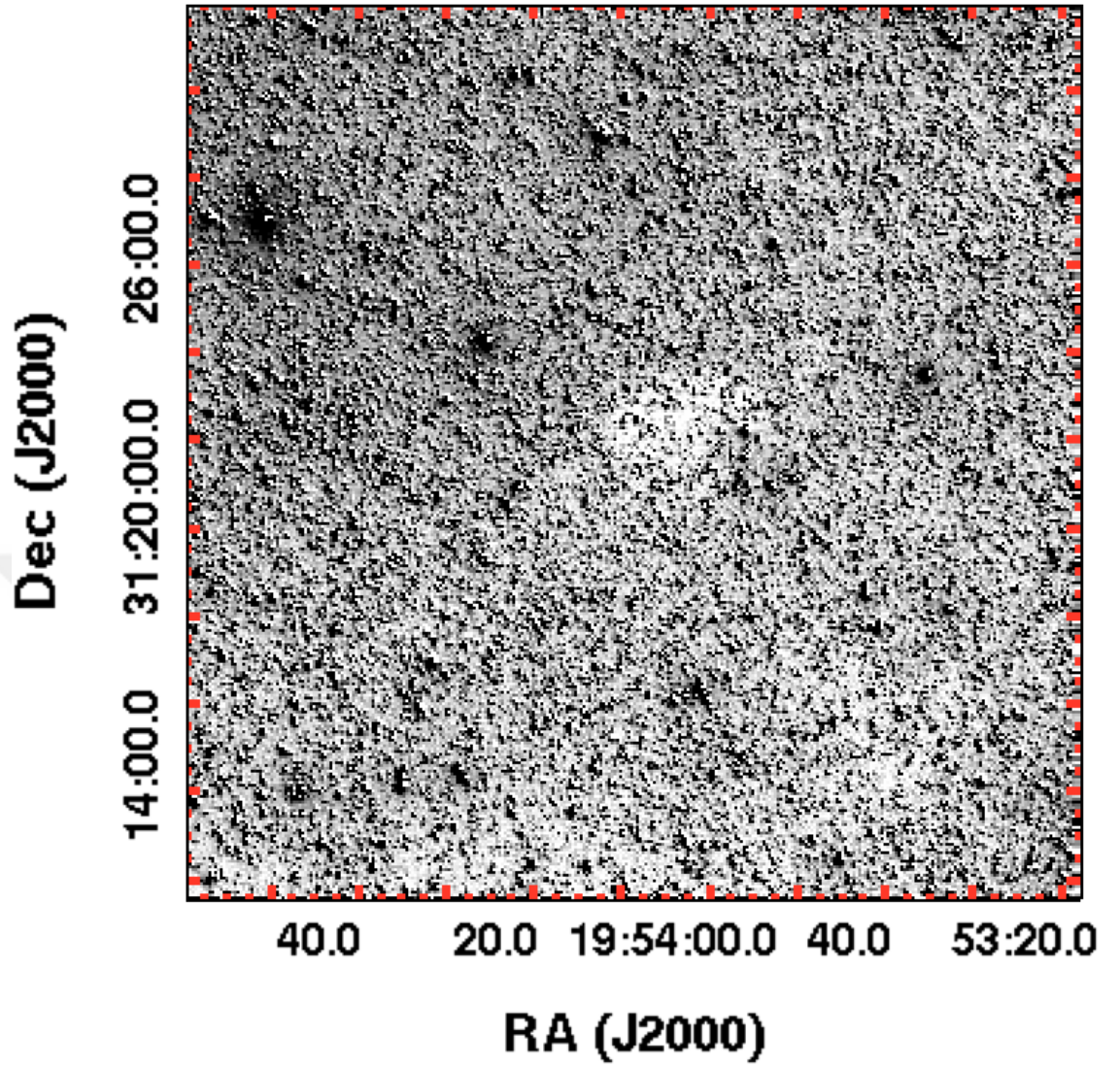
Şekil 3.14. G67.7+1.8 GB kaynağının 6300 s poz süreli $H\alpha$ görüntüsü



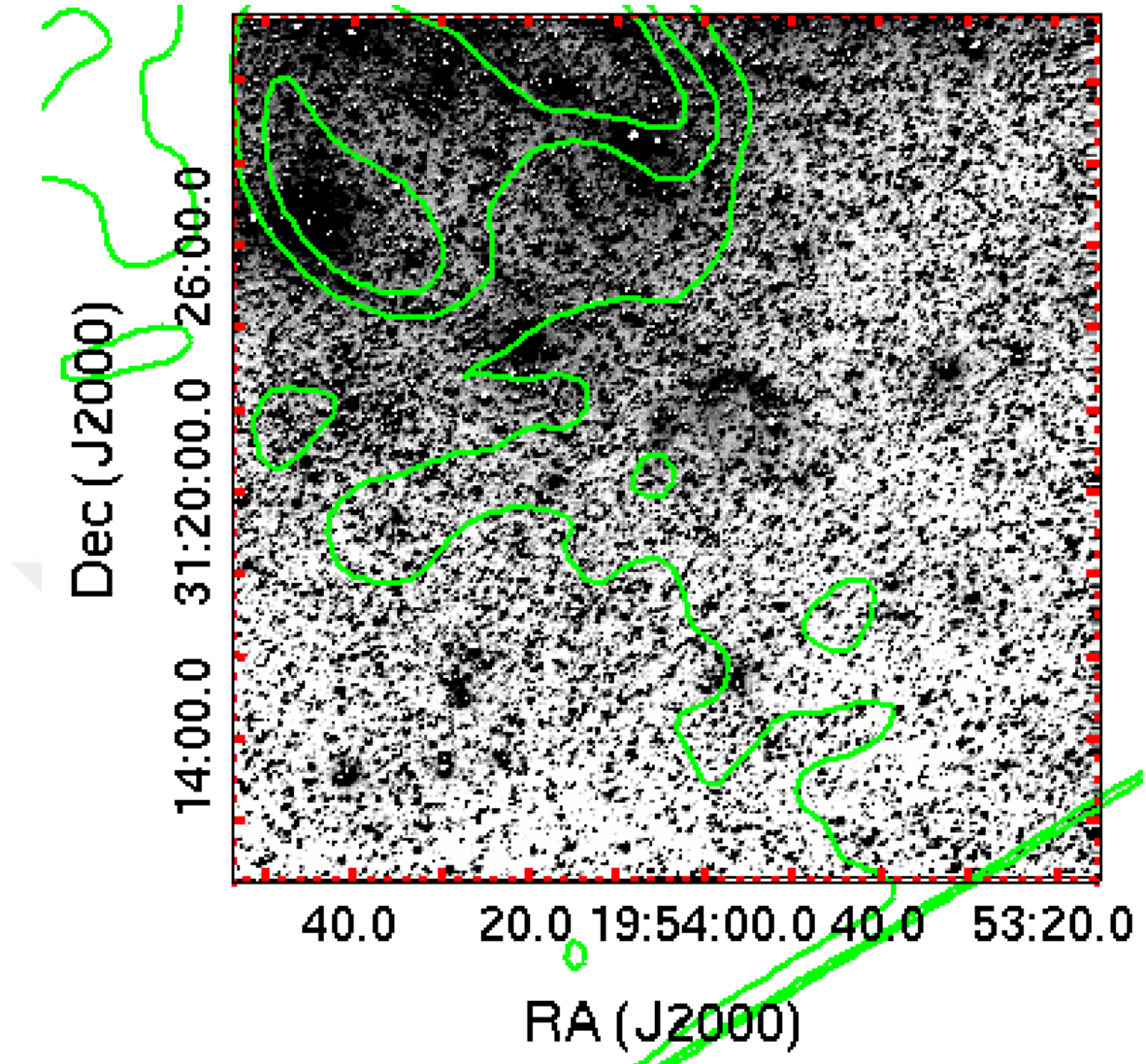
Şekil 3.15. G67.7+1.8 GB kaynağının H α -V süreklilik görüntüsü



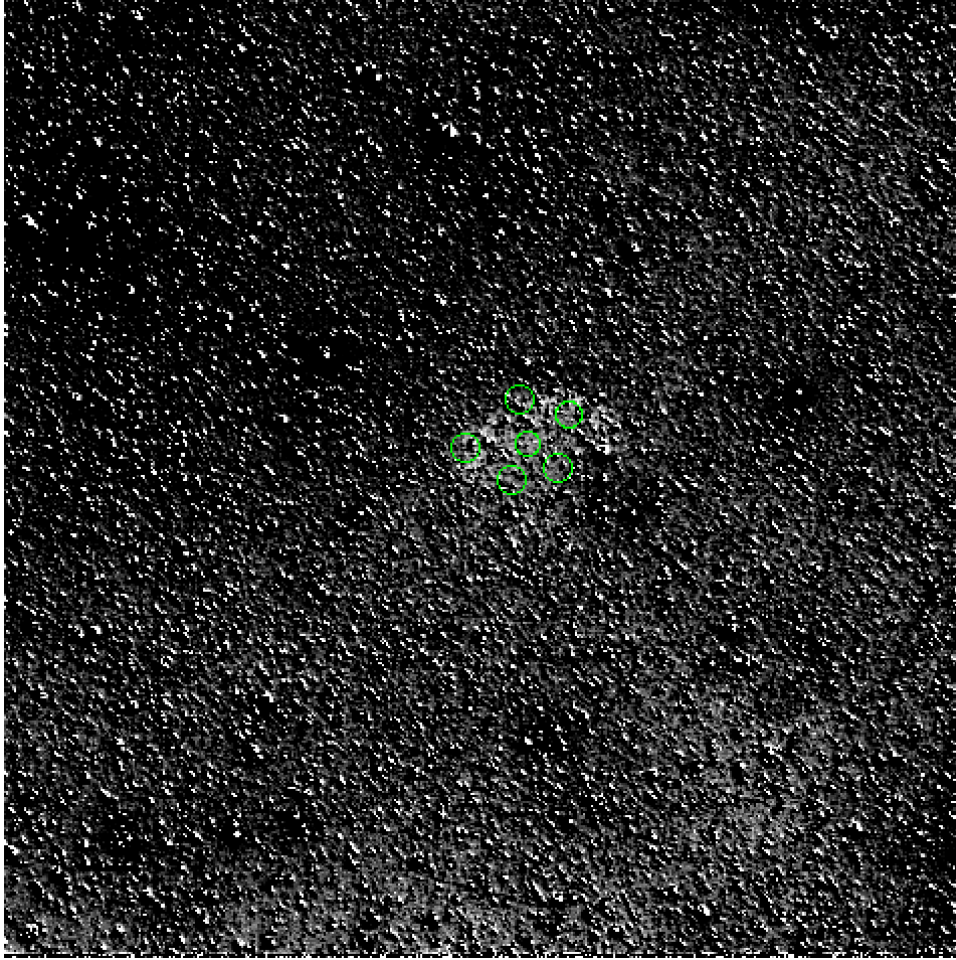
Şekil 3.16. G67.7+1.8 GB kaynağının [S II]-V süreklilik görüntüsü



Şekil 3.17. G67.7+1.8 GB kaynağının $([\text{S II}]-V) / (H\alpha-V)$ görüntüsü



Şekil 3.18. G67.7+1.8'in CGPS ile alınan radyo dalga boyundaki radyo kontürleri (yeşil) ve optik dalgaboyunda elde edilen H α -V süreklilik görüntüsünün üst üste gösterimi



Şekil 3.19. G67.7+1.8 GB kaynağının $[\text{S II}]\text{-V} / (\text{H}\alpha\text{-V})$ görüntüsü üzerinde $[\text{S II}]/\text{H}\alpha$ akı oranı hesaplanan alanların gösterimi

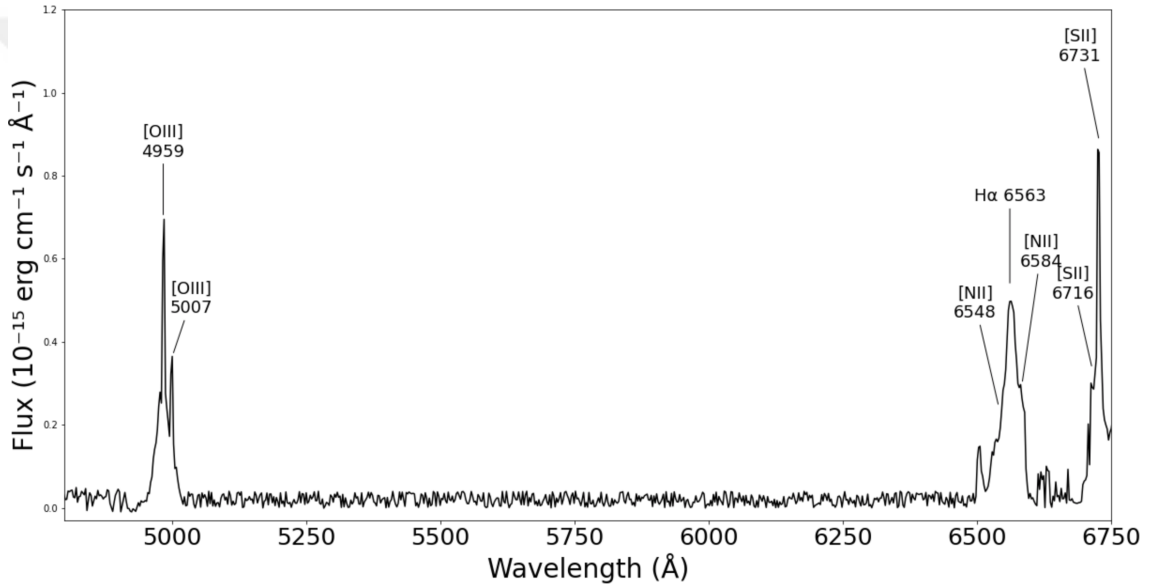
Çizelge 3.12. G67.7+1.8 GB kaynağının $[\text{S II}]/\text{H}\alpha$ görüntüsünden ölçülen akı değerleri

Koordinat ($\alpha; \delta$) (h m s; $^{\circ}$ ' ")	$[\text{S II}] / \text{H}\alpha$ akı oranı
19 54 00; 31 22 44	0.59 ± 0.01
19 53 55; 31 22 26	0.54 ± 0.07
19 53 59; 31 21 46	0.49 ± 0.03
19 53 56; 31 21 14	0.54 ± 0.02
19 54 01; 31 20 59	0.50 ± 0.02
19 54 06; 31 21 40	0.55 ± 0.08

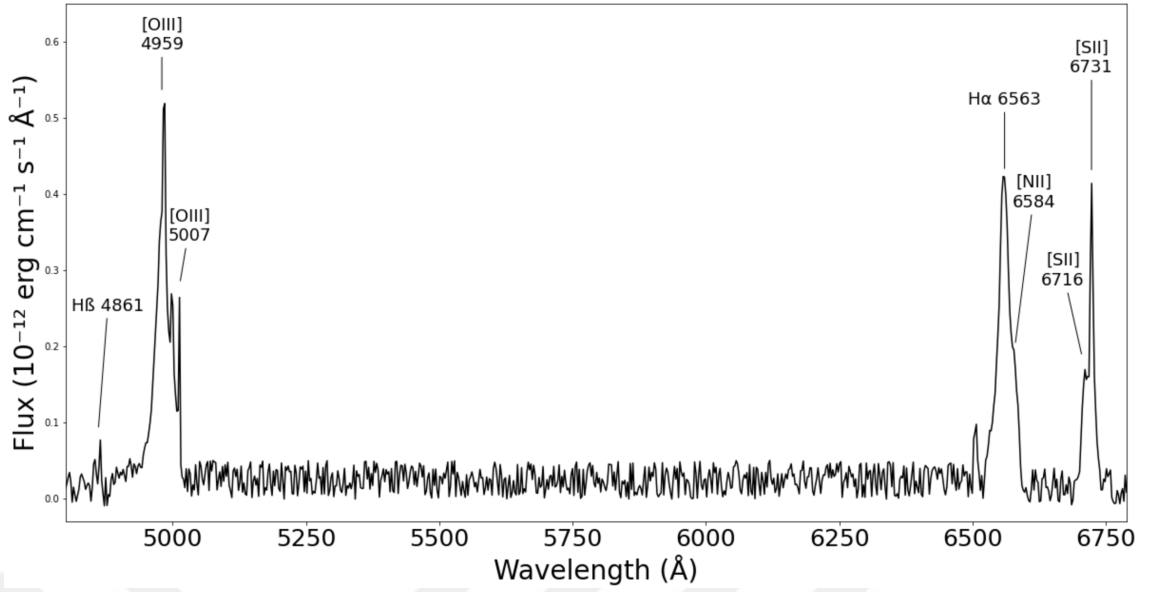
3.4.2. G67.7+1.8'in güneybatısındaki kaynağın tayfölçümü

G67.7+1.8 GB kaynağının tayfölçümü RTT150 teleskobuna takılı TFOSC tayfölçeri kullanılarak, kalıntının 1, 2 ve 3 numaralı bölgeleri için yapılmıştır (bkz. Çizelge 3.13). Ön-indirgemenin ardından yapılan dalga boyu ve akı ayarlaması sonucu elde edilen tayflar Şekil 3.20 - 3.22 arasında verilmiştir. Tayflarda $H\beta$ ($\lambda 4861$), $[O III]$ ($\lambda 4959$, $\lambda 5007$), $[N II]$ ($\lambda 6584$), $H\alpha$ ($\lambda 6563$), $[N II]$ ($\lambda 6584$) ve $[S II]$ ($\lambda 6716$, $\lambda 6731$) çizgileri görülmektedir.

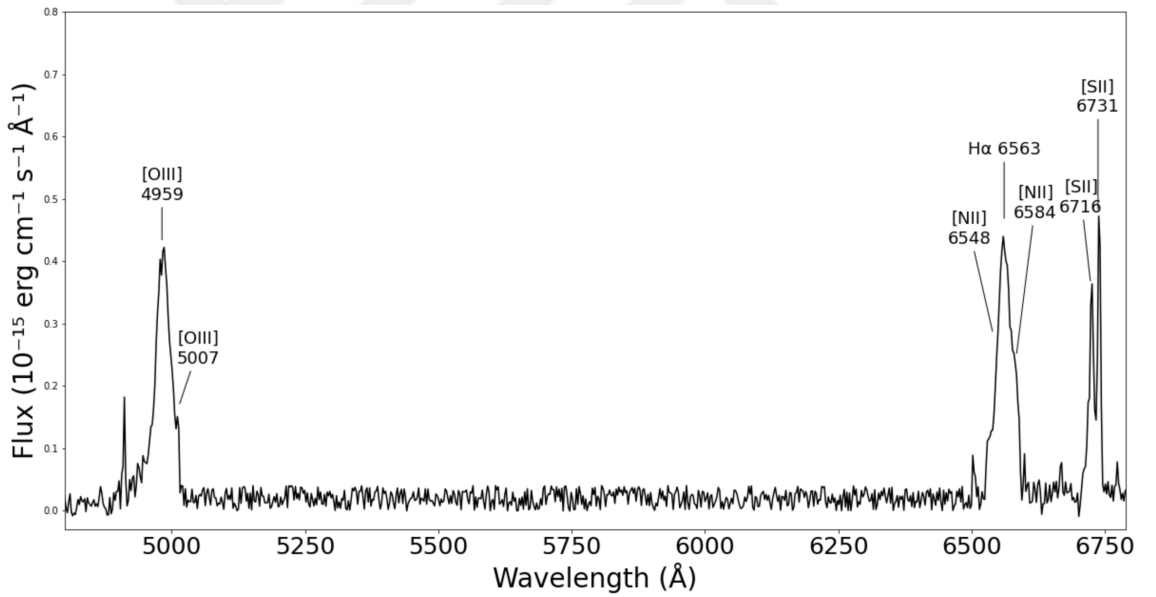
G67.7+1.8 GB için 1, 2 ve 3 numaralı bölgelere ait tayflardan elde edilen çizgilerin akı değerleri, S/G oranları ve hesaplanan fiziksel parametreler Çizelge 3.13'de listelenmiştir.



Şekil 3.20. G67.7+1.8'nin GB bölgesinin 900 s poz süreli 1 numaralı tayfı



Şekil 3.21. G67.7+1.8'nin GB bölgesinin 900 s poz süreli 2 numaralı tayfı



Şekil 3.22. G67.7+1.8'nin GB bölgesinin 1800 s poz süreli 3 numaralı tayfı

3.5. G189.6+3.3

SNK G189.6+3.3, *ROSAT* All-Sky Survey ile (Asaoka ve Aschenbach 1994) tarafından keşfedilmiştir. G189.6+3.3'ün görüntüsü kullanılarak, ~ 1.5 çapında halka benzeri bir X-ışını morfolojisi tespit edilmiştir. G189.6+3.3'ün merkezi, yakınında bulunan SNK IC 443'ün merkezinden $\sim 0.7^\circ$ uzaktadır. G189.6+3.3'ün kuzeydoğu

Çizelge 3.13. G67.7+1.8 GB bölgesinden alınan tayflardaki çizgi akı (F) değerleri. Tüm akı değerleri $F(H\alpha) = 100$ olacak şekilde normalize edilmiştir. S/G oranları parantez içinde verilmiştir. Çizgi oranları ve hesaplanan fiziksel parametreler çizelgede sunulmaktadır

Çizgiler (Å)	Akılar ($H\alpha=100$) ve S/G		
	yarık 1	yarık 2	yarık 3
H β ($\lambda 4861$)	—	4 (64)	—
[O III] ($\lambda 4959$)	41 (55)	71 (92)	66 (71)
[O III] ($\lambda 5007$)	12 (84)	17 (85)	11 (85)
[N II] ($\lambda 6548$)	9 (64)	—	11 (59)
H α ($\lambda 6563$)	100 (74)	100 (80)	100 (90)
[N II] ($\lambda 6584$)	16 (70)	14 (90)	26 (62)
[S II] ($\lambda 6716$)	12 (72)	3 (86)	49 (61)
[S II] ($\lambda 6731$)	25 (67)	46 (81)	25 (82)
Çizgi Oranları	Değerler		
F ($H\alpha$) ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1.5×10^{-15}	1.4×10^{-12}	1.44×10^{-15}
[S II]/H α	0.36 ± 0.10	0.5 ± 0.2	0.73 ± 0.06
[S II] $\lambda 6716/\lambda 6731$	0.5 ± 0.2	0.05 ± 0.40	1.92 ± 0.02
[O III] ($\lambda 5007$)/H β ($\lambda 4861$)	—	22.25 ± 9.00	—
Parametreler	Değerler		
$N_e(\text{cm}^{-3})$	12648 ± 6055	2837 ± 988	227 ± 62
$V_s(\text{km s}^{-1})$	—	80–100	—
$E(B - V)$	—	1.84 ± 0.40	—
A_v	—	5.7 ± 3.0	—
$N_H(10^{20} \text{ cm}^{-2})$	—	10 ± 2	—

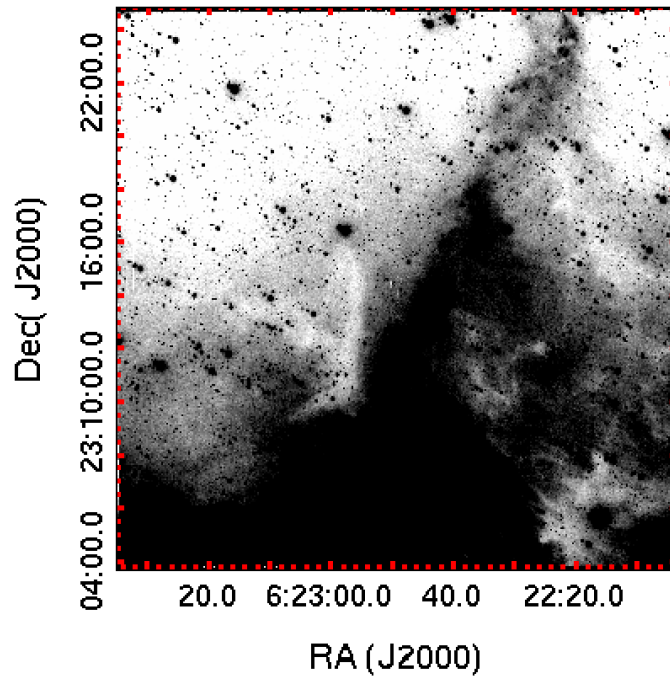
bölgesi, hem yumuşak X-ışını bandında (Asaoka ve Aschenbach 1994) hem de radyo bandında, özellikle 327 MHz’de (Braun ve Strom 1986) en yüksek yüzey parlaklığına sahiptir. Asaoka ve Aschenbach (1994), G189.6+3.3’ün, IC 443’ün önünde yer alan bir moleküler bulutunun önünde bulunduğunu öne sürmüştür. Bu nedenle yazarlar, G189.6+3.3’ün uzaklığını yaklaşık 1.5 kpc olarak tahmin etmişlerdir.

Suzaku X-ışın uydusu ile G189.6+3.3’ün KD bölgesi (en parlak bölge) gözlenmiştir. Bu gözlemlere dayanarak yeniden birleşen plazma (recombining plasma) tespit edilmiştir (Yamauchi vd. 2020). G189.6+3.3’ün radyo dalga boyunda gözlenen kabuk benzeri yapının içinde yer alan geniş bir X-ışınına sahip olduğunu doğrulamışlardır. Tayfsal analizlerin sonuçları ise, bu SNK ile ilişkili olan yıldız püskürmesinden (ejecta) gelen X-ışını ışımasının, elektron sıcaklığı $kT_e = 0.4\text{--}0.7$ keV

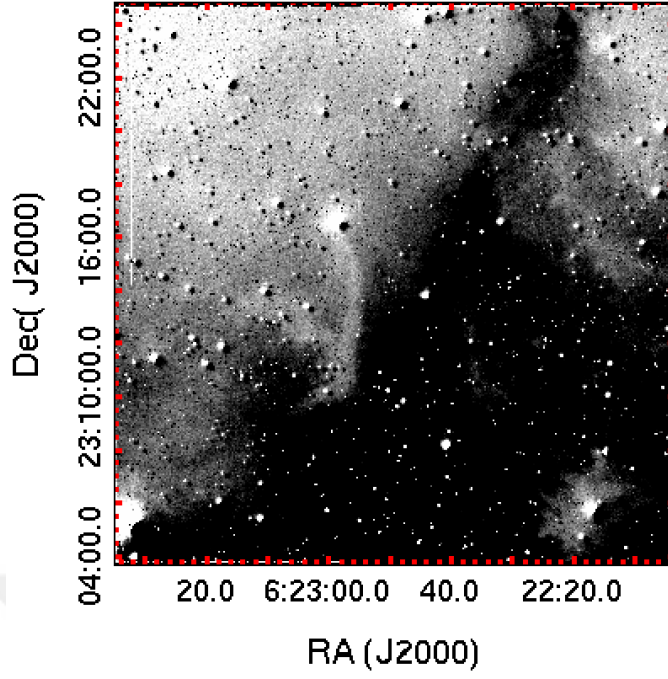
olan optik olarak ince bir termal plazma modeli tarafından en iyi şekilde temsil edildiğini ortaya koymuştur. Elektron yoğunluğu da $\sim 0.5 \text{ cm}^{-3}$ olarak elde edilmiştir. G189.6+3.3'ün aynı zamanda yeniden birleşen plazmaya sahip ve orta yaşlı bir SNK olduğu tahmin edilmiştir. Literatürde bu SNK'nın optik bölgede çalışması bulunmamaktadır.

3.5.1. G189.6+3.3'ün fotometrisi

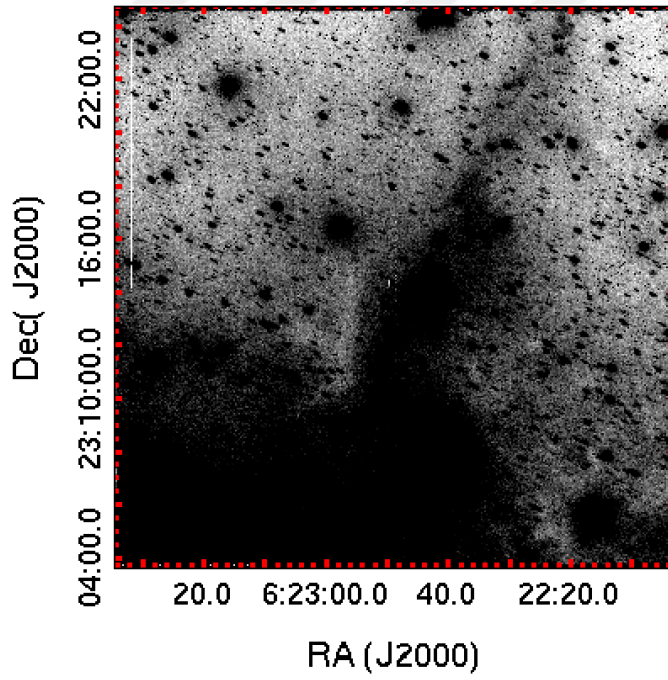
Her bir bölge için elde edilen $H\alpha$ görüntüleri, sırasıyla Şekil 3.23 - 3.27 arasında verilmiştir. Kalıntının $H\alpha$, [S II] ve bunların süreklilik görüntüleri elde edilmiştir. Süreklilik görüntülerini asıl görüntülerden çıkarma işlemleri IRAF 2.7v'ta imarith paketi ile yapılmıştır. Bu görüntüler invertcolormap ile negatif olarak verilmiştir. Son olarak kalıntının [S II]/ $H\alpha$ görüntüsü elde edilmiştir. Bu görüntü üzerinden kutucuklarla gösterilen alanlardan elde edilen değerler incelenmiştir (Şekil 3.28). Böylece görüntü üzerinden bulunan [S II]/ $H\alpha$ akı oranları, tayftan bulunan [S II]/ $H\alpha$ akı oranlarıyla karşılaştırılmıştır. Hesaplanan bu akı oranları Çizelge 3.14'de sunulmuştur. Kalıntının dağınık (diffuse) ve geniş bir morfolojiye sahip olduğu görülmektedir. Kalıntının $H\alpha$ -V görüntüsü üzerinde CGPS ile alınan radyo-süreklilik kontürleri (yeşil) ile uyumu Şekil 3.29'da verilmiştir. Radyo sürekliliği kontür seviyeleri $\sim 4.3 - 3.6 \text{ mJy beam}^{-1}$ aralığındadır. Optik dalga boyundaki görüntünün kapladığı alan 21.5×21.5 açı dakikası²'dir.



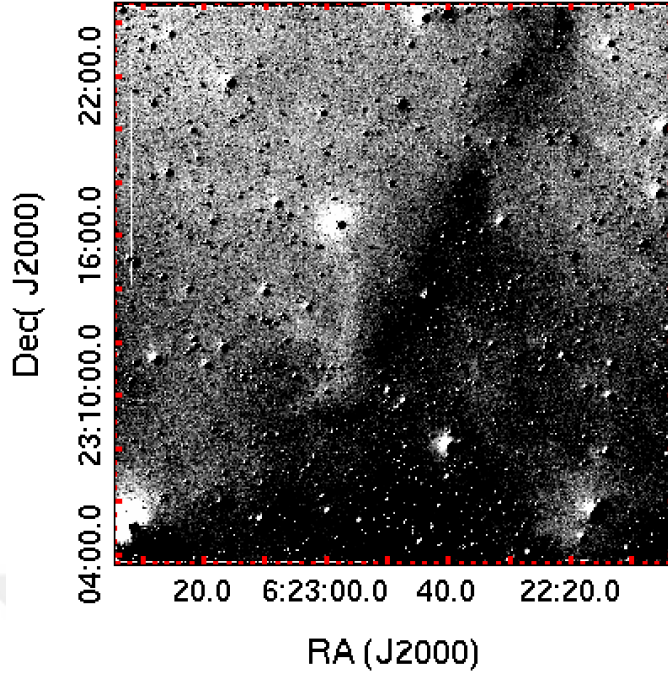
Şekil 3.23. G189.6+3.3'ün 2850 s poz süreli $H\alpha$ görüntüsü



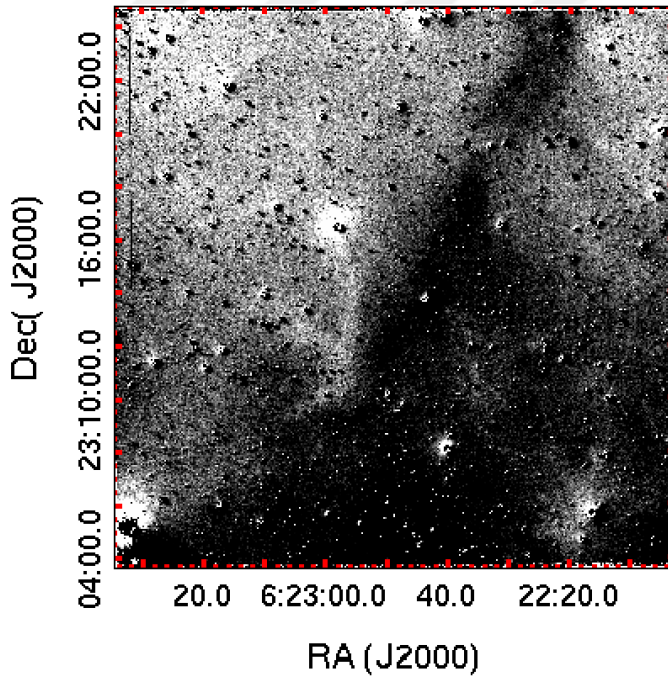
Şekil 3.24. G189.6+3.3'ün H α - V görüntüsü



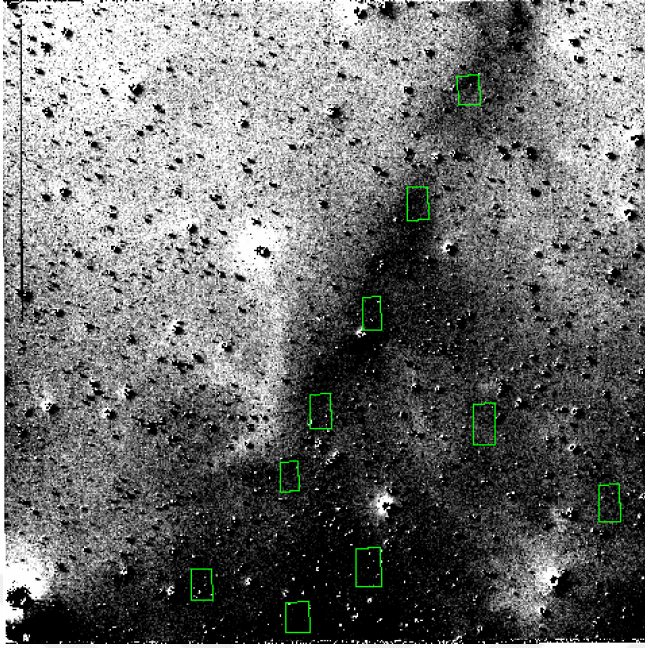
Şekil 3.25. G189.6+3.3'ün 2850 s poz süreli [S II] görüntüsü



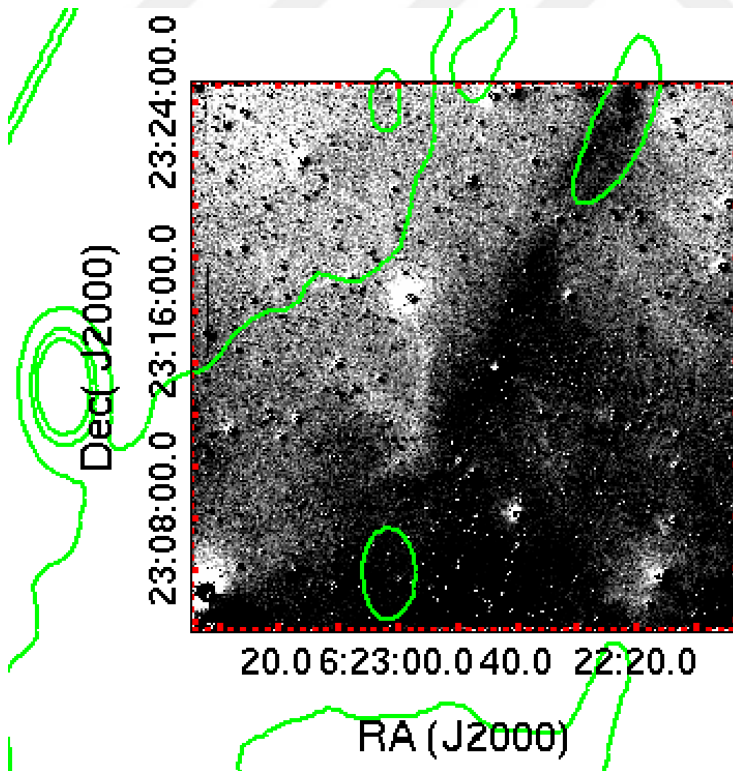
Şekil 3.26. G189.6+3.3'ün [S II] - V görüntüsü



Şekil 3.27. G189.6+03.3'un $([S II]-V) / (H\alpha-V)$ görüntüsü



Şekil 3.28. G189.6+03.3'un $([S II]-V) / (H\alpha-V)$ görüntüsü üzerinden $[S II]/H\alpha$ oranları hesaplanan alanların gösterimi



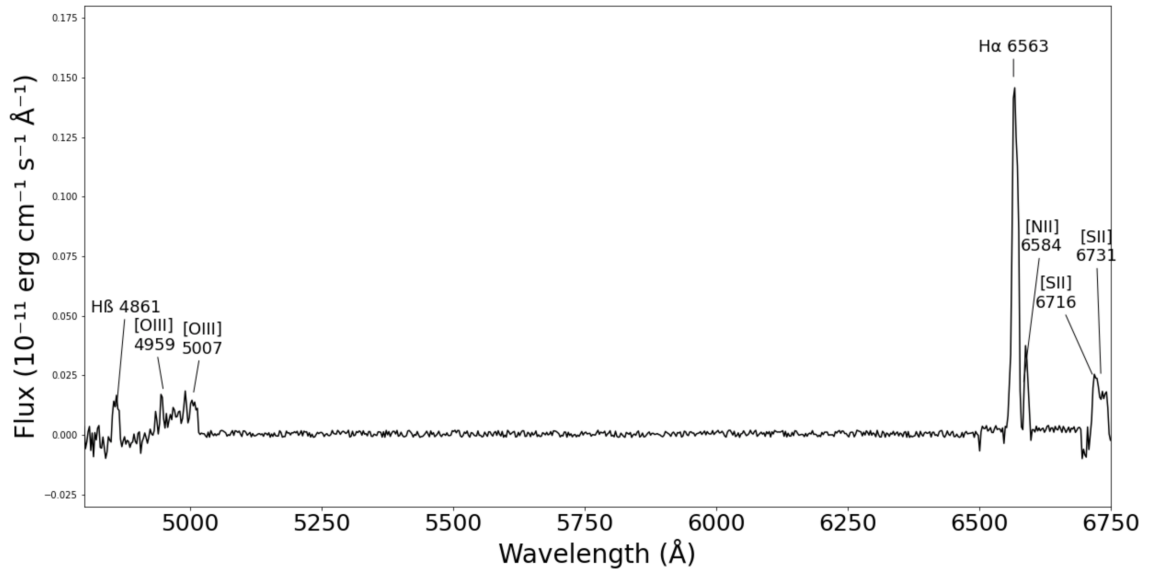
Şekil 3.29. G189.6+3.3'ün $H\alpha-V$ görüntüsü üzerinde CGPS ile alınan radyo-süreklilik kontürleri (yeşil) gösterimi

Çizelge 3.14. G189.6+3.3 kaynağının [S II] / H α görüntüsünden elde edilen değerler

Koordinat (α ; δ) (h m s; $^{\circ}$ ' ")	[S II] / H α akı oranı
06 22 28; 23 21 41	0.23 ± 0.05
06 22 36; 23 17 58	0.21 ± 0.20
06 22 42; 23 14 24	0.39 ± 0.06
06 22 49; 23 11 13	0.19 ± 0.02
06 22 26; 23 10 46	0.26 ± 0.20
06 22 08; 23 08 10	0.19 ± 0.04
06 22 54; 23 09 05	0.32 ± 0.01
06 22 42; 23 06 07	0.46 ± 0.10
06 22 52; 23 04 29	0.43 ± 0.20
06 23 06; 23 05 34	0.48 ± 0.30

3.5.2. G189.6+3.3'ün tayfölçümü

G189.6+3.3'un tayfölçümü, RTT150 teleskobuna takılı olan TFOSC tayfölçeri kullanılarak kalıntının bir bölgesi için yapılmıştır. Ön-indirgemenin ardından yapılan dalga boyu ve akı ayarlaması sonucu elde edilen tayf Şekil 3.30'de verilmiştir. Bu tayfta H β (λ 4861), [O III] (λ 4959, λ 5007), H α (λ 6563), [N II] (λ 6584) ve [S II] (λ 6716, λ 6731) çizgileri görülmektedir.

**Şekil 3.30.** G189.6+3.3'ün 4500 s poz süreli tayfı

G189.6+3.3'nin tayfindan elde edilen çizgilerin akı değerleri, S/G oranları ve hesaplanan fiziksel parametreler Çizelge 3.15'de listelenmiştir.

Çizelge 3.15. G189.6+3.3'nin tayfinda görülen çizgilerin akıları (F) değerleri. Tüm akı değerleri $F(H\alpha) = 100$ olacak şekilde normalize edilmiştir. S/G oranları parantez içinde verilmiştir. Çizgi oranları ve fiziksel parametreler çizelgede sunulmuştur

Çizgiler ($\text{\AA}$)	Akılar ($H\alpha=100$) ve S/G
	yarık 1
$H\beta$ ($\lambda 4861$)	32 (12)
[O III] ($\lambda 4959$)	4 (11)
[O III] ($\lambda 5007$)	2 (22)
[N II] ($\lambda 6548$)	—
$H\alpha$ ($\lambda 6563$)	100 (37)
[N II] ($\lambda 6584$)	14 (68)
[S II] ($\lambda 6716$)	21 (13)
[S II] ($\lambda 6731$)	22 (45)
Çizgi Oranları	Değerler
$F(H\alpha)$ ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1.95×10^{-11}
[S II]/ $H\alpha$	0.43 ± 0.05
[S II] $\lambda 6716/\lambda 6731$	0.95 ± 0.04
[O III] ($\lambda 5007$)/ $H\beta$ ($\lambda 4861$)	0.2 ± 0.4
Parametreler	Değerler
$N_e(\text{cm}^{-3})$	811 ± 11
$V_s(\text{km s}^{-1})$	80
$E(B - V)$	0.4 ± 0.77
A_v	11 ± 2
$N_H(10^{20} \text{ cm}^{-2})$	1.92 ± 0.30

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamında, Samanyolu'nda bulunan ve radyo dalga boylarında keşfedilen SNK'lar arasından 8 adedi seçilmiş ve gözlenmiştir. Gözlemler, TUG'da yer alan T100 teleskobuyla yapılan fotometri ve RTT150 teleskobuyla yapılan tayfölçümleri ile gerçekleştirilmiştir. G107.5–1.5'in ve G189.6+3.3'ün optik dalga boyunda ilk kez ışımaları keşfedilmiştir. G67.7+1.8 ise optik dalga boyunda daha önce çalışılmasına rağmen kalıntının GB tarafındaki ışımanın kaynağının ne olduğu belirlenememiştir. Literatürdeki bu eksiklik için bu bölgenin gözlemleri yapılmıştır. G93.3+6.9, G181.1+9.5, G36.6+2.6, G152.4–2.1 ve G150.8+3.8 SNK'larına ait, Çizelge 3.9'da verilen poz sürelerinde alınan görüntülerden optik ışımaları belirlenememiştir. Ayrıca, T100 teleskobu ile SNK gibi yaygın ve sönük nesnelerin gözlenebilirlik limitleri araştırılmıştır. Gözlemi yapılan SNK'lar açısal olarak büyük yer kapladıklarından dolayı gözlem yapılırken parçalara bölünerek gözlemleri yapılmıştır (mozaik yöntemi). Böylece, bir SNK, CCD'nin görüş alanına bağlı olarak bazen birkaç bölgeye bölünerek uzun poz süreleri ile gözlenmiştir. Fotometrik gözlemler ile optik ışıması tespit edilen her 3 kaynağın, tayfsal gözlemlerinden ortamın elektron yoğunluğu, şok dalgasının hızı, yıldızlararası sönümleme katsayısı, nötr hidrojen sütun yoğunluğu ve renk artışı gibi fiziksel parametreleri hesaplanmıştır. N_e değerleri, Python 3.7.13 yazılımında pyneb kütüphanesinde temden metodu ve nebular.temden⁶ programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu tez çalışmasında gözlenen kalıntılara ait bulgular ve tartışmalar aşağıda sunulmaktadır.

4.1. G107.5–1.5

G107.5–1.5'in optik dalga boyunda hem fotometrik hem de tayfsal gözlemleri ilk kez bu tez çalışması kapsamında yapılmıştır.

4.1.1. G107.5–1.5'in morfolojik özellikleri

G107.5–1.5'in optik dalga boyundaki morfolojisini ve optik ışımanın nereden kaynaklandığını belirlemek için SNK'nın dar bant görüntüleri ($H\alpha$ ve [S II]) ve süreklilik görüntüleri alınmıştır. Gözlemler sonucunda G107.5–1.5'in Şekil 3.7'deki gibi 3 farklı bölgesinden optik ışıma keşfedilmiştir (KB, KD ve GD). GD bölgesinin fotometrik gözlemleri, T100 teleskobundaki gözlem zamanının kısıtlı olması ve hava koşulları sebebiyle RTT150 teleskobuyla yapılmıştır. $H\alpha$ ve [S II] görüntüleri 600 s ve $H\alpha$ süreklilik, [S II] süreklilik görüntüleri 150 s poz süreleriyle alınmıştır. $H\alpha$ ve [S II] görüntülerinden süreklilik görüntüleri çıkarılarak SNK'nın morfolojisi elde edilmiştir. GD bölgesinin $H\alpha$ - $H\alpha$ süreklilik görüntüsü uzun, eğri ve paralel filamentleri göstermektedir ve ışıma geniş bir alana yayılmıştır. KD bölgesinin fotometrik gözlemi

⁶<http://stdas.stsci.edu/nebular/temden.html>

ise T100 teleskobu ile gerçekleştirilmiştir. 900 s'lik 5'er tane $H\alpha$ ve $[S II]$ görüntüleri alınmış ve bunlardan 4500 s'lik $H\alpha$ ve $[S II]$ görüntüsü elde edilmiştir. 150 s'lik 3 tane süreklilik (V) görüntüsü toplanarak 450 s'lik görüntü elde edildikten sonra bu görüntü, $H\alpha$ ve $[S II]$ görüntülerinden çıkarılmıştır. Aynı işlemler tüm SNK gözlemleri için farklı poz süresiyle de olsa bu aşamalarla yapılmıştır. Böylece görüntülerdeki yıldız ışıkları elimine edilmiş ve SNK morfolojisi ortaya çıkarılmıştır. KD bölgesinin $H\alpha$ ışıması çok daha geniştir ve belirgin bir şekilde filament yapıya sahiptir. KB bölgesinin gözlemi de T100 teleskobuyla gerçekleştirilmiştir. 900 s'lik 5'er tane $H\alpha$ ve $[S II]$ görüntüleri alınmış ve bunlardan 4500 s'lik $H\alpha$ ve $[S II]$ görüntüsü elde edilmiştir. V süreklilik görüntüsü için 3 tane 150 s'lik görüntü birleştirilmiştir. $H\alpha$ ve $[S II]$ görüntülerinden V süreklilik görüntüsü çıkarılmıştır. KB bölgesi için süreklilik çıkarılmış $H\alpha$ görüntüsünde ışıma dağınıktır. SNK'nın KB bölgesi, yaygın ışıma yapısını gösterir.

4.1.2. G107.5–1.5'in tayfsal özellikleri

G107.5–1.5'in optik tayfları her 3 bölge için alınmıştır. KB bölgesinde $\alpha=22^h49^m38^s$; $\delta=+57^\circ47'01''$ koordinatlı merkezden 900 s poz süreli iki tayf alınıp toplanmıştır. Ön-indirgemesi, dalga boyu ve akı kalibrasyonu, gökyüzünden gelen çizgilerden arındırılması yapılan tayf elde edilmiştir ve diğer SNK bölgelerinden elde edilen tayflar için de aynı aşamalar takip edilmiştir. KB bölgesinden alınan diğer tayf ise $\alpha=22^h49^m22^s$; $\delta=+57^\circ45'58''$ koordinatlıdır. Bu tayf 900 s poz süresine sahiptir. KD bölgesinde 3 farklı bölgeden tayf alınmıştır. $\alpha=22^h53^m39^s$; $\delta=+58^\circ15'45''$, $\alpha=22^h53^m40^s$; $\delta=+58^\circ11'38''$ ve $\alpha=22^h53^m41^s$; $\delta=+58^\circ08'51''$ koordinatlı bölgelerden 900 s'lik 2'şer adet tayf alınmıştır. Aynı işlemler bu tayflara da uygulanmıştır. G107.5–1.5'in son olarak GD bölgesinden 900 s'lik tayflar alınmıştır. Tayflar $\alpha=22^h56^m10^s$; $\delta=+57^\circ45'58''$ ve $\alpha=22^h56^m12^s$; $\delta=+57^\circ45'11''$ koordinatlıdır.

G107.5–1.5'in tayflarında; H Balmer çizgileri ($H\alpha$, $H\beta$) ve O ve S'nin yasaklı çizgileri ($[O III] 4959/5007\text{\AA}$ ve $[S II] 6716/6731\text{\AA}$) görülmektedir.

$[S II]/H\alpha$ akı oranı, SNK'ları H II bölgelerinden ve gezegenimsi bulutsulardan ayırabilir. GD bölgesi için, $[S II]/H\alpha > 0.5$, şokla ısıtılan emisyonu doğrular. KB ve KD bölgeleri için 0.5'ten düşük olan $[S II]/H\alpha$ akı oranları ise H II bölgesinden gelen emisyonla tutarlıdır.

10^4 K değerinde bir elektron sıcaklığı (T) varsayarak, G107.5–1.5'in KB ve GD bölgesi için elektron yoğunluğu (N_e) tahmin edilmiştir. $[S II]\lambda 6716 / \lambda 6731$ akı oranı kullanılarak KB bölgesi için elektron yoğunluğu $N_e \sim 2366 \text{ cm}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Öte yandan, GD bölgesinde elektron yoğunluğu $\sim 235 \text{ cm}^{-3}$ olarak bulunmuştur. KD bölgesinden alınan tayfta $[S II]\lambda 6731$ çizgisi görülmediği için N_e değeri hesaplanamamıştır. $[S II]\lambda 6716, \lambda 6731$ çizgilerinin akı oranları dikkate alındığında

elektron yoğunluğunun yasaklı çizgiler için 10^2 - 10^7 cm^{-3} değerleri aralığında olması beklenir (Frank vd. 2002). Bulutsunun merkezinde veya merkezine yakın bir yerde elektron yoğunluğu 10^3 cm^{-3} 'ten yüksek olmalıdır. Merkezden uzaklaştıkça yoğunluk azalır. Örneğin, $N_e > 3 \times 10^{-3}$ cm^{-3} olan yerler H II bölgelerinde meydana gelen bir yoğunluktur (Osterbrock ve Ferland 2006).

[O III] çizgilerinin $H\beta$ çizgisine oranı esas olarak ortalama iyonizasyon ve sıcaklık seviyesinin bir göstergesidir (Dopita vd. 1984). KD bölgesi için, gözlenen [O III]/ $H\beta$ oranı ~ 0.54 'dir ve bu değer ortamda yeniden birleşme bölgesi ile şokların olduğunu gösterir (Raymond 1979; Shull ve McKee 1979). $H\alpha$ çizgisine göre zayıf olan [O III] çizgi akısı, YAO'ya yayılan yavaş şoklarla açıklanabilir (Fesen, Gwen, vd. 2008).

KB ve KD bölgesi için $H\alpha/H\beta$ akı oranından bir logaritmik sönümleme katsayısı $c(H\alpha)$ türetilmiştir ve bu değer kullanılarak renk artışı KB ve KD bölgesi için sırasıyla ~ 0.94 ve ~ 0.56 olarak tahmin edilmiştir (bknz. Çizelge 3.11).

4.2. G67.7+1.8'in GB Bölgesi

G67.7+1.8 GB bölgesinin optik dalga boyunda hem fotometrik hem de tayfsal gözlemleri yapılmıştır.

4.2.1. G67.7+1.8'in GB bölgesinin morfolojik özellikleri

SNK G67.7+1.8, Mavromatakis vd. (2001) ve Gök vd. (2008) tarafından fotometrik ve tayfsal olarak gözlenmiş ve analiz edilmiştir. Kalıntının optik dalga boyundaki keşfi, Mavromatakis vd. (2001) tarafından Skinakas Gözlemevi'nde 0.3 m ayna çaplı teleskop kullanılarak yapılmıştır. Gözlemede $H\alpha$ +[N II], [S II], [O III] ve [O II] filtrelerini kullanarak kalıntının farklı dalga boylarındaki morfolojisi ve yapısı incelenmiştir. SNK'nın GB bölgesinde bir kaynak belirlenmiş, ancak bu kaynağın ne olduğu netleştirilmemiştir.

Kalıntının bir diğer optik çalışması Gök vd. (2008) tarafından RTT150 teleskobu kullanılarak yapılmıştır. G67.7+1.8'in 300 s'li 5'er adet $H\alpha$, [S II] ve bu filtrelerin süreklilik görüntüleri alınıp [S II]/ $H\alpha$ görüntüsü elde edilmiştir.

Tez kapsamında T100 teleskobuyla G67.7+1.8 kalıntısının GD bölgesinde bulunan kaynak araştırıldı. Kaynağın dar bant görüntüleri ($H\alpha$ ve [S II]) 900 s poz süresi ile 7 adet ve süreklilik görüntüleri 150 s poz süresi ile 2 adet alındı. Her filtre kendi içinde toplandı ve süreklilikleri çıkarıldı. Kaynağın konumunun anlaşılması için CCD karesinde G67.7+1.8 ve kaynak ortalanmıştır (bknz. 3.13). Böylece kaynağın, G67.7+1.8'in GB'sinde olduğu belirlenmiştir. G67.7+1.8'in GB'sindeki kaynak, $H\alpha$ - $H\alpha$ süreklilik görüntüsünde yuvarlak yaygın bir yapıya sahip, fakat sönük bir cisim

olarak ortaya çıkmıştır. Bu kaynağın $[S II]/H\alpha$ akı oranı $\sim 0.49-0.59$ arasında ölçülmüştür. Kaynağın $H\alpha$ görüntüsü ile bu bölgenin radyo-süreklilik kontürleri üst üste çizilmiş ve bu iki dalga boyundaki ışımanın birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

4.2.2. G67.7+1.8'in GB bölgesinin tayfsal özellikleri

G67.7+1.8'in tayfölçümü Mavromatakis vd. (2001) tarafından, Skinakas Gözlemevi'nde 1.3 m çaplı Ritchey-Cretien teleskobuyla yapılmıştır. 3600 s'lik 3 adet tayftan $[S II]/H\alpha$ oranı ~ 1.15 olarak bulunmuştur. Bu değer, optik ışımanın SNK'dan geldiğini ve bu SNK'nın düşük elektron yoğunluğuna sahip olduğunu göstermektedir. $H\alpha/H\beta \sim 10.9$ olarak hesaplanmıştır. Tayftan yüksek akı değerlerine sahip $[N II]$ çizgileri tespit edilmiştir. Şok dalgasının hızı ise $60-80 \text{ km s}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

Kalıntının bir diğer tayfsal çalışması Gök vd. (2008) tarafından RTT150 teleskobuyla yapılmıştır. 900 s'lik 3 adet tayftan; $[S II]/H\alpha$ akı oranı ~ 0.8 olarak belirlenmiştir. Be değer, optik ışımanın $H II$ bölgesi ile ilgili olmayıp, şokun ısıttığı bir plazmadan geldiğini göstermektedir. Bu oranların optik görüntülerden elde edilen oranlarla uyumlu olduğu rapor edilmiştir. $[S II]$ 'nin iki çizgisine ait akı değerlerinin oranları ~ 1.16 ve ~ 1.09 ve N_e değerleri $\sim 358-480 \text{ cm}^{-3}$ aralığında bulunmuştur. Şok dalgasının hızı ise $80-100 \text{ km s}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

G67.7+1.8 GB kaynağının tayflarında; H Balmer çizgileri ($H\alpha$, $H\beta$) ve O ve S'nin yasaklı çizgileri ($[O III] 4959/5007\text{\AA}$ ve $[S II] 6716/6731\text{\AA}$) görülmektedir.

Tayflar, kaynağın 3 farklı bölgesinden alınmıştır. $\alpha=19^h54^m02^s$; $\delta=+31^\circ21'38''$ ve $\alpha=19^h53^m55^s$; $\delta=+31^\circ22'19''$ koordinatlı tayflar 900 s ile, $\alpha=19^h54^m09^s$; $\delta=+31^\circ22'48''$ koordinatlı tayf ise 900 s'li iki tayfın toplanmasıyla elde edilmiştir. Birinci tayfta $[S II]/H\alpha$ akı oranı ~ 0.36 , diğer tayflarda sırasıyla ~ 0.5 ve ~ 0.73 olarak ölçülmüştür. Bu akı oranları, bu kaynağın $H II$ bölgesiyle iç içe geçmiş olduğunu gösterir. Öte yandan ikinci tayfta, $H\beta$ ve $[O III]$ çizgileri görüldüğü için şok hızı $80-100 \text{ km s}^{-1}$ olarak tahmin edilmiştir. N_e ise sırasıyla ~ 12648 , ~ 2837 ve $\sim 227 \text{ cm}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. G107.5-1.5 kalıntısındaki gibi burada da merkez bölgeden gelen yüksek bir elektron yoğunluğu görülmektedir. Merkezden uzaklaştıkça N_e değeri de küçülmektedir. Alınan tayfların konumuna göre beklenen N_e değerleri elde edilmiştir.

G67.7+1.8'in literatürde verilen $[S II]/H\alpha$ akı oranları ile GB kaynağının 3. tayfindan hesaplanan akı oranları uyuşmaktadır. 10^4 K değerinde bir elektron sıcaklığı (T) varsayarak hesaplanan elektron yoğunluğu da G67.7+1.8 için hesaplanan değer ile uyumludur. 3. tayfta $H\beta$ çizgisi olmadığı için diğer parametreler elde edilememiştir ve bir karşılaştırma yapılamamıştır. $[S II]$ akı oranları 1. ve 2. tayfta düşük çıktığı için N_e beklendiği gibi büyük ölçülmüştür (bknz. Şekil 2.10). 2.tayftan elde edilen şok hızı

değeri ise Gök vd. (2008)'nin elde ettiği değer ile uyumludur.

G67.7+1.8 GB tayflardan elde edilen elektron yoğunlukları sırasıyla ~ 12648 , ~ 2837 ve $\sim 227 \text{ cm}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Şok dalgasının hızı ise sadece 2.tayftan elde edilmiştir ve $80-100 \text{ km s}^{-1}$ aralığındadır. $[\text{S II}]/\text{H}\alpha$ akı oranları sırasıyla ~ 0.36 , ~ 0.5 ve ~ 0.73 olarak hesaplanmıştır. Bu oranların hata değerleri de göz önünde bulundurulursa, SNK'nın ışımasına H II bölgesinin katkısının olduğu düşünülmektedir.

4.3. G189.6+3.3

G189.6+3.3'ün optik dalga boyunda hem fotometrik hem de tayfsal gözlemleri ilk kez bu tez çalışması kapsamında yapılmıştır.

4.3.1. G189.6+3.3'ün morfolojik özellikleri

G189.6+3.3'ün optikteki morfolojik yapısını anlamak için SNK'nın dar bant görüntüleri ($\text{H}\alpha$ ve $[\text{S II}]$) ve süreklilik görüntüleri alınmıştır. Kalıntının radyo merkez koordinatı $\alpha=06^h22^m42^s$; $\delta=+23^\circ13'59''$ 'dur. Bu bölge ve çevresi $\text{H}\alpha$ filtresi ile taranarak bir kaç bölgede optik ışıma keşfedilmiştir. Gözlemi tamamlanan $\alpha=06^h22^m36^s$; $\delta=+23^\circ04'28''$ merkez koordinatlı bölgeye ait gözlemsel sonuçlar bu tezde sunulmaktadır. G189.6+3.3'nin kapladığı alan büyük olduğu için hala gözlemleri devam etmektedir. SNK'nın T100 ile görüntüleri alınırken takip motorunda sorun olduğu için 150 s'lik görüntüler alınabilmiştir. 150 s'lik 19 tane $\text{H}\alpha$ ve $[\text{S II}]$ görüntüsü toplanarak 2850 s'lik görüntü elde edilmiştir. V süreklilik görüntüsü için 3 tane 150 s'lik görüntü birleştirilmiştir. $\text{H}\alpha$ ve $[\text{S II}]$ görüntülerinden bunların süreklilik görüntüleri çıkarılmıştır. Elde edilen görüntülerde SNK'nın oldukça geniş ve belirgin $\text{H}\alpha$ ışımasına sahip olduğu görülmektedir. $[\text{S II}]/\text{H}\alpha$ oranları, $[\text{S II}]/\text{H}\alpha$ görüntüsünden de elde edilmiştir. Değerler $\sim 0.19-0.48$ aralığında çıkmıştır. Bu oranlar tayftan elde edilen değerlerle uyumludur.

4.3.2. G189.6+3.3'ün tayfsal özellikleri

G189.6+3.3'ün tayfsal gözlemlerine RTT150 teleskobu ile başlanmıştır. $\alpha=06^h22^m36^s$; $\delta=+23^\circ04'28''$ koordinatlı bölgeden alınan 4500 s poz süreli (900×5) bir tayfin analiz sonuçları tez kapsamında verilmektedir. Her kalıntının analizinde olduğu gibi bu tayf da atmosferik çizgilerden arındırılmıştır.

G189.6+3.3'ün tayflarında; H Balmer çizgileri ($\text{H}\alpha$, $\text{H}\beta$) ve yasak çizgiler ($[\text{O III}] 4959/5007\text{\AA}$ ve $[\text{S II}] 6716/6731\text{\AA}$) görülmektedir.

Bu tayftan $[S II]/H\alpha$ akı oranı ~ 0.43 olarak hesaplanmıştır ve bu değer SNK'nın ile H II bölgesi ile etkileşimde olduğunu göstermektedir. Elektron yoğunluğu SNK'larda beklendiği gibi $\sim 811 \text{ cm}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. $[O III]/H\beta$ akı oranıyla şok hızı 80 km s^{-1} olarak bulunmuştur. $H\alpha/H\beta$ akı oranından logaritmik sönümleme katsayısı $c(H\alpha)$ türetilmiştir ve bu değer kullanılarak renk artışı ~ 0.4 olarak hesaplanmıştır.

4.3.3. Optik ışıma tespit edilmeyen bölgeler

T100 ve RTT150 teleskoplarıyla yapılan gözlemler sonucunda verilen poz sürelerinde optik ışıması belirlenemeyen SNK'lar aşağıda sunulmaktadır.

G93.3+6.9: Bu SNK radyo dalgaboyunda 27×20 açı dakikası²'lik bir alan kaplamaktadır. Bu bölge ve bölgenin dış kısımları için tarama gözlemleri yapılmıştır. Tarama gözlemi yapılırken 4500 s poz süreli $H\alpha$ görüntüsü alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda bu bölgeden (verilen poz süreleri ile) optik ışıma tespit edilememiştir.

G181.1+9.5: Bu kalıntı radyo dalgaboyunda 74×74 açı dakikası²'lik bir alan kaplamaktadır. Bu alan birkaç bölgeye bölünerek tarama gözlemleri yapılmıştır. Tarama gözlemi yapılırken 6300 s poz süreli $H\alpha$ görüntüsü alınmıştır. Bu poz süresi için, kalıntıdan optik bir ışıma tespit edilememiştir.

G36.6+2.6: Bu SNK radyo dalgaboyunda 17×13 açı dakikası²'lik bir alan kaplamaktadır. Bu bölge ve bölgenin dış kısımları için $H\alpha$ filtresi ile tarama gözlemleri yapılmıştır. Tarama gözlemi yapılırken 4200 s poz süreli $H\alpha$ görüntüsü alınmıştır. Bu poz süresi için, kalıntıdan optik bir ışıma tespit edilememiştir.

G152.4–2.1: Radyo dalgaboyunda 100×95 açı dakikası²'lik bir alanı kaplayan bu SNK, bir kaç bölgeye bölünerek gözlenmiştir. Her bir bölgenin 600 s poz süreli $H\alpha$ görüntüsü alınmıştır. Bu poz süresi için, kalıntıdan optik bir ışıma tespit edilememiştir.

G150.8+3.8: Kalıntı, radyo dalgaboyunda 64.1×18.8 açı dakikası²'lik bir alan kaplamaktadır. Bu alan ve SNK'nın dış kısımları 900 s poz süreli $H\alpha$ filtresi ile gözlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, bu poz süresi için, kalıntıdan optik bir ışıma tespit edilememiştir.

5.SONUÇLAR

Bu çalışmada Samanyolu'nda bulunan bazı SNK'ların optik dalgaboylarında araştırılması amacıyla, TUG teleskopları (RTT150 ve T100) kullanılarak yapılan fotometrik ve tayfsal analizlerinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1.) RTT150 ve T100 teleskobuyla yapılan gözlemlere dayanarak; T100 teleskobunun SNK gözlemleri için etkin bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.

2.) a.) SNK G107.5–1.5'nin optik bölgede fotometrik ve tayfsal incelemesinden elde edilen sonuçlar literatürde ilk kez bu tez çalışmasında sunulmuştur. SNK'nın KB ve KD bölgelerinden gelen optik ışıma dağınık bir yapı gösterirken, GD bölgesi filamentli bir morfolojiye sahiptir. KB, KD ve GD bölgeleri için radyo ve optik ışıma arasında iyi bir korelasyon olduğu ortaya konmuştur.

b.) KB ve GD bölgesi için ortamın elektron yoğunlukları sırasıyla ~ 2366 ve $\sim 235 \text{ cm}^{-3}$ olarak hesaplanmış olup, KB bölgesindeki yüksek elektron yoğunluğu, bu bölgenin molekül bulutu ile etkileşimde olduğunu göstermektedir (Osterbrock ve Ferland 2006).

3.) a.) G67.7+1.8'in GB bölgesinde bulunan ve kökeninin ne olduğu literatürde anlaşılmamış olan kaynak, ilk kez ayrıntılı olarak optik bölgede bu tezde çalışılmıştır. Bu kaynak, $H\alpha$ görüntülerinde (verilen poz sürelerinde) sönük bir cisim olarak görülmektedir. Kaynağın radyo ve optik ışıması arasında bir korelasyon olup olmadığı araştırılmış ve bir korelasyon görülmemiştir.

b.) G67.7+1.8 GB kaynağının 1. ve 3. tayflarından ortamın elektron yoğunluğu ~ 12648 ve $\sim 227 \text{ cm}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler bulutsularda beklenen değer aralığındadır (Osterbrock ve Ferland 2006). G67.7+1.8 GB kaynağın 2. tayfindan $N_e \sim 2837 \text{ cm}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Bu değer kalıntının bir molekül bulutu ile etkileşimde olduğunu işaret eder. Şok dalgasının hızı ise $80-100 \text{ km s}^{-1}$ arasındadır. G67.7+1.8 GB kaynağı, başka bir SNK olabilir ya da G67.7+1.8'nin bir parçası da olabilir. Tayflarından bulunan $[S II]/H\alpha$ akı oranları, kaynağın H II bölgesiyle etkileşimde olduğunu da göstermektedir.

4.) a.) SNK G189.6+3.3'ün optik dalga boyunda yapılan gözlemleri ve elde edilen sonuçları literatürde ilk kez bu tez çalışmasında sunulmuştur. Daha önce optik dalga boylarında çalışılmamış olan bu SNK, IC 443 kalıntısı ile çok yakındır. Bu SNK

açısız olarak büyük bir alan kapladığı için 16 bölgeye bölünerek gözlenmesi planlanmıştır. Tezde bir bölgenin gözlem ve analizleri sunulmuş olup, diğer bölgelerin gözlemleri T100 ve RTT150 teleskonu ile devam etmektedir. SNK'nın H α -V görüntüsü yaygın bir optik morfolojiyi göstermektedir. Radyo dalga boyu ile optik ışıma arasında iyi bir korelasyonun olduğu görülmektedir.

b.) G189.6+3.3'ün tayfından $N_e \sim 811 \text{ cm}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Şok dalgasının hızı ise $\sim 80 \text{ km s}^{-1}$ 'dir. Daha fazla gözleme dayalı olarak ileride uluslararası bir yayın ile SNK'nın geniş kapsamda incelenmesi ve tartışması hedeflenmektedir.

Samanyolu'nda bulunan SNK'ların optik dalgaboylarında araştırılması devam eden bir projedir. Gözlemlere bu SNK'ların yanısıra diğer aday SNK'lar ve onların MOS (multi-object spectroscopy) gözlemleri ile devam edilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Aller, L. (1984). *Chemical Compositions, Physical & Structure of High- Excitation Planetary Nebulae*.
- Asaoka, I. ve Aschenbach, B. (1994). “An X-ray study of IC443 and the discovery of a new supernova remnant by ROSAT”. In: *Astronomy and Astrophysics* 284, pp. 573–582.
- Aygün, E. ve Zengin, D. (1998). *Kuantum fiziği*. Bilim Yayınevi.
- Baade, W. ve Zwicky, F. (1934). “On Super-novae”. In: *Proceedings of the National Academy of Science* 20.5, pp. 254–259. DOI: 10.1073/pnas.20.5.254.
- Biermann, P.L. vd. (2010). “The origin of cosmic rays: Explosions of massive stars with magnetic winds and their supernova mechanism”. In: *The Astrophysical Journal* 725.1, p. 184.
- Blair, W.P. ve Long, K.S. (1997). “Identification of supernova remnants in the sculptor group galaxies NGC 300 and NGC 7793”. In: *The Astrophysical Journal Supplement Series* 108.1, p. 261.
- Boltzmann, L. (1879). “Erwiderung auf die Bemerkung des Hrn. Oscar Emil Meyer”. In: *Annalen der Physik* 244.12, pp. 653–655.
- Braun, R. ve Strom, R. (1986). “The structure and dynamics of evolved supernova remnants-The IC 443 complex”. In: *Astronomy and Astrophysics* 164, pp. 193–207.
- Brown, D.G. ve Emslie, A. (1987). “Hard X-ray emission in electron-heated solar flares—A comparison of nonthermal and thermal contributions”. In: *Solar physics* 110.2, pp. 305–315.
- Cox, D. P. ve Raymond, J.C. (1985). “Preionization-dependent families of radiative shock waves.” In: 298, pp. 651–659. DOI: 10.1086/163649.
- Dopita, M.A. vd. (1984). “Radiative shock-wave theory. I-Chemical abundance diagnostics and galactic abundance gradients”. In: *The Astrophysical Journal* 276, pp. 653–666.
- Eisberg, R. ve Resnick, R. (1974). “Molecules”. In: *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles*, pp. 451–479.
- Fesen, R.A. (1984). “The nature of the filaments northeast of the supernova remnant IC 443”. In: *The Astrophysical Journal* 281, pp. 658–664.
- Fesen, R.A., Gwen, R., vd. (2008). “Optical Imaging and Spectroscopy of the Galactic Supernova Remnant 3C 58 (G130. 7+ 3.1)”. In: *The Astrophysical Journal Supplement Series* 174.2, p. 379.

- Fesen, R.A. ve Kirshner, R.P. (1980). "Spectrophotometry of the supernova remnant IC 443". In: *The Astrophysical Journal* 242, pp. 1023–1040.
- Frank, J., King, A., ve Raine, D.J. (2002). *Accretion Power in Astrophysics: Third Edition*.
- Gök, F. vd. (2008). "Optical observations of the galactic supernova remnants G59. 5+ 0.1, G84. 9+ 0.5 and G67. 7+ 1.8". In: *Astrophysics and Space Science* 318.3, pp. 207–214.
- Goldsmith, D. (1989). *Supernova: the exploding star of 1987*.
- Green, D.A. (2019). "A revised catalogue of 294 Galactic supernova remnants". In: *Journal of Astrophysics and Astronomy* 40.4, 36, p. 36. DOI: 10.1007/s12036-019-9601-6.
- Hartigan, P., Raymond, J., ve Hartmann, L. (1987). "Radiative Bow Shock Models of Herbig-Haro Objects". In: 316, p. 323. DOI: 10.1086/165204.
- How, T.G. vd. (2018). "Optical emission associated with the Galactic supernova remnant G179.0+2.6". In: 478.2, pp. 1987–1993. DOI: 10.1093/mnras/sty1007.
- Iwamoto, K. vd. (1999). "Nucleosynthesis in Chandrasekhar Mass Models for Type IA Supernovae and Constraints on Progenitor Systems and Burning-Front Propagation". In: 125.2, pp. 439–462. DOI: 10.1086/313278.
- Jackson, M. S., Safi-Harb, S., ve Kothes, R. (2014). "XMM-Newton and Canadian Galactic Plane Survey observations of the supernova remnant G107.5-1.5". In: 444.3, pp. 2228–2235. DOI: 10.1093/mnras/stu1515.
- Jun, B. ve Norman, M.L. (1996). "On the origin of strong magnetic fields in young supernova remnants". In: *arXiv preprint astro-ph/9601035*.
- Kaler, J. B. (1975). "Central Star Temperatures of Emission Nebulae". In: *Bulletin of the American Astronomical Society*, p. 557.
- Kawasaki, M. vd. (2020). "Big-bang nucleosynthesis with sub-GeV massive decaying particles". In: 2020.12, 048, p. 048. DOI: 10.1088/1475-7516/2020/12/048.
- Kirshner, R.P. (1990). "Supernova light curves". In: *Supernovae*, pp. 59–75.
- Kirshner, R.P., Fesen, R.A., ve Blair, W.P. (1980). "Spectroscopic Observations of the Cygnus Loop". In: *Bulletin of the American Astronomical Society*. Ciltc. 12, p. 506.
- Kondorskii, E.I. ve Sedov, V.L. (1959). "CHANGE OF SATURATION MAGNETIZATION AND OF ELECTRICAL RESISTANCE OF IRON-NICKEL ALLOYS UNDER HYDROSTATIC COMPRESSION AT LOW TEMPERATURES". In: *SOVIET PHYSICS JETP* 35.8.

- Kothes, R. (2003). "G107.5-1.5, a new SNR discovered through its highly polarized radio emission". In: 408, pp. 187–192. DOI: 10.1051/0004-6361:20030853.
- Kuli-Zade, D. M., Basal, M., ve Kandemir, G. (1995). "On the differential and total asymmetry of Fraunhofer lines in the solar spectrum." In: *Kinematics and Physics of Celestial Bodies* 11.2, pp. 40–43.
- Lazendic, J. S. ve Slane, P.O. (2006). "Enhanced Abundances in Three Large-Diameter Mixed-Morphology Supernova Remnants". In: 647.1, pp. 350–366. DOI: 10.1086/505380.
- Mathewson, D. ve Clarke, J. (1973). "Supernova remnants in the Large Magellanic Cloud." In: *The Astrophysical Journal* 180, pp. 725–738.
- Matonick, D.M. ve Fesen, R.A. (1997). "Optically Identified Supernova Remnants in the Nearby Spiral Galaxies NGC 5204, NGC 5585, NGC 6946, M81, and M101". In: *The Astrophysical Journal Supplement Series* 112.1, p. 49.
- Mavromatakis, F. (2003). "Deep optical observations of the supernova remnant G 78.2+2.1". In: 408, pp. 237–243. DOI: 10.1051/0004-6361:20030955.
- Mavromatakis, F. vd. (2001). "The supernova remnants G 67.7+ 1.8, G 31.5-0.6 and G 49.2-0.7". In: *Astronomy & Astrophysics* 370.1, pp. 265–272.
- McKee, C.F. ve Ostriker, J.P. (1977). "A theory of the interstellar medium: three components regulated by supernova explosions in an inhomogeneous substrate." In: 218, pp. 148–169. DOI: 10.1086/155667.
- Minkowski, R. (1941). "Spectra of Supernovae". In: 53.314, p. 224. DOI: 10.1086/125315.
- Narayan, R. ve Yi, I. (1995). "Advection-dominated Accretion: Underfed Black Holes and Neutron Stars". In: 452, p. 710. DOI: 10.1086/176343.
- Nomoto, K., Thielemann, F.K. ve Wheeler, J.C. (1984). "Explosive nucleosynthesis and Type I supernovae". In: 279, pp. L23–L26. DOI: 10.1086/184247.
- Osterbrock, D.E. ve Ferland, G. (2006). *Astrophysics Of Gas Nebulae and Active Galactic Nuclei*. University science books.
- Planck, M. (1900). "On an Improvement of Wien's Equation for the Spectrum". In: *Ann. Physik* 1, pp. 719–721.
- Prantzos, N. (2007). "Origin and evolution of the light nuclides". In: *Space science reviews* 130.1, pp. 27–42.
- Predehl, P. ve Schmitt, J. (1995). "X-raying the interstellar medium: ROSAT observations of dust scattering halos." In: *Astronomy and Astrophysics* 293, pp. 889–905.

- Raymond, J. (1979). "Shock waves in the interstellar medium". In: *The Astrophysical Journal Supplement Series* 39, pp. 1–27.
- Safi-Harb, S., Ferrand, G., ve Matheson, H. (2013). "A high-energy catalogue of Galactic supernova remnants and pulsar wind nebulae". In: *Neutron Stars and Pulsars: Challenges and Opportunities after 80 years*. Ciltc. 291, pp. 483–485. DOI: 10.1017/S1743921312024593.
- Sawada, M. vd. (2012). "The first results from the Suzaku spectroscopic survey of recombining plasma in supernova remnants: W44 and W28". In: *Suzaku 2011: Exploring the X-ray Universe: Suzaku and Beyond*. Ed. by Petre, Rob, Mitsuda, Kazuhisa, ve Angelini, Lorella. Ciltc. 1427. American Institute of Physics Conference Series, pp. 278–279. DOI: 10.1063/1.3696202.
- Sezer, A., Gök, F., ve Aktekin, E. (2012). "The first optical light from the supernova remnant G182.4+4.3 located in the Galactic anticentre region". In: 427.2, pp. 1168–1174. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2012.22015.x.
- Sezer, A. vd. (2018). "A Suzaku X-ray study of the mixed-morphology supernova remnant Kes 69 and searching for its gamma-ray counterpart". In: 481.1, pp. 1416–1425. DOI: 10.1093/mnras/sty2387.
- Shull, J. ve McKee, F. (1979). "Theoretical models of interstellar shocks. I-Radiative transfer and UV precursors". In: *The Astrophysical Journal* 227, pp. 131–149.
- Straka, W. C. ve Lada, C.J. (1975). "Emission from Supernova Remnants. Thermal Bremsstrahlung in the Sedov-Taylor Phase". In: 195, pp. 563–566. DOI: 10.1086/153356.
- Taylor, A., Wallace, B., ve Goss, W. (1992). "New Galactic plane supernova remnants". In: *The Astronomical Journal* 103, pp. 931–942.
- Thielemann, F. K., Nomoto, K., ve Hashimoto, K. (1995). "Core collapse supernovae and their ejecta." In: *Nuclear Physics and Related Topics*, pp. 430–445.
- van den Bergh, S., Li, W., ve Filippenko, A.V. (2003). "Classifications of the Host Galaxies of Supernovae, Set II". In: 115.813, pp. 1280–1288. DOI: 10.1086/379106.
- Vink, J. (2020). *Physics and Evolution of Supernova Remnants*. Springer.
- Wheeler, J. ve Benetti, S. (2000). "Supernovae". In: *Allen's Astrophysical Quantities*. Ed. by Cox, Arthur N., p. 451.
- Wien, W. (1897). "XXX. On the division of energy in the emission-spectrum of a black body". In: *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 43.262, pp. 214–220.

- Woosley, S. ve Janka, T. (2005). “The physics of core-collapse supernovae”. In: *Nature Physics* 1.3, pp. 147–154. DOI: 10.1038/nphys172.
- Woosley, S. ve Weaver, T. (1986). “The physics of supernova explosions”. In: *Annual review of astronomy and astrophysics* 24.1, pp. 205–253.
- Xu, D. vd. (2011). “Swift UVOT detection of SN2011ek”. In: *The Astronomer’s Telegram* 3541, p. 1.
- Yamaguchi, H. (2020). “Recombining plasma in supernova remnants: Discovery and progress in the last decade”. In: *Astronomische Nachrichten* 341.2, pp. 150–155. DOI: 10.1002/asna.202023771.
- Yamauchi, S. vd. (2020). “Discovery of recombining plasma associated with the candidate supernova remnant G189. 6+ 3.3 with Suzaku”. In: *Publications of the Astronomical Society of Japan* 72.5, p. 81.
- Zwicky, F. (1938). “On the Search for Supernovae”. In: *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 50, p. 215.

ÖZGEÇMİŞ

Günay BULUT

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2019 - 2022	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2015 - 2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Antalya

ESERLER:

1.) Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

Hicran Bakis, **Gunay Bulut**, Volkan Bakis, Aytap Sezer, 2022. Discovery of optical emission associated with supernova remnant G107.5–1.5. MNRAS, under review.

2.) Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

Gunay Payli, Hicran Bakis, Aytap Sezer, Volkan Bakis, 2021. Testing the performance of the T100 telescope for supernova remnants observations. 1th International Conference on Electrical-Electronics and Computer Engineering 24-25 July 2021, Avrasya University, Trabzon/Turkey.