TJAA Vol. **6**, *Special Issue*, *p.*159–166 (2025). DOI: 10.55064/tjaa.1592027 *Research Article*

Klasik Nova V6567 Sgr'nin Fotoiyonizasyon Analizi ve Bolluk Tayini

Hasan H. Esenoğlu[1] ⋆, Gamal M. Hamed[2]

[1] *İstanbul Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul 34119, Türkiye*

[2] *Stellar Astronomy Lab, Astronomy Department, National Research Institute of Astronomy and Geophysics, Cairo 11421, Egypt*

Accepted: March 17, 2025. Revised: March 17, 2025. Received: November 27, 2024.

Özet

Bu araştırmada, 2020-06-01 tarihinde keşfedildiği ve 2020-06-17 tarihinde patlama olayının en büyük parlaklığa ulaştığı klasik nova V6567 Sgr'un 2020-06-30'da TUG-RTT150 teleskobundan alınan optik tayfının `Cloudy` kodu kullanılarak fotoiyonizasyon analizi ve bolluk tayini sonuçlarını sunuyoruz. Klasik novalar eğer bulutsu evrede bulunursa bu model, bolluk analizi, içteki beyaz cüce, patlamanın mekanizması ve patlamadan önceki sistemin fiziksel koşulları hakkında bilgi verir. Maksimum parlaklığından sonraki 13. gününde V6567 Sgr'un kabuğu bu şekilde modellendi ve çıktıları gözlemle karşılaştırıldı. Modelde kullanılan `Cloudy` kodu ile, bu nova kabuğunun termal ve istatistiksel denge denklemleri çözülmüş ve bu yolla elektron sıcaklığı ve sayı yoğunluğu ile salma tayfı ve iyonlaşma hesaplandı. V6567 Sgr için uygulanan model ve gözlem tayflarının uyuşmaması ve gözlenen tayfsal özellikler nedeniyle novanın bulutsu evreye henüz girmediği görüldü. Bu durumda, novanın bulutsu evresi, patlamanın 13. günden sonraki zamanlarda gerçekleşmiş olmalıdır. Maksimum ışıktan 13. (bulut öncesi evre), 265. (bulut evresi) ve 515. (geç bulut evresi) günlerde üç farklı novanın tüm bulguları da karşılaştırıldı.

Abstract

In this study, we present the results of a photoionization analysis and abundance determination of the optical spectrum of the classical nova V6567 Sgr, using the `Cloudy` code. This nova was discovered on June 1, 2020, and reached peak brightness on June 17, 2020. The spectrum was obtained on June 30, 2020, with the TUG-RTT150 telescope. When classical novae are observed in the nebular phase, this modeling approach offers insights into abundance analysis, the characteristics of the underlying white dwarf, the outburst mechanism, and the physical conditions of the system prior to the explosion. Thirteen days after V6567 Sgr reached its maximum brightness, its shell was modeled in this way, and the model outputs were compared with observational data. Using the `Cloudy` code in this model, we solved the thermal and statistical equilibrium equations for the nova shell, calculating the electron temperature, number density, emission spectrum, and ionization levels. The discrepancies between the modeled and observed spectra for V6567 Sgr, along with certain spectral features, suggest that the nova has not yet entered the nebular phase. This suggests that the nebular phase of the nova likely occurred sometime after the 13th day following the outburst. The findings from three different novae were compared at distinct stages: day 13 (pre-cloud phase), day 265 (cloud phase), and day 515 (late cloud phase) after maximum brightness.

Anahtar Kelimeler: Cataclysmic variables – Novae – V6567 Sgr – Abundance analysis

1 Giriş

Kataklismik değişenler (KD), Roche lobun taşması yoluyla geç tip ana kol yıldızı ile madde biriktiren bir beyaz cüceden (BC) oluşan yarı ayrık çift yıldızlardır. KD'ler, birçok çift yıldızın evriminin önemli bir aşamasını temsil eder. KD'ler, yıldız evrim teorilerini ve birikim disklerini test etmek için harika bir fırsat sağlar (Warner 2003). Ayrıca, tek dejenerasyon modeli aracılığıyla Tip Ia süpernovaları için öncü olarak kabul edilirler (Yaron ve diğ. 2005). BC'nin yüzeyine yeterli madde biriktiğinde, KD'lerde klasik nova patlamaları adı verilen ani patlamalar meydana gelir. Bu patlamalar sırasında sistemler 6-19 kadire kadar parlaklaşır. Klasik novalar, birincil BC'nin karbon-oksijen (CO) veya oksijen-neon-magnezyum (ONeMg) bileşimine bağlı olarak ayrılır. Klasik novaların patlama sırasında incelenmesi astrofizikte büyük öneme sahiptir, çünkü BC'lerin doğası, çift yıldız evrimi ve patlamanın hidrodinamiği hakkında önemli ipuçları sağlar. Nova patlamasını farklı evrelerde inceleyerek, BC'nin yüzey sıcaklığını (`Cloudy` kodu girdi-1 parametresi) ve çekirdek bileşimini, ayrıca atılan maddenin dinamiklerini ve kimyasal bolluğunu belirleyebiliriz. Bu amaçla klasik novaların element bollukları, bulutsu evredeki novaların tayflarını inceleyerek tahmin edilebilir. Bu çalışmada yeni patlayan V6567 Sgr novasının bulutsu evredeki tayf incelemesi için literatür bilgisi aşağıda verildi.

Yakın kızılötesi (J=11.16 kadir) geçici V6567 Sgr (Nova Sgr 2020 No.2, ASASSN-20ga, AT2020lrv, Gaia20dwe, PGIR20dsv, ZTF20abdpwst ve göksel koordinatları: 18 22 45.32 -19 36 02.2), 2020-06-01'de, maksimum parlaklık öncesi [Gün -16], Palomar Gattini-IR araştırması tarafından keşfedildi (De ve diğ. 2020b). AAVSO'da novanın patlamadaki maksimum parlaklığı V=12.5 kadir olarak verilmekle birlikte, AAVSO ışık eğrisinde patlamanın maksimumu CV=12.259 kadire karşılık gelmektedir ki bunun da tarihi 2020-06-17.43128 UT'dir (JD 2459017.93128). Keşif ile maksimum parlaklık arasında yaklaşık 16 gün fark var ki nova patlaması daha

⋆ esenoglu@istanbul.edu.tr

© 2025 Turkish Astronomical Society (TAD)

erken zamanlarda belirlenebildi ve maksimum evresi tam olarak ortaya çıkartılabildi. 2020-06-17.43128 tarihi novanın en büyük parlaklığa ulaştığı gün olarak kabul ediliyor [Gün 0]. Bu tarihin öncesinde ve özellikle sonrasında novadaki gelişmeler aşağıda ayrıntılı olarak verildi. Bu çalışmada, gözlem ve Cloudy modeli bilgisi §2'de ve Clody modeli çıktı sonuçları ile tartışması da §3'de gösterildi.

1.1 Nova V6567 Sgr İçin Literatür Bilgileri

1.1.1 Maksimum Parlaklık Öncesi (Gün -17 ile 0 arası)

Optik bölgede bağımsız olarak ZTF[1] tarafından 2020-05-31.418 UT'de [Gün -17] g=15.80 kadirde ve 2020-06-02.259 UT'de [Gün -15] g=15.3 kadirde ASAS-SN (Shappee ve diğ. 2014) tarafından bağımsız olarak bulundu (De ve diğ. 2020b). Nova 2020-06-04'de [Gün -13] J=11.69 kadir parlaklığına sönükleşti (Sokolovsky ve diğ. 2020). 2020-06-05 [Gün -12] ve sonrasında novanın BVRI fotometrisinde maksimum parlaklığa henüz ulaşıldığına dair net bir işaret olmadan, zamanla parlaklıkta sabit bir artış gözlendi (Munari ve diğ. 2020). 2020-06-08'de [Gün -9] optik bölge tayfında Balmer serisi ve OI'in geniş çözülmemiş salma çizgileriyle birlikte kırmızı bir sürekliliği göstermektedir (De ve diğ. 2020b). V6567 Sgr, 2020-06-08'de [Gün -9] Palomar 60 inçlik teleskopla alınan bir tayfta bir nova olarak sınıflandırıldı (De ve diğ. 2020b). Nova, 2020-06-8 ile 2020-06-11 tarihlerinde (Gün -9 ile -6 arası) 14.3-13.2 kadir arasında sabit bir parlaklık gösterdi (Sokolovsky ve diğ. 2020).

2020-06-11.4 UT'de [Gün -6] NASA IRTF 3.2 m teleskopla alınan NIR tayfları bir Fe II novası olduğunu gösterdi (Woodward ve diğ. 2020a). IR tayflarda görülen çok sayıda tayfsal çizgilerin hepsi ya salma halindedir ya da daha yaygın olarak P-Cygni tipi çizgi profilleri sergiler. Fe II sınıfı novaların tayflarında beklenen diğer standart O ve N çizgilerinin hepsi mevcuttur; örneğin: O I (λ 0.8446, 1.1287 ve 1.3164 μm), N I (λ 1.2461 ve 1.2469 μm). He I çizgileri görülmemektedir. P-Cygni salma minimumları tipik olarak H çizgileri için salmada $\sim$370 km s^{-1} uzaklıktadır. Paschen ve Brackett çizgilerinin FWHM değerleri 400-450 km s^{-1} arasında değişir. Hidrojen Paschen-beta'nın (λ 1.282 μm) salma çizgisi akı yoğunluğu $\sim$5.6$\times$10^{-13} erg cm^{-2} s^{-1} iken, Brackett-alfa (λ 4.052 μm) çizgisinin akı yoğunluğu $\sim$1.3$\times$10^{-15} erg cm^{-2} s^{-1} dir. 3.0 μm'den daha büyük dalgaboylarında termal sürekliliğin şekli göz önüne alındığında, bu aşamada toz yoğunlaşmasına dair hiçbir kanıt görülmedi. Paschen, Brackett, Pfund ve Humphreys serilerinin Hidrojen çizgileri baskındır. Bunun bir Fe II nova olduğunu açıkça ortaya koyan çok sayıda nötr C çizgisi görülmektedir (Banerjee ve Ashok 2012).

Asiago 1.22 m teleskobu ile novanın 2020-06-13.011 UT'de [Gün -4] alınan düşük çözünürlüklü optik tayflarında derin soğurma ve sadece zayıf salmaya sahip P-Cygni profillerinin tüm Balmer çizgilerini, Na I çiftini, O I λ7772'yi ve çeşitli Fe II çoklularını (en dikkat çekenleri 42, 48, 49, 55, 73 ve 74) etkilediği görülmektedir. Tüm soğurmalar iki bileşen gösterir, en mavisi ortalama olarak -1275 km s^{-1}'de ve çok daha güçlü olanı salma bileşeninden -610 km s^{-1} uzaktadır. İkincisi ortalama olarak FWHM=770 km s^{-1} ile karakterize edilir (Munari ve diğ. 2020).

Sokolovsky ve diğ. (2020), novayı 2020-06-13.229 UT'de [Gün -4] Swift ile 0.2 ks boyunca gözledi. Swift/XRT tarafından 0.0006 sayım s^{-1}'lik bir sigma üst sınırıyla hiçbir X-ışını kaynağı tespit edilmedi. Foton indeksi 2 ve H I kolon yoğunluğu 4.59$\times$10^{-21} cm^{-2} (Kalberla ve diğ. 2005) olan güç yasası emisyonu varsayıldığında bu, 4.5$\times$10^{-14} cm^{-2} s^{-1}'lik soğrulmayan 0.3-10 keV akı sınırına dönüşür. Swift/UVOT, novayı optik bölgede V=13.44 kadirde tespit etti.

2020-06-13.940 UT'deki [Gün -4] ölçümlerinde nova V=13.215 kadir ($(B-V)$=+1.752, $(V-R)$=+1.100 ve $(V-I)$=+2.153) parlaklığına ulaştı (Munari ve diğ. 2020). Munari ve diğ. (2020)'na göre, van den Bergh ve Younger (1987) tarafından maksimum parlaklıkta novaların rengiyle karşılaştırıldığında, $E(B-V)$=1.52'lik bir kızarma çıkarımı elde edilir ve bu da 3 boyutlu Galaktik sönümleme haritalarına dayanarak öngörülen yüksek sönümlemeyi doğrular (De ve diğ. (2020b)'da belirtildiği gibi). Novanın bir başka düşük çözünürlüklü tayfı 2020-06-13.917 UT'de [Gün -4] Stroncone 50 cm teleskobuyla elde edildi. Önceki gece 1.22 m teleskobuyla elde edilen tayflarla karşılaştırıldığında, P-Cygni profillerinin salma bileşeni daha da zayıfladı ve Hα dışındaki çizgiler de zor görülebilir hale geldi (ya da hiç görünmedi). Bu tayfta, Hα'ya yönelik soğurma bileşenleri hala salmadan yaklaşık -1200 ve -620 km s^{-1} uzaklıktadır.

AAVSO gözlemcileri ve NMW araştırması (Sokolovsky ve diğ. 2014) tarafından yapılan takip fotometrisi, novanın optik bölgede giderek parlaklaştığını ve 2020-06-13.946 UT'de [Gün -4] filtresiz 12.19 kadire ulaştığını gösterdi.

2020-06-14.943 UT'de [Gün -3] son ölçümlerinde ise nova V=13.087 kadir ($(V-R)$=+1.105 ve $(V-I)$=+2.154) parlaklığına ulaştı (Munari ve diğ. 2020).

Nova, AAVSO ışık eğrisinde 2020-06-15'de [Gün -2] filtresiz $\sim$11.8 kadirlik birincil maksimuma ulaştı (Banerjee ve diğ. 2012).

2020-06-15.05 UT'de [Gün -2] Varese 0.84 m teleskobuyla kısa pozlanmış bir Echelle tayfı elde edildi (Munari ve diğ. 2020). Bu tayfta, Hα için P-Cygni profilinin salma ve ana soğurma bileşeni -550 ve +70 km s^{-1}'lik Güneş merkezli hızlarda ve FWHM değerleri sırasıyla 210 ve 680 km s^{-1} olarak hesaplandı.

1.1.2 Maksimum Parlaklık Sonrası (Gün 0 ile 110 arası)

AAVSO filtresiz ışık eğrisinde novanın parlaklığı yaklaşık 2020-06-25'de [Gün 8] $\sim$13.8 kadire düştüğü rapor edildi (Banerjee ve diğ. 2012).

Kırmızılaşmış galaktik nova V6567 Sgr'un 0.7-2.5 μm'ye yakın kırmızıötesi tayf gözlemleri, 2020-06-30 [Gün 13] tarihinde kırmızıötesi tayfölçer SpeX (Rayner ve diğ. 2003) ile NASA IRTF 3.2 m teleskobunda SXD (kısa çapraz dağılımlı) modunda (R=1200) 0.5$\times$15$''$ yarık kullanılarak elde edildi (Woodward ve diğ. 2020b). Bu tayflarda, 2020-06-11.4 [Gün -6] tarihli gözlemlerde (Woodward ve diğ. 2020a) bildirilen tüm çizgiler mevcut, çoğunlukla derin P-Cygni soğurma özellikleriyle, ancak salma bileşenleri artık çok daha güçlü olduğu belirtildi. Salma tepe noktası ile soğurma minimumu arasındaki ayrım H çizgileri için 1200-1400 km s^{-1} arasındadır. Nova artık AAVSO ışık eğrisinin gösterdiği gibi maksimumunu geçti. Önemli bir değişiklik, daha önce görülmeyen He çizgilerinin artık mevcut olmasıdır (He I λ 1.083

[1] Buradaki kısaltma "the Zwicky Transient Facility" gözlemevinin baş harfleridir. Optik bölgede gökyüzünün sistematik bir şekilde incelenmesini amaçlayan bir kamu-özel ortaklığıdır. Son derece geniş görüş alanına sahip bir kamera kullanan ZTF, her iki günde bir Kuzey gökyüzünün tamamını tarar; Masci ve diğ. (2019)

ve 2.059 μm) ve P Cygni profilleri vardır. Bir diğer önemli gelişme ise, CO salması kısmen Pfund çizgileriyle karışmış olsa da salmada karbon monoksit bantlarının artık açıkça görülebilmesidir. Bu novanın toz oluşturması muhtemeldir.

0.7-2.5 μm bölgesinde yeni bir tayf, 2020-07-16'da [Gün 29] elverişsiz hava koşulları altında kırmızıötesi tayfölçer SpeX ile NASA IRTF 3.2 m teleskobunda SXD modunda (R=1200) 0.5×15″ yarık kullanılarak alındı (Banerjee ve diğ. 2012). Elde edilen verilere göre dikkate değer bir gelişme, CO salmasının (2020-06-30 tarihli ve Gün 13) son gözlemden yaklaşık 15 gün gibi kısa bir süre içinde ortadan kalkmış olmasıdır. Bir novada tespit edildiğinde, CO salmasının bir nova patlamasından hemen sonra meydana geldiği ve ardından bir hafta veya biraz daha uzun bir zaman dilimi içinde hızla yok olduğu görülür (örn. V2615 Oph, Nova Oph 2017, V496 Sct, V705 Cas; novalardaki CO tespitlerinin bir derlemesi için Joshi ve diğ. (2017)'ye bakılabilir). Nova rüzgarlarındaki CO'in geçici varlığı, belki de açıklanması en zor problemlerden biridir. CO salması genellikle toz oluşumundan önce görüldüğü için, optik ışık eğrisinin izlenmesi teşvik edilir. AAVSO filtresiz ışık eğrisinde ilginç ama alışılmadık bir şekilde davrandı; nova 2020-06-15'de [Gün -2] ∼11.8 kadirlik birincil maksimuma ulaştı, ardından yaklaşık 2020-06-25'de [Gün 8] ∼13.8 kadire düştü ve 2020-07-16'da [Gün 29] hala devam eden yavaş bir yeniden parlama gösterdi ve yaklaşık 12.6 kadire ulaştı.

Woodward ve diğ. (2020c), parçalı bulutlu havanın koşullarında ve orta astronomik görüşte (K-bandında 0.9″) 0.8″ yarık (R=750) ve çapraz dağılımlı modda SpeX tayfölçerini kullanarak 3.2 m IRTF teleskobundan elde edilen novanın 2020-09-19.221 UT'deki [Gün 94] son 0.7-2.5 μm tayflarını aldılar. Buna göre novanın tayfları, 2020-06-11.4 [Gün -6] tarihinde bildirilen akılara kıyasla (Woodward ve diğ. 2020a) Hidrojen tekrar birleşme süreci ile üretilen çizgilerin şiddetinin belirgin şekilde zayıfladığını ve derin P-Cygni soğurma özelliklerinin tamamen kaybolduğunu göstermektedir. CO bantlarının tespiti (2020-06-30 ve [Gün 13], Woodward ve diğ. 2020b), tozun oluşmasının muhtemel olduğunu düşündürmektedir; gerçekten de, 2.04 μm tayfsal enerji dağılımı kırmızıya doğru dik bir yükseliş gösterdi.

2 Yöntem

Klasik novaların element bollukları, bulutsu evredeki novaların tayflarını inceleyerek tahmin edilebilir. Bulutsu evre, patlama tayfının evriminde (i) güçlü yasak salma çizgilerinin (örn. [O I], [N II] ve [O III]) ortaya çıkması ve (ii) yüksek iyonlaşma durumlarının salma çizgilerinin (örn. C IV ve N V) maksimum akılarına ulaşmasıyla karakterize edilen bir aşamadır. Novaların tayfları birçok element için geniş bir aralıkta yeniden birleşme, rezonans ve yasak çizgiler içerir, bu nedenle atılan madde ve element bolluğunun fiziksel koşulları doğru bir şekilde belirlenebilir (González-Riestra ve Krautter 1998). Örneğin, elektron sıcaklığı (T_e, `Cloudy` kodu girdi-1 parametresi), dielektronik tekrar birleşme süreci ile (örn. C II λ1335) üretilen bir çizginin akısının çarpışma ile uyarılarak (örn. C III λ1909) üretilen bir çizginin (aynı elementin) akısına oranından belirlenebilir. Gözlenen tayftaki çizgilerin bollukları ve akıları, modelin ürettiği tayftakiler ile çakışacak şekilde elektron sıcaklığı (T_e, `Claudy` kodu girdi-1 parametresi) belirlenebilir (bkz. Stickland ve diğ. (1981), Denklemler 5.8, 5.9, 5.11, 5.12 ve 6.1). Bazı salma çizgileri novanın belli evrelerindeki karakteristik özelliklerdir. Klasik novaların element bollukları, patlama süreci ve patlamadan önceki sistem koşulları hakkında önemli bilgiler sağlar. Klasik novaların element bolluğunun belirlenmesi, BC'nin CO veya ONeMg tipi olup olmadığını belirlemek için de önemlidir (Andreä ve diğ. 1994).

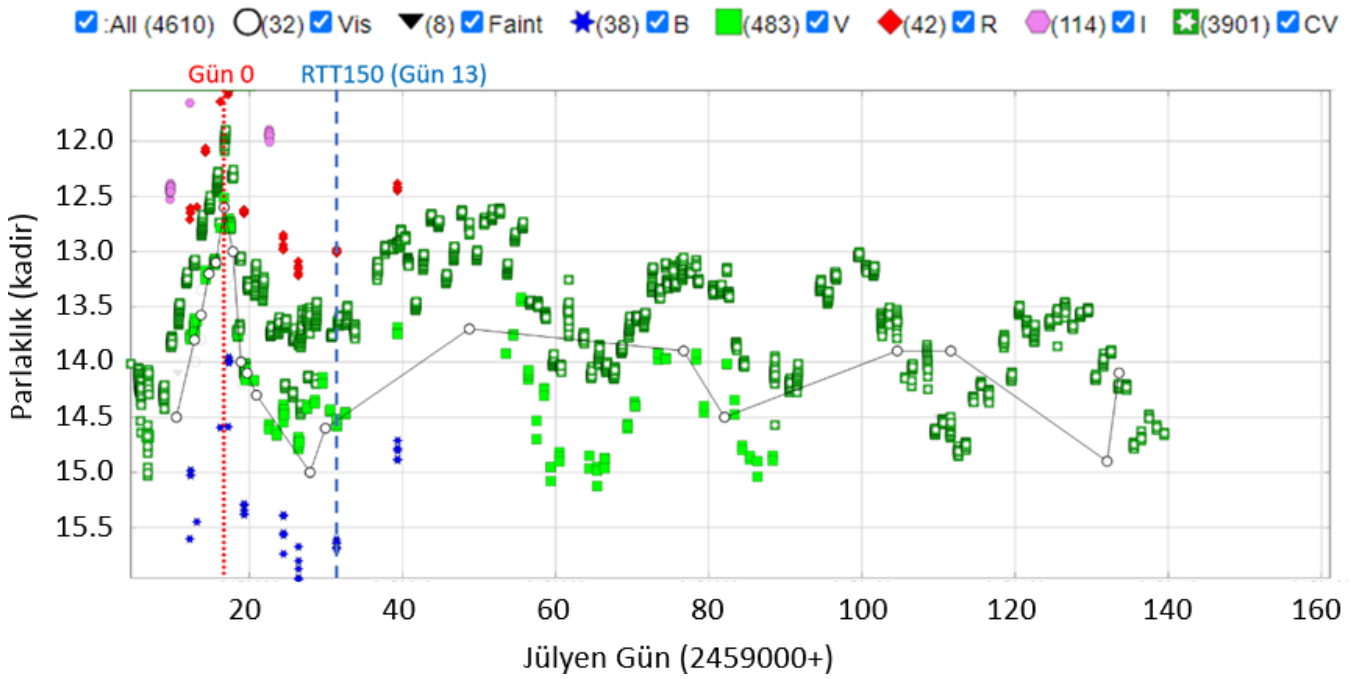
Bu çalışmanın yöntemi, nova kabuğunu modelleme ve gözlemle karşılaştırma üzerinedir. Bu yüzden aşağıda Model ve Fotoiyonizasyon Analizi ile Gözlem alt başlıklarında yöntem ayrıntılarıyla verildi.

2.1 Model ve Fotoiyonizasyon Analizi

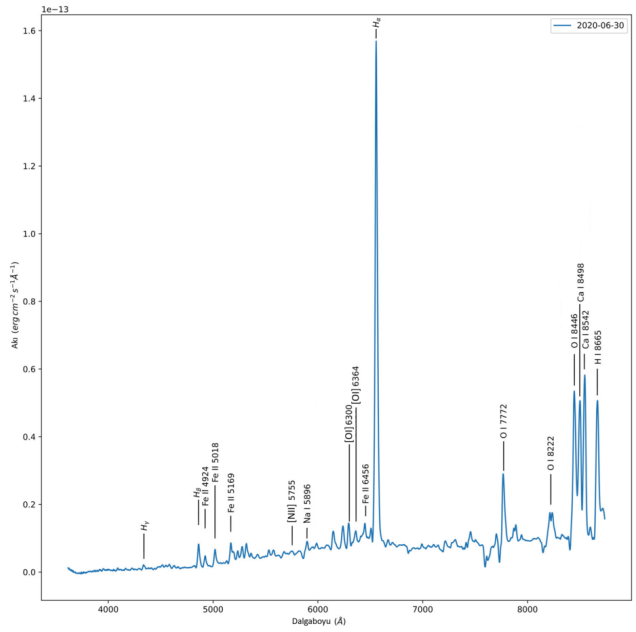
Klasik novaların bulutsu evresini modellemek için fotoiyonizasyon (fotonlaştırma) kodu `Cloudy` 17.02 sürümü ve Python kütüphanesi `pycloudy` kullanıldı. V6567 Sgr'un maksimum parlaklığa ulaşmasından sonraki 13. gününde alınan tayfının bulutsu evresindeki element bolluğu analizinden elde edilen parametreler, bu fotoiyonizasyon kodunda başlangıç değeri olarak girildi. Söz konusu girdi parametreleri yardımıyla nova jetlerinin (bkz. Iijima ve Esenoglu 2003) iyonlaştırıcı kaynakları olarak (bkz. Balman ve diğ. 2005) farklı etkin sıcaklıklara (`Cloudy` kodu girdi-1 parametresi), yüzey çekimlerine ve element bolluklarına sahip BC model atmosferleri oluşturuldu. Her bir model atmosferinden binlerce model üretmek için bir dizi parametre (doldurma faktörü-girdi-4, kaplama faktörü, parlaklık, yoğunluk, iç ve dış yarıçapı-girdi-2, kabuğun genişleme hızı-girdi-3) değiştirildi. Bu değişen parametrelere bağlı olarak BC'nin toplam ışıma gücü de (girdi-5) değişti. Modeller farklı bantlardaki gözlemlerle karşılaştırılabilir şekilde elde edildi. Bu yolla her model atmosferi için farklı parametrelere sahip geniş bir model havuzu oluşturuldu. `Cloudy` programı ile nova kabuğunun termal ve istatistiksel denge denklemlerini çözerek nova zarfının bazı fiziksel parametreleri hesaplandı. Tahmin edilen parametreler gözlemlerle karşılaştırıldı.

Eğer V6567 Sgr'un tayfı bulut evresinde bulunsaydı (ki olmadığı §3'de açıklandı), çeşitli sıcaklık ve yoğunluk varsayımları altında `PyNeb` (Luridiana ve diğ. 2015) bulutsu analiz kodu kullanılacaktı ve sonra farklı elektron sıcaklıkları için bulunan elektron yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak çizgi emisyonlarının oranını hesaplanacaktı. Bu oran da PyNeb çalıştırılarak H, He, C, N, O, Ne, Mg ve Fe bolluklarının ilk tahminlerini yapmak için kullanılan elektron yoğunluklarının ve elektron sıcaklıklarının ilk girdi değerleri olacaktı. Bu yolla, §3'de verilen değerler, novanın bulutsu evresindeki kabuğuna en iyi uyan modelin parametreleri olacaktı ancak sonuçlar tayfın bulutsu evre öncesi alındığını gösterdi. Bu durum, §3'de ayrıntılı açıklandı.

Buradaki tayf gözlemlerinin amacı, BC'nin doğasını, iyonlaşma alanını ve kimyasal bileşimini araştırmaktır. Bu, `Cloudy` fotoiyonizasyon kodu kullanılarak V6567 Sgr'un bolluk analizinin yapılmasıyla gerçekleştirildi. `Cloudy` fotoiyonizasyon kodu (Ferland ve diğ. (2017) ve oradaki referanslar) bulutsu aşamasındaki birkaç klasik novanın element bolluğunu tahmin etmek için kullanıldı (Saizar ve diğ. 1991; Andreä ve diğ. 1994; Austin ve diğ. 1996; José 2016). Bu, UV, optik ve kızılötesi tayflar kullanılarak yapıldı. `Cloudy`'nin en sonki 17.02 sürümü kullanıldı (Ferland ve diğ. 2017). `Cloudy` kodu, merkezdeki bir kaynak tarafından ısıtılan ve iyonize edilen seyreltik iyonize gaz küresi varsayarak termal ve istatistiksel denge denklemlerini çözerek elektron sıcaklığını (`Cloudy` kodu girdi-1 parametresi) ve sayı yoğunluğunu, salma çizgisi tayflarını ve iyonlaşmayı hesaplar. Kodun girdileri, merkezi kaynağın tayfı ve parlaklığı ile nova kabuğunun yoğunluğu, iç yarıçapı-girdi-2, kalınlığı, doldurma-girdi-4 ve örtme faktörleri ve kimyasal bileşimidir.



Şekil 1. V6567 Sgr'un AAVSO veri tabanından çok bantlı ışık eğrisi gözlemleri. Bant türleri farklı sembollerde ve parantez içerisinde fotomekrik nokta sayıları ile birlikte belirtildi. Işık eğrisi 2020-06-04.04492 UT (2459004.54492 ve Gün -13) tarihi ile başlamaktadır. Novanın 2020-06-01'deki [Gün -16] keşfinden yaklaşık üç gün sonrasını içermektedir. Işık eğrisinin görsel bölge gözlemlerinden (içi boş yuvarlak şekillerden) geçirilen düz çizgiler maksimum ve minimum yerlerini belirtmek için çizdirildi. Yukarıdan aşağıya noktalı kırmızı düz çizgi maksimumu belirtirken, kesikli mavi çizgi RTT150 ile alınan tayfın ışık eğrisindeki yerini göstermektedir.



Şekil 2. Mavi-görsel (3650-8740 Å'de) bölgede ve 749 çözünürlükte V6567 Sgr'un patlamasından 13 gün sonra alınmış grism 15 tayfı. Yatay eksen dalgaboyunu ve düşey eksen de $\times 10^{-13}$ çarpanı ile akıyı belirtmektedir.

Bilinen bilgilere bağlı olarak, araştırılan sistemler için bir dizi girdi parametresi (elektron sıcaklığını, sayı yoğunluğunu, salma tayfını ve iyonlaşmayı) varsaydık ve ardından salma çizgisi akıları için çözüm bulduk ve sentetik çizgi akılarını gözlenen çizgilerle karşılaştırdık. Ardından, hesaplanan ve gözlenen akılar arasında en iyi uyumu elde etmek için yinelemeli bir süreç kullanılarak novaların parametreleri elde edildi. Klasik bir nova kabuğunun bolluğunu belirleyen `Cloudy`'nin kullanımı için Austin ve diğ. (1996)'ya bakılabilir.

2.2 Tayf Gözlemi

Gözlemler, Türkiye Ulusal Gözlemevleri Antalya Bakırlıtepe'deki yerleşkesinde bulunan RTT150 teleskobunun odak düzlemine yerleştirilmiş TUG Sönük Nesne Tayfölçeri ve Kamerası (TFOSC) kullanılarak yapıldı. Dalgaboyu aralığı 3650-8740 Å (mavi-görsel bölgede) ve 749 ($\Delta\lambda$=12.0, geniş bant) tayfsal çözünürlüklü ($\lambda/\Delta\lambda$) grism 15 optik ağ ve Andor iKon-L936BEX2-DD-9ZQ CCD kamera kullanıldı. Gözlem 2020-06-30.019 UT'de [Gün 13] yapıldı ve 3600 s poz verilerek sadece bir tane tayf alınabildi.

Bu tayfsal gözlem, görsel maksimumu izleyen hızlı büyük parlaklık azalmasından hemen sonrası bir miktar yükseliş evresinde gerçekleşti (bkz. Şekil 1). Buna göre tayf, maksimumdan sadece 13 gün sonrasına karşılık geldiğinden maksimum ışığa yakındır ve geçiş (bulutsu) fazının içinde kalmıştır. Bu nedenle, novanın bu dönemdeki tayfsal davranışını görmek ilginç olacaktır. Kolaylık olması açısından, tayf gözleminin zamanı AAVSO ışık eğrisi üzerinde Şekil 1'de belirtildi.

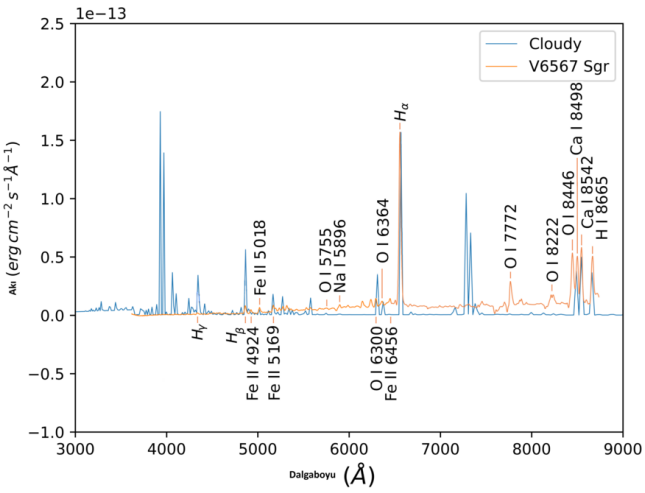
Tayf Şekil 2'de verildi. Mavi-görsel bölgede (3650-8740 Å aralığında) ve 749 çözünürlükte, tayfın evrimi (sürekliliğin eğilimi, tayf çizgilerinin değişimi) novanın maksimumundan yaklaşık 13 gün sonra nasıl değiştiğinin başlangıcı olarak görülebilir. Bazı tayf çizgileri işaretlendi. En şiddetli çizgi

Çizelge 1. Tayfta salma çizgilerin akı, eşdeğer genişlik (EW) ve yarı yükseklikteki tam genişlik (FWHM) değerleri. Elementler kısa dalgaboylarından uzuna doğru listelendi.

Element (Å)	Akı ($\times 10^{-14}$) (erg cm^{-2} s^{-1})	EW (Å)	FWHM (Å)
Hγ 4340	2.713	32.81	20.38
Hβ 4861	15.98	128.1	22.49
Fe II 4924	7.861	55.16	23.39
Fe II 5018	10.81	55.67	22.93
Fe II 5169	16.67	53.97	34.51
Fe II 5276	7.332	17.98	20.29
Fe II 5317	8.649	19.66	21.45
[N II]	4.427	8.836	34.73
O I 5575	3.632	7.517	20.14
Na I 5892	9.024	15.99	27.76
Fe II 6148	15	22.31	27.35
Fe II 6240	17.61	25.32	25.38
[O I] 6300	14.57	19.41	19.04
[O I] 6364	7.921	9.013	23.41
Fe II 6456	10.33	10.41	25.17
Hα 6562	390.9	421.1	26.09
N I 7452	14.36	18.64	36.89
O I 7772	71.06	119.1	30.06
O I 8221	54.6	65.6	57.15
N I 8212	24.26	28.86	31.41
O I 8227	23.7	25.88	31.39
O I 8446	161	219.6	33.65
Ca II 8498	131.8	166.7	28.42
Ca II 8542	140.3	166.4	25.76
H I 8598.4	12.24	13.57	28.69
H I 8665.0	124.3	151.8	27.77

Hα gözükmektedir, süreklilik de uzun dalgaboylarına doğru yükselmektedir.

Temel veri indirgemesi IRAF sürüm 2.16 Tody (1993) kullanılarak yapıldı ve tayf çizgilerini ölçmek için `splot` görev modülü kullanıldı. Çoklu tepe noktaları, her tepe noktası için Gauss profillerinin uyumlandırıldığı `splot` görev modülünün karıştırma yöntemi kullanılarak iç içe girmiş çizgiler birbirlerinden ayrıştırıldı. Uzun poz süresi nedeniyle tayf görüntüsü kozmik ışınlardan yoğun şekilde etkilendi, bu nedenle van Dokkum (2001) LACosmic rutini, Astro-SCRAPPY sürümünden (McCully ve diğ. 2018) yararlanarak kozmik ışınların giderilmesi için kullanıldı. Akı kalibrasyonu için IRAF'taki standart yöntemle Oke (1990)'den spektrofotometrik standart yıldız BD+33d2642 kullanıldı. Tayf, Munari ve diğ. (2020) tarafından hesaplanan $E(B-V)$=1.52 değeri yıldızlararası sönümleme için düzeltildi. Giriş bölümünde belirtildiği gibi öngörülen bu yüksek sönümleme değeri, van den Bergh ve Younger (1987) tarafından maksimum parlaklıkta novaların rengiyle karşılaştırıldığında ve üç boyutlu galaktik sönümleme haritalarına dayanılarak doğrulanabilir. Fitzpatrick ve diğ. (2019), yıldızlararası sönümleme eğrilerini kullanan `Astropy` programındaki `dust_extinction` modülünü (Astropy Collaboration 2013, 2018) yıldızlararası sönümlemeyi düzeltmek için kullandı. Lenz ve Ayres (1992) tarafından açıklanan yöntemler, çizgi akıları ve hızlardaki hataları hesaplamak için kullandı. Cayrel (1988) yöntemi eşdeğer genişlik belirlemelerindeki belirsizliği hesaplamak için kullanıldı. Görüntü işleme için `Astropy`'ye bağlı paket `ccdproc` modülü (Craig ve diğ. 2017) kullanıldı ve tayf indirgeme ve dalgaboyu kalibrasyonu için TUG personeli tarafından geliştirilen özel bir `python` rutini (Khamitov ve diğ. 2020) kullanıldı.



Şekil 3. V6567 Sgr'nin Bulut modeli en iyi fit tayfı (mavi). Yatay eksen dalgaboyunu ve düşey eksen de $\times 10^{-13}$ çarpanı ile akıyı belirtmektedir.

Kramida ve diğ. (2020)'nın NIST veri tabanı kullanılarak tayf çizgilerinin dalgaboyları belirlendi. Buna göre, tayfta çok sayıda Fe II salma çizgisi görülmektedir. Bu çizgilerin belirgin ilk üçlüsü 4924 Å, 5018 Å ve 5169 Å dalgaboylarındaki 42 çoklu çizgisidir. Dalgaboyları belirlenen salma çizgilerinin akı, eş değer genişlik (EW) ve yarı yükseklikteki tam genişlik (FWHM) değerleri Çizelge 1'de verildi.

3 Sonuçlar ve Tartışma

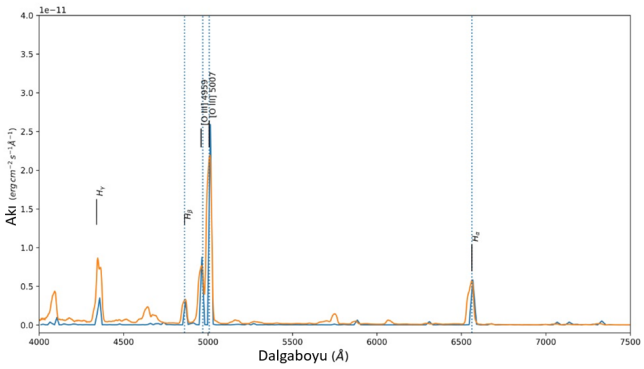
Bu çalışmada nova V6567 Sgr'un patlamasından bir ay sonra 2020-06-30 [Gün 13] tarihinde gerçekleştirilen tayfsal gözlemlerin sonuçları verildi. Tayftaki belirgin çizgiler Şekil 2'de işaretlendi. Bunların ve diğerlerinin (H, Fe, N, O, Na ve Ca elementlerinin) akıları, eşdeğer genişlikleri ve FWHM değerleri de Çizelge 1'de verildi.

Tayfta O I çizgileri gibi Hidrojen çizgileri ve Fe II çizgilerinin hâkim olduğu görülebilir. Nova patlamasını takip eden günlerde ortaya çıkan N I çizgilerinden bir tanesi (7452 Å) 13. günde de görüldü. Nova patlaması ile uzaya atılan kabuğun 13. günün tayfında beklendiği gibi çoğu çizgi sadece salmada ve çok az sayıda çizgi de hafif bir P-Cygni profili gösterdi (yani O I 7772 ve 8446 Å). Patlamasının 13. gününde, bu kadar kısa bir sürede soğurma çizgilerinin kaybolduğu novanın bu tayfının, optik olarak kalından ince tayfa evrildiği söylenebilir. Bu kadar erken bir aşamada çizgilerin salma bileşenlerinin akı artışı ve soğurma bileşenlerinin kaybolması, atılan kabuğun dış kısımlarının iyonizasyonunu artıran daha sıcak bölgelerden emisyona maruz kaldığını gösterdi.

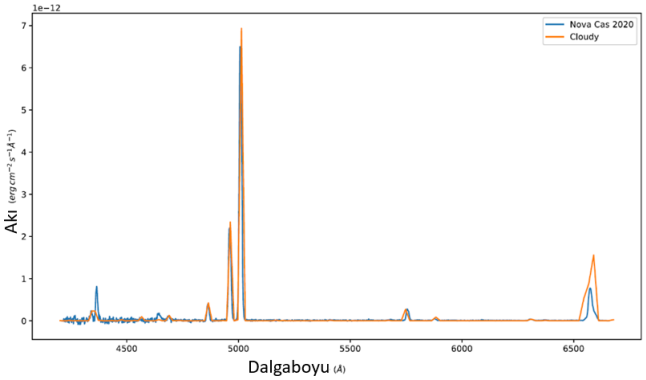
13. gün tayfında yüksek iyonizasyonlu yasak çizgilerin olmaması, novanın bulutsu öncesi evrede olduğunu göstermektedir. Nova kabuğunun uzaya atıldığı belirtisi ve genişleme hızı, patlamayı takip eden günlerde tayfta ortaya çıkan P-Cygni çizgilerinden belirlenir. Nova V6567 Sgr'un tayfında hidrojenin bu P-Cygni çizgilerinin soğurma bileşenleri 13. günde kayboldu. Eğer 13. günden daha da erken tarihlerde nova gözlemini yapsaydık, optik olarak kalın tozun oluşumu novayı gizleyecekti ve optik bölgede çok sönük gözükecekti.

Çizelge 2. Clody kodu parametreleri. R_{min} ve R_{max} olarak verilenler, kabuğun iç bölgesinin logaritmik büyüklükleri olup yarıçap (girdi-2) cm birimindedir.

Parametre	Birim	Girdi	V6567 Sgr	V659 Sct	V1391 Cas
Gün			13	265	515
Evre			Bulut öncesi	Bulut	Geç bulut
Toplam ışıma gücü	(erg s^{-1})	5	35.7	36.5	36.5
R_{min}	(log cm)	2	15.19	15.43	16.0
R_{max}	(log cm)	2	-	16.43	-
Hidrojen yoğunluğu	(log $^{-3}$)		8.5	6.2	5.81
Doldurma faktörü		4	0.9	0.6	0.05
Kaplama faktörü			-	0.9	-
Uzaklık	(kpc)		5.2	2.2	5.7



Şekil 4. V659 Sct'un (mavi) en iyi uyum gösteren bulut modeli (turuncu). Yatay eksen dalgaboyunu ve düşey eksen de $\times 10^{-11}$ çarpanı ile akıyı belirtmektedir.



Şekil 5. V1391 Cas'ın (mavi) en iyi uyum gösteren bulut modeli (turuncu). Yatay eksen dalgaboyunu ve düşey eksen de $\times 10^{-12}$ çarpanı ile akıyı belirtmektedir.

Öte yandan, salma çizgilerinin şiddetlenmesi durumu, 13. günden sonraki ilerleyen günlerdeki tayfların bulutsu evreye doğru evrimleşeceğini belirtir. Söz konusu bulutsu evreye geçtiğinde nova tayfında, sıcak BC'den gelen ışımaya maruz kaldığı yerlerde en güçlü salma çizgileri olduğunun ve atılan maddenin optik olarak ince olduğunun görüleceği düşünülmektedir. Bulutsu evrenin de ileri günlerinde yani novanın geç bulutsu aşamasında alınacak tayflarda, [N II] 5577 Å ile birlikte birden fazla [O III] çizgisi görülecektir.

Patlamayla birlikte genişleyen gaz yaklaşık 1400 K'lik bir sıcaklığa soğuduğunda, kabuktaki toz oluşumuyla ilişkili ani bir parlaklık düşüşü yaşayana kadar parlaklıkları azaldıkça novalar ışık eğrilerinde titremeler gösterir. Bu toz, alttaki fotosferden gelen ışığı engeller (bulutsu evre gözlemlerinde bu durum ortaya çıkar). Kabuk genişledikçe, toz geometrik olarak seyrelir ve fotosfer, düşüşten öncekinden biraz daha düşük bir parlaklıkta tekrar görünür hale gelir. Bu toparlanma, patlamadan yaklaşık bir yıl sonra meydana gelir ve tayflarda, iyonizasyonun daha da arttığını ve yüksek uyarılma enerjilerine sahip güçlü çizgilerin (örn. [O III] çizgileri ve [N II] 5577 Å) salmaya yol açtığı görülebilir.

Nova kabuğunun kimyasal bileşimi kodun ana girdilerinden biridir, daha sonra kod (diğer çıktıların yanı sıra) salma çizgi akılarını belirler. Hesaplanan bu akılar, gözlenen akılarla karşılaştırılır ve novadaki element bolluğunu belirlemek için yinelemeli bir işlem gerçekleştirilebilir. V6567 Sgr'un gözlem tayfı (turuncu) şimdiye kadar elde ettiğimiz en iyi model (mavi) tayfı ile birlikte Şekil 3'de verildi. Karşılaştırma amacı ile aynı kod kullanılarak elde edilmiş Şekil 4'de V659 Sct'un (Hamed ve Esenoglu 2023) ve Şekil 5'de de V1391 Cas'ın (Hamed ve Esenoglu 2024) en iyi uyan bulut modelleri verilmiştir.

Bu araştırmada, V6567 Sgr için bir bulut fotonlaştırma modeli yapmaya çalışıldı ama pek başarılı olunamadı. Bu olumsuz durum, Şekil 3'de gözlenen tayf (turuncu) ile modelin ürettiği tayf (mavi) çizgilerinin eşleşmemesinden görüldü. Buna göre nova gözlemi bulutsu evresinden önceki bir evreye ait olduğu anlaşıldı [Gün 13]. `Cloudy`'nin esas olarak bulutsu evredeki novalar ve benzeri nesnelerle ilgilenmesi nedeniyle modelin üretilmesindeki zorluğun sebebinin bu olduğu düşünüldü. Bu durum, Şekil 4'de V659 Sct'un patlamasından 265. gününde alınan tayfında (Hamed ve Esenoglu 2023) ve Şekil 5'de V1391 Cas'ın da patlamadan 515. gününde alınan tayfında (mavi) model tayfları (turuncu) ile olan uyumlarından görülmektedir (Hamed ve Esenoglu 2024). Gözlenen (mavi) ile model (turuncu) tayflarındaki uyum, bu iki novanın bulutsu evrede olduklarının belirtecidir.

V6567 Sgr'un, V659 Sct (Hamed ve Esenoglu 2023) ve V1391 Cas (Hamed ve Esenoglu 2024) ile karşılaştırmalı `Cloudy` kodu parametreleri Çizelge 2'de ve model atmosfer parametreleri de Çizelge 3 ve 4'de verildi. Çizelge 4'deki V6567 Sgr'un element bolluklarının, diğer iki novadakilere göre büyük farklılık göstermesi de bulutsu evrede olmadığının bir başka göstergesidir.

V6567 Sgr'un patlamanın maksimumundan sadece 13. gününde alınmasının bulutsu evrede olmadığına ilişkin literatürdeki diğer gözlem verilerini özellikle de tozun

Çizelge 3. Nova kabuğu modelleme sonuçlarından model atmosfer parametreleri.

Nova	Gün	Evre	Etkin Sıcaklık (T_e, K)	$\log g$
V6567 Sgr	13	bulut öncesi	325000	-
V659 Sct	265	bulut	100000	5.5
V1391 Cas	515	geç bulut	200000	3.5

görülebileceği kırmızı ötesi bölgeye ilişkin olanları burada tartışıldı. Buna göre, kırmızılaşmış galaktik nova V6567 Sgr'un 0.7-2.5 μm yakın kırmızıötesi tayf gözlemleri, 2020-06-30 (Gün 13; Woodward ve diğ. 2020b), tozun oluşmasının muhtemel olduğunu düşündürmektedir; gerçekten de yaklaşık 80 gün sonraki tayflarda 2.04 μm'deki tayfsal enerji dağılımı kırmızıya doğru dik bir yükseliş gösterdi.

Tozun bulunduğu yaklaşık 94. gün ile tozun dağılabileceği geçen sürenin 4-5 katı sonrasındaki günler için nova evrimi hakkında literatürde henüz hiçbir bilgi bulunmamaktadır.

GAIA DR3 kataloğunda V6567 Sgr'un numarası 4091515592911305472 olarak verilmiştir. Novanın galaktik koordinatları l=12.°28621, b=-02.°76904 ve paralaksından da uzaklığını 0.5 kpc olduğu varsayımı altında, novanın galaksimizin merkez düzleminden yüksekliğini z=24 pc olarak hesaplayabiliriz. Eğer modelin verdiği 5.2 kpc uzaklığını dikkate alırsak da bu sefer z=251 pc olmaktadır. z<100 pc'de bulunan hızlı novalar diskle ilişkilidir, $z\leq$1000 pc'e kadar olan yavaş novalar ise galaksimizin şişkin bölgesiyle ilişkilidir (Della Valle ve diğ. 1992). AAVSO ışık eğrisinden $t_2\sim$9 gün olan ölçüm değeri göz önüne alındığında, V6567 Sgr çok hızlı nova olup galaksimizin şişkin bölge novaları grubuna aittir. Burada novanın uzaklığı yaklaşık 10 çarpanı kadar farklılık gösterdi. İlerleyen yıllarda nova kabuğu Hα dar bant gözlemleri ve genişleme paralaksı yönteminin kullanılması ile güvenilir uzaklığının bulunabileceği söylenebilir.

Sonuç olarak, V6567 Sgr'un keşfinden sonraki 13. günde fırlattığı kabuğu modellendi ve element bolluğu hesaplandı. Model ve gözlem tayflarının uyuşmaması ve gözlenen tayfsal özellikler nedeniyle novanın bulutsu evreye henüz girmediği görüldü. Söz konusu fotoiyonizasyon analizinin ve bolluk tayininin sonuçları bulutsu evreye ait olmadığı yönündedir. Bu durumda, novanın bulutsu evresi, patlamanın 13. günden sonraki zamanlarda gerçekleşmiş olmalıdır. Çizelge 2 ve 3'de maksimum ışıktan 13. (bulut öncesi evre), 265. (bulut evresi) ve 515. (geç bulut evresi) günlerde üç novanın tüm bulguları da karşılaştırıldı.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Ulusal Gözlemevleri 20ARTT150-1628 numaralı "Klasik Novaların Element Bollukları" başlıklı gözlem projesi ile İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) FBA-2020-36956 numaralı araştırma projesi tarafından desteklendi. Bu çalışmanın bir bölümünde kullanılan hesaplama (Tübingen NLTE Model Atmosfer Paketi tarafından oluşturulan Beyaz Cüce model atmosferine uyarlanmış `Cloudy` kodu) olanaklarını sağlayan Kottamia Astronomi ve Uzay Bilimleri Bilimsel Mükemmeliyet Merkezi, STDF proje No. 5217'ye ve fotometrik veriyi kullandığımız AAVSO'ya teşekkür ederiz. Bu çalışmayı iyi seviyeye yükselten önerilerinden dolayı TJAA hakemlerine ayrıca teşekkür ederiz.

Çizelge 4. Nova kabuğu modelleme sonuçları element bollukları. Değerler kütle kesri olarak $\times$1000 çarpanıyla verildi.

	V6567 Sgr	V659 Sct	V1391 Cas
Gün	13	265	515
Evre	bulut öncesi	bulut	geç bulut
H	999.6	740.8	787.2
He	0.003	250.4	199.5
C	0.003	2.376	0.003
N	0.01	0.696	10
O	0.316	5.76	3.16
Ne	0.00001	-	0.1
Mg	0.01	-	-
Fe	0.01	-	-

Kaynaklar

Andreä, J., Drechsel, H., Starrfield, S., AA **191** (1994) 869–889
Astropy Collaboration, AA **558** (2013) A33
Astropy Collaboration, AA **156** (2018) 123–132
Austin, S.J., Wagner, R.M., Starrfield, S., Shore, S.N., Sonneborn, G., Bertram, R., AJ **111** (1996) 869–898
Balman, S., Yilmaz, A., Retter, A., Saygac, T., Esenoglu, H., MNRAS **356** (2005) 773–777
Banerjee, D.P.K and Ashok, N.M., BASI **40** (2012) 243–265
Banerjee, D.P.K., Woodward, C.E., Evans, A., Bus, S.J., Starrfield, S., Wagner, R.M., ATel **13888** (2020)
Cayrel, R. The Impact of Very High S/N Spectroscopy on Stellar Physics (Eds. G. Cayrel de Strobel, M. Spite), IAUS **132** (1988) 345–353
Craig, M. et al. Astropy/ccdproc: v1.3.0.post1 (2017)
De, K., Hankins, M.J., Kasliwal, M.M., Moore, A.M., Ofek, E.O., Adams, S.M., Ashley, M.C.B., Babul, A.N., Bagdasaryan, A., Burdge, K.B., Burnham, J., Dekany, R.G., Declacroix, A., Galla, A., Greffe, T., Hale, D., Jencson, J.E., Lau, R.M., Mahabal, A., McKenna, D., Sharma, M., Shopbell, P.L., Smith, R.M., Soon, J., Sokoloski, J., Soria, R., Travouillon, T., PASP **132** (2020a) 025001
De, K., Hankins, M., Kasliwal, M.M., Sokoloski, J., Ashley, M., Babul, A., Karambelkar, V., Lau, R.M., Moore, A., Ofek, E.O., Sharma, M., Soon, J., Soria, R., Travouillon, T., ATel **13790** (2020b)
Della Valle, M., Bianchini, A., Livio, M., Orio, M., AA **266** (1992) 232–236
Ferland, G.J., Chatzikos, M., Guzmán, F., Lykins, M.L., van Hoof, P.A. M., Williams, R.J.R., Abel, N.P., Badnell, N.R., Keenan, F.P., Porter, R.L., Stancil, P.C., RMxAA **53** (2017) 385–438
Fitzpatrick, E.L., Massa, D., Gordon, K.D., Bohlin, R., Clayton, G.C., AJ **886** (2019) 108–132
González-Riestra, R., Krautter, J., Ultraviolet Astrophysics Beyond the IUE Final Archive (Eds. W. Wamsteker, R. González Riestra, B. Harris) ESA Special Publication **413** (1998)
Hamed, G.M., Esenoglu, H.H., TJAA **4** (2023) 397–400
Hamed G.M., Esenoglu, H.H, Galeev, A.I., New Astronomy **113** (2024) 102273
Iijima, T., Esenoglu, H.H., AA **404** (2003) 997–1009
José, J. Stellar Explosions: Hydrodynamics and Nucleosynthesis, (2016) ISBN: 978-1-4398-5306-1
Joshi, V., Banerjee, D.P.K., Srivastava, M., ApJ **851** (2017) L30
Kalberla, P.M.W., Burton, W.B., Hartmann, D., Arnal, E.M., Bajaja, E., Morras, R., Pöppel, W.G.L., AA **440** (2005) 775–782
Khamitov, I.M., Bikmaev, I.F., Burenin, R.A., Glushkov, M.V., Melnikov, S.S., Lyapin, A.R., Astron Lett **46** (2020) 1–11
Kramida, A., Ralchenko, Y., Reader, J., NIST ASD Team NIST atomic spectra database (ver. 5.8) (2020) https://physics.

nist.gov/asd
Lenz, D.D., Ayres, T.R., PASP **104** (1992) 1104–1106
Luridiana, V., Morisset, C., Shaw, R.A., AA **573** (2015) A42
Masci, F.J., Laher, R.R., Rusholme, B., Shupe, D.L., Groom, S., Surace, J., Jackson, E., Monkewitz, S., Beck, R., Flynn, D., Terek, S., Landry, W., Hacopians, E., Desai, V., Howell, J., Brooke, T., Imel, D., Wachter, S., Ye, Q.Z., Lin, H.W., Cenko, S.B., Cunningham, V., Rebbapragada, U., Bue, B., Miller, A.A., Mahabal, A., Bellm, E.C., Patterson, M.T., Jurić, M., Golkhou, V.Z., Ofek, E.O., Walters, R., Graham, M., Kasliwal, M.M., Dekany, R.G., Kupfer, T., Burdge, K., Cannella, C.B., Barlow, T., Van Sistine, A., Giomi, M., Fremling, C., Blagorodnova, N., Levitan, D., Riddle, R., Smith, R.M., Helou, G., Prince, T.A., Kulkarni, S.R., PASP **131** (2020) 018003
McCully, C., Crawford, S., Kovacs, G., Tollerud, E., Betts, E., Bradley, L., Craig, M., Turner, J., Streicher, O., Sipocz, B., Robitaille, T., Deil, C., Astropy/astroscrappy: v1.0.5 zenodo release (2018) https://zenodo.org/records/1482019
Munari, U., Ochner, P., Vagnozzi, A., Moretti, S., Valisa, P., Maitan, A., Dallaporta, S., ATel **13807** (2020)
Oke, J.B., AJ **99** (1990) 1621–1631
Sokolovsky, K., Korotkiy, S., Lebedev, A., Stella Novae: Past and Future Decades (Eds. P.A.Woudt and V.A.R.M. Ribeiro) ASPC **197** (2014) 395–400
Rayner, J.T., Toomey, D.W., Onaka, P.M., Denault, A.J., Stahlberger, W.E., Vacca, W.D., Cushing, M.C., Wang, S., PASP **115** (2003) 362–382
Saizar, P., Starrfield, S., Ferland, G.J., Wagner, R.M., Truran, J.W., Kenyon, S.J., Sparks, W.M., Williams, R.E., Stryker, L.L., ApJ **367** (1991) 310–320
Shappee, B.J., Prieto, J.L., Grupe, D., Kochanek, C.S., Stanek, K.Z., De Rosa, G., Mathur, S., Zu, Y., Peterson, B.M., Pogge, R.W., Komossa, S., Im, M., Jencson, J., Holoien, T.W.S., Basu, U., Beacom, J.F., Szczygieł, D.M., Brimacombe, J., Adams, S., Campillay, A., Choi, C., Contreras, C., Dietrich, M., Dubberley, M., Elphick, M., Foale, S., Giustini, M., Gonzalez, C., Hawkins, E., Howell, D.A., Hsiao, E.Y., Koss, M., Leighly, K.M., Morrell, N., Mudd, D., Mullins, D., Nugent, J.M., Parrent, J., Phillips, M.M., Pojmanski, G., Rosing, W., Ross, R., Sand, D., Terndrup, D.M., Valenti, S., Walker, Z., Yoon, Y., ApJ **788** (2014) 48–61
Sokolovsky K.V., Aydi E., Chomiuk, L., Kawash, A., Strader, J., Mukai, K., Hambsch, F.J., Vanmunster, T., Korotkiy, S., Beloushkin, A., ATel **13804** (2020)
Stickland, D.J., Penn, C.J., Seaton, M.J., Snijders, M.A.J., Storey, P.J., MNRAS **197** (1981) 107003
van den Bergh, S., Younger, P.F., AASuppl **70** (1987) 125–140
Tody, D. Astronomical Data Analysis Software and Systems II (Eds. R.J. Hanisch, R.J.V. Brissenden, J. Barnes), AASuppl **52** (1993) 173–183
van Dokkum, P.G., PASP **113** (2001) 1420–1427
Yaron, O., Prialnik, D., Shara, M.M., Kovetz, A., ApJ **623** (2005) 398–410
Warner B., Cataclysmic Variable Stars
Woodward, C.E., Banerjee, D.P.K., Evans, A., Starrfield, S., Wagner, R.M., ATel **13801** (2020a)
Woodward, C.E., Banerjee, D.P.K., Evans, A., Starrfield, S., Wagner, R.M., ATel **13852** (2020b)
Woodward, C.E., Banerjee, D.P.K., Evans, A., ATel **14034** (2020c)

Access:
M25-0307: Turkish J.A&A — Vol.6, Issue 3.