

Süpernova Kalıntısı CTB 109 ile Etkileşimdeki Genç Yıldızsal Nesnelere

Baha Dinçel^{1,2*}, M. Sasaki¹, Sinan Kaan Yerli³, Minja Mäkelä¹, Jonathan Knies¹

¹Dr. Karl Remeis-Sternwarte, Erlangen Centre for Astroparticle Physics,

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Sternwartstrasse 7, D-96049, Bamberg, Germany

²Institut für Astronomie und Astrophysik (IAAT), Universität Tübingen, Sand 1, 72076, Tübingen, Germany

³Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, 06800 Ankara

Özet

CTB109 SNR'sinin ılık toz bulutundaki iki genç yıldızsal nesnenin (YSO), J230230.53+585807.9 (J1) ve J230229.64+585755.5 (J2), optik ve NIR fotometrik gözlemlerini paylaşıyoruz. İki YSO'nun SN şok dalgası aldığı düşünülüyordu. ALLWISE kataloğu MIR verileri, kaynakları 2.Sınıf YSO'ya koyuyor. Calar Alto Gözlemevi PANIC kamerasıyla yapılan NIR gözlemlerinden yıldızlararası sönümlenme ve yıldızsal veriler alındı. Neredeyse bir anakol yıldızı olan J2'nin kütlesi, hala anakol öncesinde olan J1'den büyük. TUG TFOSC gözlemlerinde J1 gözlemlendi ve H_α salma çizgisi doğrulandı. TUG T-100'le alınan üç aylık BVR-H_α fotometrisi YSO'larda hiçbir akı değişimi olmadığını gösterdi. Her iki yıldızın madde aktarım oranı beklenenden daha küçük.

Anahtar Kelimeler: stars: formation, Kırmızıöte Astronomisi

1 Giriş

Yıldızlar moleküler bulutsuların çökmesiyle oluşur. Bulutsuların iç kısmında oluşan büyük kütleli yıldızlar birkaç milyon yılda evrimlerini tamamlayarak süpernova patlaması yaşarlar. Dolayısıyla süpernova patlamaları genellikle yıldız oluşum bölgeleri yakınlarında meydana gelir. Çünkü, atayıldızın bölgeden uzaklaşmak için yeterli zamanı olmaz. Böylece bazı anakol öncesi evrimi devam eden yıldızlar (genç yıldızsal nesnelere (YSO)) süpernovanın şok dalgasıyla etkileşime girerler.

YSO'ların gövdelerinde süpernovanın belirgin bir etki bırakması beklenmemekle birlikte onları çevreleyen öngezegenel disklerin çarpışmadan doğrudan etkilenmeleri beklenir. Öncelikle diskteki dinamik sıcaklık değişecektir, bu da gezegen oluşumunu etkiler. Süpernova diskin geometrik yapısını değiştirebilir hatta çarpışma açısına bağlı olarak büyük bir kütleli yıldızın kütleçekim alanından çıkarabilir. Bu da yıldızın artık diskten aktarım yapamaması anlamına gelir. Son olarak, süpernova diske önemli miktarda α-süreci elementleri taşır, büyük bir alana sahip olan disk bu elementleri yakalayarak metal yoğunluğunu artırabilir. Tüm bu etkiler yıldız sisteminin evrimini önemli ölçüde etkileyebilir. Şu ana kadar böyle bir etkileşimin herhangi bir gözlemsel kanıtı sunulmamıştır. Bunun için SNR CTB 109 ve çevresi incelendi.

CTB 109 27' çapında kabuk türü bir SNR. Magnetara ev sahipliği yapan nadir SNR'lerden biridir. Bu SNR'in batıdaki bir dev moleküler bulutsuyla (GMC) etkileşime girdiği gösterilmiştir Şekil 1. GMC'nin sistematik hızı olan $-51 \pm 3 \text{ km s}^{-1}$ ve içerdiği yıldız oluşum bölgelerinin (Sh 2 – 152 ve Sh 2 – 153) tayfsal uzaklıkları $\sim 3.21 \pm 0.21$ dikkate alınarak mesafesi 3.2 ± 0.2 kpc olarak belirlenmiştir (Kothes & Foster 2012). X-ışını gözlemlerinden şok hızı $v_{\text{bw}} = 460 \pm 30 \text{ km s}^{-1}$ ve Sedov yaşı 14000 ± 2000 yr olarak bulunmuştur.

Merkezin doğu kısmında X-ışınında parlak ve α-süreci elementleri bakımından zengin bir bölgenin SNR'in yoğun bir bu-

lutsuyla çarpışmasından ortaya çıktığı öne sürülmüştür (Sasaki et al. 2013). Bu bölgeyi çevreleyen bulutlardan biri orta kızılötesinde (MIR) parlak bir IRAS kaynağıdır, Z 23004+5841. Bulutsunun süpernova şok dalgaları tarafından gözlemciye doğru hızlandırıldığı ortaya atılmıştır (Sasaki et al. 2006).

Bulutsu iki MIR kaynağına ev sahipliği eder, J230230.52+585807.5 and J230229.64+585755.5 (bundan böyle, J1 and J2). Bu çalışmada bu iki kaynağın tabiatı, yıldızsal parametreleri ve aktarım özellikleri sunulmuştur.

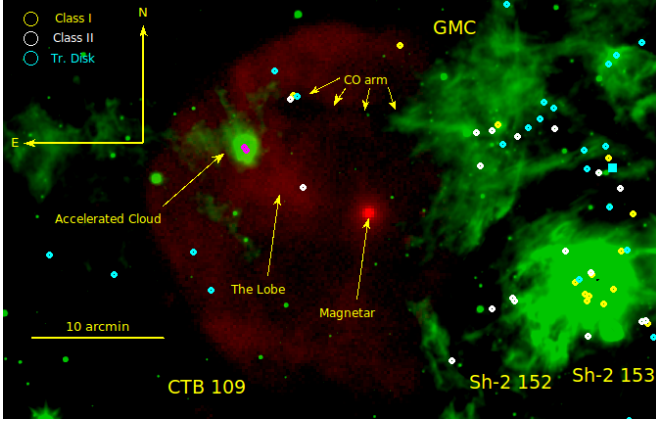
2 Gözlemsel Çalışma

Öncelikle kaynakların YSO olup olmadıklarını anlamak için bölgedeki kaynakların MIR renk-renk grafiğini çıkarttık. MIR değerleri Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE) (Cutri & et al. 2013) kataloğundan aldık ve 3.4, 4.6 ve 12 μm (W123 bantları) değerlerini kullandık. MIR renk-renk grafiğinden kaynakların YSO olduklarını belirledik.

Sonrasında SNR CTB 109'u kapsayan optik ve yakın kızılötesi (NIR) fotometrik ve tayfsal gözlemler yapıldı. Öncelikle, salma çizgilerini belirlemek için J1'in tayfı alındı. Bu gözlem 2016 Eylül 14'de RTT-150 teleskobuna takılı TUG Faint Object Spectrograph and Camera (TFOSC) marifetiyle yapıldı. Yıldız sönük olduğundan Grism 15, 120 μm yarıklı kullanıldı. Dalgaboyu aralığı 3230–9120Å, tayfsal çözünürlük $\Delta\lambda=12.4\text{Å}$ idi. 300 saniyelik hedef gözlemin yanı sıra on adet bias, beş adet halojen lamba tayfı (flat) ve beş adet He-Ne salma tayfı (arc) alındı. Tayfta sadece H_α salma çizgisi belirlendi (Şekil 1).

CTB 109'un CCD BVR-H_α gözlemleri 2018 Ekim 16, Kasım 15 and Aralık 14 tarihlerinde, TUG yerleşkesindeki T-100 1m Ritchey-Chretien teleskobuyla yapıldı. Gözlemlerde hedef imajların yanısıra sabahları her filtre için üçer adet gökyüzü flat ve onar bias alındı. Her hedef için 5, 240 ve 720 saniye poz verildi. JHK bandındaki fotometrik gözlemler 2016 Ağustos 11 tarihinde Calar Alto yerleşkesinde 2.2 metre teleskobuna takılı PANORAMIC Near-Infrared Camera (PANIC) kullanılarak gerçekleştirildi. 15' × 15''lık bir görüş açısı hedeflenen

* bahadince@gmail.com



Şekil 1. Solda: SNR CTB1092un kompozit görüntüsü (X-ışını kırmızı, 12 μm yeşil) WISE MIR fotometrisinden bulduğumuz sınıf I,II ve geçiş diski nesnelere dairelerle gösteriliyor. J1 ve J2 pembe dairelerle ifade edildi. Yıldız oluşumu batıda GMC'nin içinde konsantre olmuş durumda. Doğuda iki bölge, hızlandırılmış bulutsu ve CO kolun ucundaki iyice sönmüş YSO'ların alanı dikkat çekiyor. Sağda: YSO J1'in TFOSC grism 15 tayfı. H_{α} salma çizgisi bulundu. Akı ölçümü için Kurucz modeli üzerine yerleştirildi ve salmayla soğurma çizgisi arasındaki alan hesaplandı. Burada H_{α} eşdeğer genişliği $EW=16 \text{ \AA}$ olarak ölçüldü. The model parametreleri şöyle; $T = 13000 \text{ K}$, $\log(g)=3.5 \text{ cm s}^{-2}$, $v \sin(i)=30 \text{ km s}^{-1}$ and $[M/Fe]=0.0$.

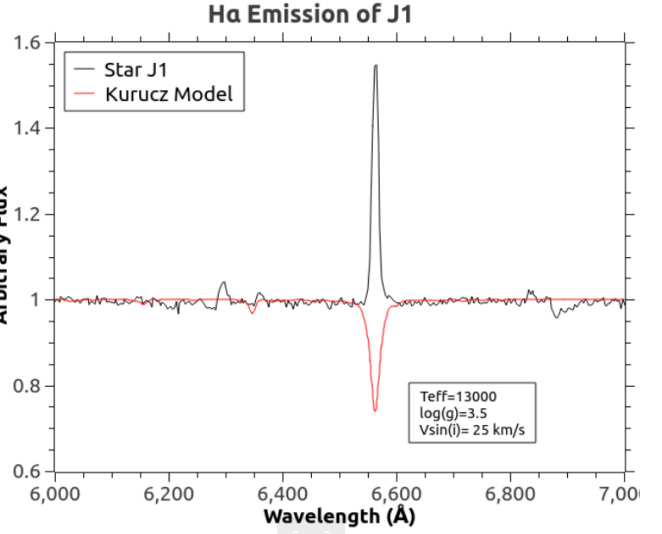
alanı gözlemek için yeterli oldu. Hedefler her filtreda $15s \times 2$ ve $90s \times 2$ şeklinde gözlemlendi. Yine onar bias ve her filtre için 3'er gökyüzü flat alındı.

Tüm data IRAF ortamında standard süreçler izlenerek indirildi. Fotometrik imajlar standard yıldız alanları (Landolt 2013) gözlenerek kalibre edildi. Hem optik hem de NIR gözlemlerde standard yıldızların akı belirsizliği çıkarım belirsizliğini domine etti. Tayfsal dataya farklı olarak dalgaboyu kalibrasyonu yapıldı ancak akı kalibrasyonu yapılmadı.

3 Sonuçlar

TFOSC tayfında salma çizgisinin toplam eşdeğer genişliğini bulmak için bir sentetik tayfa karşılaştırdık. Yıldızın sıcaklığı aşağıda belirtildiği gibi fotometriden hesaplandı. Belirlenen sıcaklık aralığında "Spectrum" (Gray & Corbally 1994) programıyla Kurucz LTE modelleri (Castelli & Kurucz 2004) kullanılarak sentetik tayflar üretildi. Bu tayflarla karşılaştırılarak J1'in H_{α} çizgisinin eşdeğer genişliği, $EW=16 \pm 2 \text{ \AA}$ olarak bulundu. 3 aylık optik fotometride yıldızların akısında kayda değer bir değişim bulunmamıştır.

BVRJHK fotometrisinden YSO'ların sönmüşleme değeri ve yıldızsal parametreleri bulundu. Tüm bu değerler YSO'ların SNR'la aynı uzaklıkta oldukları ve Güneş'in metal bolluğuna sahip oldukları varsayımıyla yapıldı. PARSEC 1.2S yıldız evrimi kodları (Chen et al. 2015) ve Girardi et al. (2008) bolometrik düzeltmeler kullanılarak "CMD 3.0" (<http://stev.oapd.inaf.it/cmd>) websitesi yardımıyla izokronlar oluşturuldu. B-V, V-R, J-H and H-K renk farkları kullanılarak her bir renk farkından farklı sönmüşleme katsayıları (R_V) için A_V değerleri hesaplandı. Tüm A_{λ}/A_V katsayıları Bessel filtreleri için (Bessell 1990) Cardelli et al. (1989)'daki gözlemsel katsayılar kullanılarak farklı R_V değerleri için hesaplandı. Bunun sonucunda R_V değeri 4.0 ± 0.05 olarak bulundu. Belirlenen A_V değerleri arasından en az standard sapmayı veren ($\sigma < 0.1$) sıcaklık aralığı YSO'nun etkin sıcaklığı olarak belirlendi. Evrim sürecinde hangi



yüzey gravitasyonuna sahip olduğu, dolayısıyla yaşı (Güneş metal bolluğu varsayımı sabit tutularak) SNR'ın uzaklığına göre kısıtlandı; $3.2 \pm 0.2 \text{ kpc}$. Yıldızsal parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Her bir model için aktarım kütle oranı Gullbring et al. (1998) makalesinde tarif edildiği gibi aktarım parlaklığı (L_{acc}) bulunarak hesap edildi. Aktarım parlaklığı doğrudan H_{α} salma akısından Barentsen et al. (2011)'e göre hesap edildi. Bu akıyı sönmüşmeden arındırılmış H_{α} ölçümlerimizden model değerlerini çıkartarak bulduk. Fotometriden ölçtüğümüz toplam akı $\sim 75 \text{ \AA}$ değerine tekabül etmektedir. Bu, tayftan ölçtüğümüzden çok fazla bir değerdir. Ancak, bu durum, bir akı değişiminden daha çok tayfçekerin 12.4 \AA 'lık çözünürlüğünden kaynaklanmaktadır. Çünkü büyük ihtimale salma çizgisinin FWHM değeri 12.4 'den daha düşüktür. Sinyal gürültü oranının da $S/N \sim 10$ olduğu düşünüldüğünde bu tayftan yola çıkılarak kütle aktarım oranı hesaplanamayacağı görüldü.

Optik ve NIR fotometrik gözlemlerin sonucunda J230230.52+585807.5 (J1) ve J230229.64+585755.5 (J2)'nin hala evrimde olan genç yıldızsal nesnelere (YSO'lar) olduğu ve ön gezegensel disklerinden kütle aktarım oranlarının beklenenden düşük olduğu bulundu.

YSO'lar oldukça genç $\tau=340 \pm 60 \text{ kyr}$. İki de orta kütleli yıldızlar; $M_{J1}=6.05 \pm 0.45$ and $M_{J2}=7.0 \pm 1.0 M_{\odot}$. Etkin sıcaklıkları sırayla $T_{eff}=15000 \pm 2000 \text{ K}$ and $T_{eff}=21500 \pm 3000 \text{ K}$. J2 daha yüksek bir yüzey gravitasyonu değerine sahip $\log(g)_{J2}=4.19 \pm 0.15 \text{ cm s}^{-2}$, $\log(g)_{J1}=3.66 \pm 0.14 \text{ cm s}^{-2}$. Her iki kaynakta beklediği gibi yüksek bir sönmüşleme değerine sahip, $A_V=6.9-7.6 \text{ mag}$. Bölgedeki beklenen sönmüşleme değeri $A_V \sim 3.2 \text{ mag}$ (Neckel et al. 1980).

Dar bant fotometrisinden kütle aktarım oranları şöyle bulundu; $\dot{M}_{J1}=-6.75 \pm 0.15$ ve $\dot{M}_{J2}=-7.75 \pm 0.15 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$. Bu aktarım oranları, diğer orta ve büyük kütleli YSO'ların aktarım oranlarıyla (Fairlamb et al. 2015) karşılaştırıldı ve her iki

Çizelge 1. J1 ve J2'nin yıldızsal parametreleri ve aktarım oranları. Her iki nesne de aynı yaşta olduğu düşünülmüştür. 1. kolonda yıldız ismi 2. kolonda yaşı 3. kolonda kütle 4. kolonda sıcaklığı 5. kolonda yüzey gravitasyonu 6. kolonda sönümlenme değeri 7. kolonda mesafe ve 8. kolonda aktarım oranı verilmiştir.

Star Name	Log(τ) (yr)	Mass (M_{\odot})	Log(T_{eff}) (K)	Log(g) (cm s^{-2})	A_V (mag)	$\dot{M}_{\text{acc}}(M_{\odot}\text{yr}^{-1})$
J1	5.45	6.52±0.07	4.20±0.04	3.72±0.08	7.00±0.1	-6.75±0.15
J2	5.45	7.69±0.22	4.35±0.04	4.25±0.09	7.60±0.1	-7.8±0.1
J1	5.50	6.22±0.09	4.18±0.04	3.69±0.09	7.00±0.1	-6.75±0.15
J2	5.50	7.20±0.52	4.32±0.04	4.22±0.11	7.50±0.1	-7.8±0.1
J1	5.55	5.92±0.09	4.16±0.04	3.64±0.10	7.00±0.1	-6.75±0.15
J2	5.55	6.79±0.42	4.31±0.03	4.21±0.11	7.50±0.1	-7.8±0.1
J1	5.60	5.61±0.11	4.12±0.06	3.62±0.10	6.95±0.1	-6.7±0.1
J2	5.60	6.27±0.22	4.28±0.01	4.15±0.09	7.45±0.1	-7.7±0.1

YSO'nun da benzer kütleli YSO'ların ortalamasından bir kadir kadar daha az aktarımda olduğu bulundu.

J2'nin evrimsel sürecinin sonlarına yaklaştığı ortadadır. Ancak, aktarım disklerinin aktifliği YSO'nun anakol yıldızı olduğunda da bir süre devam ettiği bilinmektedir. Ayrıca her iki yıldız da yoğun bir çevresel maddeye sahiptir. Sonuç olarak düşük aktarım oranları diskin süpernova çarpması sonucu kütle kaybı ya da geometri değişikliğine uğramasına bağlı olabilir.

Kaynaklar

Barentsen G., et al., 2011, *MNRAS*, 415, 103
 Bessell M. S., 1990, *PASP*, 102, 1181
 Cardelli J. A., Clayton G. C., Mathis J. S., 1989, *ApJ*, 345, 245
 Castellì F., Kurucz R. L., 2004, arXiv Astrophysics e-prints
 Chen Y., Bressan A., Girardi L., Marigo P., Kong X., Lanza A., 2015, *MNRAS*, 452, 1068
 Cutri R. M., et al. 2013, VizieR Online Data Catalog, 2328
 Fairlamb J. R., Oudmaijer R. D., Mendigutía I., Ilee J. D., van den Ancker M. E., 2015, *MNRAS*, 453, 976
 Girardi L., et al., 2008, *PASP*, 120, 583
 Gray R. O., Corbally C. J., 1994, *AJ*, 107, 742
 Gullbring E., Hartmann L., Briceño C., Calvet N., 1998, *ApJ*, 492, 323
 Kothes R., Foster T., 2012, *ApJ*, 746, L4
 Landolt A. U., 2013, *AJ*, 146, 131
 Neckel T., Klare G., Sarcander M., 1980, Bulletin d'Information du Centre de Données Stellaires, 19, 61
 Sasaki M., Kothes R., Plucinsky P. P., Gaetz T. J., Brunt C. M., 2006, *ApJ*, 642, L149
 Sasaki M., Plucinsky P. P., Gaetz T. J., Bocchino F., 2013, *A&A*, 552, A45

Erişim:

053-1400: [UAK-2018 Program](#) — [UAK Bildiri](#) — [Turkish J.A&A](#).