

Radyo Dalgaboylarında Büyük Kütleli Yıldız Oluşumu

Ümit Kavak^{1,2}, Alvaro Sanchez-Monge², Peter Schilke², Umut Yıldız³, Tansel Ak⁴

¹İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye
(umitkavak34@gmail.com)

²Köln Üniversitesi, I. Fizik Enstitüsü, Köln, Almanya

³Jet Propulsion Laboratory, NASA, ABD

⁴İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul, Türkiye

Özet: *Büyük kütleli yıldız ($> 8 M_{\odot}$) oluşumu son dönemlerin en çok çalışılan konularından biridir. Büyük kütleli yıldızlar oluşumları ve evrimleri boyunca buldukları galaksinin evriminde çok etkindir. Küçük kütleli yıldızlar ($< 8 M_{\odot}$) için bir oluşum senaryosu belirlenmiş olmasına rağmen, büyük kütleli yıldızların oluşumu yeteri kadar anlaşılammıştır. Bu sebeple, büyük kütleli yıldızların oluşumunu anlamak için gerek gözlemsel gerekse kuramsal çalışmalar yapılmaktadır. Cevabı aranan sorulardan birisi, büyük kütleli yıldızların küçük kütleli yıldızlar gibi oluşup oluşmadığı sorusudur. Benzer düşünceyle, küçük kütleli yıldız oluşum bölgelerinin tamamında tesbit edilmiş olan radyo jetler bu çalışmada büyük kütleli yıldız oluşum bölgelerinde ($> 15 M_{\odot}$) ilk kez tesbit edilmiştir.*

Abstract: *Massive star formation is one of the hotly debated topic. The massive stars play key roles on host galaxy evolution throughout their evolution. Although an acceptable scenario has been suggested for the low-mass star formation, there is no an acceptable scenario for massive star formation up to date. Therefore, observational and theoretical studies have been made in order to understand the massive star formation. One of the questions is that whether massive star formation is a scaled up version of low-mass star formation or not. With the same idea, the radio jets, which were found in all low-mass star forming regions, are detected in massive star forming regions at the first time in this study.*

1. Giriş

Samanyolu Galaksisi birçok farklı yapının meydana getirdiği spiral bir galaksidir. Yıldızlar bu sistem içindeki en baskın bileşenlerdendir. Yıldızlar farklı çaplarda ve kütlelerde ve yıldız oluşumu son yılların en çok çalışılan konularından birisidir. Oluşum senaryoları hazırlanırken en önemli parametrelerden biri de yıldızın kütlesidir ve yıldız oluşumu iki alt başlık halinde çalışılmaktadır: (i) Küçük kütleli yıldız oluşumu ($< 8 M_{\odot}$), (ii) Büyük kütleli yıldız oluşumu ($> 8 M_{\odot}$). Küçük ve büyük kütleli yıldızların kütle ayırımı yapılan çalışmaya bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, ayırım için $8 M_{\odot}$ kabul edilmiştir. Bu ayırım, ilkel yıldızın Kelvin-Helmholtz (KH) zaman ölçeği ve etrafındaki zarfın yığılma zamanı arasındaki ilişkiden kaynaklanmaktadır. Küçük kütleli yıldızların oluşumunu açıklamak için şu senaryo önerilmiştir [1]. Bu senaryoya göre, yıldız oluşumları bir molekül bulutu içinde gerçekleşir. Molekül bulutunun içinde yoğun bölgeye doğru madde yığılır. Yığılma devam ederken, merkezde yıldız öncesi oluşan nesneye *ilkel yıldız* denir. İlkel yıldızın üzerine madde yığılmasıyla etrafını çevreleyen zarfın kütlesi azalır ve ilkel yıldızın kütlesi artar. Yığılmadan dolayı sistem içinde momentum birikir ve fişkırmalarla sistemden uzaklaştırılır. Sistemden momentumun atılması için en etkin mekanizma fişkırmalardır. Fişkıрма yapılar ile ilkel yıldızın iki kutbu boyunca madde atımıyla momentum uzaklaştırılır. Bu sayede yığılma devam eder. Bu sırada gezegenlerin oluştuğu düşünülen disk yapılar meydana gelir. Yığılma bittikten sonra merkezdeki yıldız oluşur ve *T Tauri yıldızı* olarak adlandırılır. T Tauri yıldızı anakola geldiğinde yani merkezinde hidrojen element sentezlediğinde olgunlaşmış bir anakol yıldızı meydana gelir. Yıldızlar ömürlerinin büyük kısmını anakolda geçirir. Yıldızın oluşum süreci küçük kütleli yıldızlar için bu şekilde açıklanmaktadır. Bundan sonra, merkezinde nükleer reaksiyonlar bittiğinde yıldız, kütlesine bağlı olarak ömrünü beyaz cüce, nötron yıldızı veya karadelik olarak tamamlar.

Klasik senaryoda en dikkat çeken yapılardan biri fişkırmalardır. Fişkırmalar, gerek yığılmayla biriken açışal momentumun atılmasında, gerekse bulunduğu ortamın içeriğinde önemli role sahip olmalarından dolayı çokça çalışılmıştır. Oluşumun başından sonuna kadar, bulut kütlelerinin %99'u fişkırmalarla yıldızlararası ortama atılır. Ek olarak, fişkırmaların ilkel zarfla etkileşimi sonucunda birçok molekül oluşur. Moleküller kullanılarak bu ortama ait düşük enerji seviyelerindeki yapılar, yani ilk koşullar öğrenilebilir. Düşük enerji seviyelerindeki bu

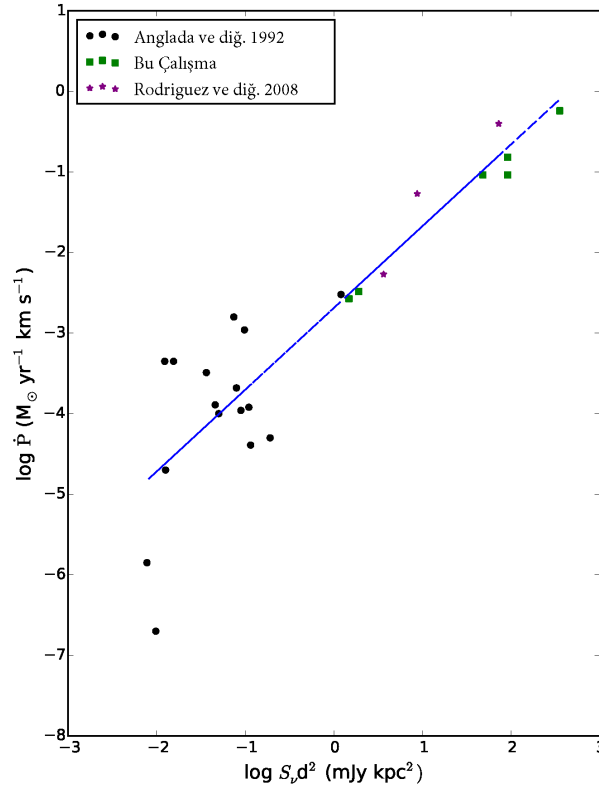
ışınım radyo ve milimetre dalgaboylarında gözlenebilir. Bu açıdan yıldız oluşumlarının anlamakta radyo dalgaboylarında yapılan gözlemler çok önemlidir.

Yukarıda da belirtildiği gibi, küçük kütleli yıldız oluşumunda merkezi ilkel yıldız hidrostatik dengeye ulaştığında anakola varmaktadır. Ancak, büyük kütleli yıldız oluşumunda, ilkel yıldız üzerine madde yığılırken hidrostatik dengeye ulaşır ve ışımaya yapar. Büyük kütleli yıldızların oluşumu için ilk oluşum şartlarının açığa kavuşturulması gerektiğinden, oluşumun ilk evrelerindeki yapıların yanı sıra yapıların oluşum mekanizmaları da anlaşılmalıdır. Fıskırmalar oluşum senaryosunda en önemli bileşenler olduklarından, iyi bir şekilde anlaşılması gereklidir ki bu yapılar küçük kütleli yıldız oluşum bölgeleri için çokça çalışılmıştır. Bunun yanında, fıskırmaların varlığı büyük kütleli yıldız oluşum bölgelerinde yakın bir tarihte tesbit edilmiştir [2].

Fıskırmaların yıldız oluşum bölgelerinde gözükmesine dair ilk deliller jet yapılarıdır. Jet yapıları ilkel yıldızdan atılan şok dalgaları sayesinde gözlenir. Şok dalgaları, ilkel yıldız etrafındaki zarfa kinetik enerjisini aktararak emisyonuna neden olur. Bu emisyonu takip edebilmek için SiO (Silikonmonoksit) molekülü kullanılmaktadır. Sonuç olarak, fıskırma yapılarının anlaşılması için jet yapılarının da çalışılması gereklidir. Büyük kütleli yıldız oluşum bölgelerinde ise radyo jetler $15 M_{\odot}$ 'ne kadar tesbit edilmiştir [3][4]. Ancak daha büyük kütleli (yani $> 15 M_{\odot}$) yıldızlar için bu yapılar için henüz gözlenememiştir. Bu çalışmada, VLA (Very Large Array) interferometrisinin gözlemleri kullanılarak, bu tür radyo jetler büyük kütleli yıldız oluşum bölgelerinde ilk defa tesbit edilmiştir.

2. Gözlemler ve Kalibrasyon

Çalışmamızda gözlenen kaynaklar, Lopez-Sepulcre ve diğ.,'nin 2010 ve 2011 [5]-[6] yıllarında listesini yayınladıkları büyük kütleli yıldız oluşum bölgeleri arasından seçilmiştir. Seçim kriterleriyle beraber, toplam 18 büyük kütleli yıldız oluşum bölgesi gözlenmiştir. Gözlemler, Kuzey Amerika'da San Agustin Ovası'nda konuşlanmış olan ve Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi (NRAO) tarafında kontrol edilen VLA (Very Large Array) interferometresi ile yapılmıştır. VLA interferometresi 1-50 GHz aralığının tamamına yakınına farklı bantlar kullanarak kapsamaktadır. Çalışmamızda C (4-8 GHz) ve K (18-26.5 GHz) bantlarındaki akıllar, tesbit



Şekil 1. Çalışmamızda tesbit edilen radyo jetlerin momentum oranı ve parlaklığı arasındaki ilişki.

edilen kaynakların tayfsal indekslerini hesaplamak için kullanılmıştır. Bu bantlar, her biri 128 MHz genişliğe sahip 15 tayfsal pencereyi kapsamaktadır. İnterferometreden elde edilen verilerin kalibrasyonu ve analizi için son dönemin popüler programı olan CASA (Common Astronomical Software Application) kullanılmıştır [7].

3. Sonuçlar

Çalışmada, CASA yazılımıyla üretilen haritalarda toplam 189 parlak ve sönük kaynak tesbit edilmiştir. Her iki frekansta toplam on bölge gözlenmiş ve kaynaklar için tayfsal indeks değerleri hesaplanmıştır. Tayfsal indekslerine ve geçmiş çalışmalara dayanarak, bu kaynaklardan dört tanesi termal radyo jet, dört tanesi HII bölgesi ve iki tanesi de termal olmayan radyo jet olarak sınıflandırılmıştır. $15 M_{\odot}$ 'den büyük kütleli yıldız oluşum bölgelerindeki radyo jetlerin varlığı ilk kez çalışmamızda kanıtlanmıştır.

Ayrıca, çalışmamızda radyo jetlere ait bazı fiziksel özellikler (momentum oranı, kütle kayıp oranı) hesaplanmıştır. Bu büyüklüklerin teyidi için kaynakların tayflarının alınıp incelenmesi gerekmektedir. Bunların yanı sıra, iyi bir varsayımla yapılan hesaplar sonucunda büyük kütleli yıldızlardaki jetlerin parlaklığı (Sd^2) ve momentum oranı (dP/dt) arasındaki ilişkinin küçük kütleli yıldızlara göre daha az saçılmış olduğu görülmüştür (Şekil 1). Bu şekil, büyük kütleli yıldızların küçük kütleli yıldızlar gibi oluştuğu düşüncesini kısmen doğrulanmaktadır. Ancak çalışmamızda tesbit edilen ve radyo jet olarak sınıfladığımız kaynaklar için daha fazla gözlem gereklidir. Bu yüzden VLA'nın farklı üç bandı (örneğin L, S, X ve Ku) da kullanılarak daha güvenilir tayfsal indekslerin hesaplanması planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Shu ve diğ., "Star Formation in Molecular Clouds: Observation and Theory", Annual Review of Astronomy and Astrophysics, cilt 25, sayfa 23, 1987.
- [2] Sanchez-Monge ve diğ., "Evolution and excitation conditions of outflows in high-mass star-forming regions", Astronomy & Astrophysics, cilt 557, sayfa 94, 2013.
- [3] Rodríguez, L. F. ve diğ., "The Collimated Jet Source in IRAS 16547-4247: Time Variation, Possible Precession, and Upper Limits to the Proper Motions Along the Jet Axis", The Astronomical Journal, cilt 135, sayfa 2370, 2008.
- [4] Guzman A. ve diğ., "A String of Radio Emission Associated with IRAS 16562-3959: A Collimated Jet Emanating from a Luminous Massive Young Stellar Object", The Astrophysical Journal, cilt 725, sayfa 734, 2010.
- [5] López-Sepulcre, A.; Cesaroni, R.; Walmsley, C. M., "A comparative study of high-mass cluster forming clumps", Astronomy and Astrophysics, cilt 517, sayfa 50, 2010.
- [6] López-Sepulcre, A., Walmsley, C. M. ve diğ., "SiO outflows in high-mass star forming regions: A potential chemical clock?", Astronomy and Astrophysics, cilt 526, sayfa 13, 2011.
- [7] McMullin ve diğ., 2007, CASA Architecture and Applications, *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVI ASP Conference Series*, cilt 376, sayfa 127.