

Galaksilerdeki Moleküler Gazın Fiziksel Özelliklerinin Milimetre ve Milimetre Altı Gözlemlerle İncelenmesi

Kerem Osman Çubuk^{1,2,*}, Selçuk Topal³, Ferhat Fikri Özeren^{1,4}

¹Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Kayseri, Türkiye

²Armagh Observatory and Planetarium, Armagh, Northern Ireland, United Kingdom

³Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Van, Türkiye

⁴TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Antalya, Türkiye

Özet

Optik bölgede gözlenemeyen ve milimetre ile radyo bölgede detaylıca incelenebilen moleküler bulutların soğuk ve yoğun kısımları yıldız oluşumunun başladığı yerlerdir. Bu çalışmada yakın komşuluktaki ($D \leq 20\text{Mpc}$) 10 farklı galaksi (NGC 2903, 3521, 3627, 4321, 4736, 5055, 5194, 5457, 6946 ve 7331) merkezinin çoklu moleküler geçiş gözlemlerine yer verilmiştir. Bu moleküler geçişler sırasıyla $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{12}\text{CO}(2-1)$, $^{12}\text{CO}(3-2)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$ ve $\text{HCN}(1-0)$ 'dır. Bu çigillerin birbirine oranları ilgili bölgelerdeki gazın fiziği hakkında (sıcaklık, yoğunluk, optik derinlik ve yıldız oluşum oranı) bilgiler vermektedir. Bu çalışma aynı zamanda incelediği konu bakımından Türkiye'deki ilk yüksek lisans tezi olma özelliğine sahiptir.

Anahtar Kelimeler: submillimetre: galaxies, Radyo Astronomisi

1 Moleküler Bulutlar

Yıldız oluşumunun hammaddesi olan moleküler bulutlar yıldızlararası gaz ve tozdan oluşurlar. Genel olarak birkaç on Kelvin sıcaklığa sahip olan moleküler bulutların ana bileşeni moleküler hidrojen (H_2). Genişlikleri birkaç ışık yılından birkaç yüz ışık yılına kadar ulaşan moleküler bulutların kütleleri ise birkaç Güneş kütlesinden milyonlarca Güneş kütlesine ulaşabilmektedir. Gezegenimizin deniz seviyesinde atmosferin santimetre küpünde 10^{19} molekül bulunurken en gelişmiş laboratuvarlarımızda oluşturulan vakum ortamlarında bu sayı 10^{10} mertebesindedir. Yıldızlararası ortamda ise bu sayı 10^0 mertebesindeyken yıldızların oluşmakta olduğu moleküllerin bulutların en yoğun kısımlarında ise santimetre küpte 10^6 molekül bulunmaktadır.

1.1 Neden Karbonmonoksit (CO) Molekülü?

Yıldız oluşumunu ve galaksilerin evrimini daha iyi anlayabilmek için kuşkusuz moleküler bulutların incelenmesi çok önemlidir. Bu bulutların ana bileşeni hidrojen olmasına rağmen yıldız oluşumunun gerçekleştiği yoğun bölgelerde hidrojen moleküler yapıda olmaya eğilimlidir. Moleküler hidrojen ise sadece ilk rotasyon geçişi için bile 500K civarında sıcaklığa gereksinim duymaktadır. Buna rağmen yıldız oluşum bölgelerinin sıcaklığı daha önce belirtildiği gibi sadece birkaç on Kelvin seviyesindedir. Bu sebeple bu bölgelerdeki hidrojen molekülünün incelenmesi neredeyse imkansızdır. Moleküler bulutlarda en bol bulunan ikinci molekül olan karbonmonoksit (CO) ise ilk rotasyon geçişi için sadece 10K sıcaklığa ihtiyaç duymaktadır. Yapılan CO gözlemleri sonucundaysa dolaylı yoldan ortamdaki Hidrojen bolluğuna ulaşılabilir. Moleküler bulutlarda en bol bulunan ikinci molekül olan karbonmonoksit (CO) ise ilk rotasyon geçişi için sadece 10K sıcaklığa ihtiyaç duymaktadır. Yapılan CO gözlemleri sonucundaysa dolaylı yoldan ortamdaki Hidrojen bolluğuna ulaşılabilir.

2 Veriler ve Yöntem

Bu çalışma için 50'den fazla galaksi incelenmiştir. Yıldız oluşum bölgelerinin fiziksel koşullarına odaklanmak istenildiğinden olabildiğince fazla herkesin kullanımına açık olan CO geçişi verisi

bulunan 10 galaksi seçilmiş ve geriye kalanı elenmiştir. Bu galaksiler NGC 2903, 3521, 3627, 4321, 4736, 5055, 5194, 5457, 6946 ve 7331'dir. Tüm galaksiler için $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{12}\text{CO}(2-1)$ ve $^{12}\text{CO}(3-2)$ (NGC 5457 hariç) geçişleri elde edilirken 7 galaksi için $^{13}\text{CO}(1-0)$ ve 6 galaksi için $\text{HCN}(1-0)$ geçişi elde edilmiştir. Literatürden elde edilen tüm gözlemsel verilerin kaynakları ve özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

2.1 Verilerin Hazırlanması ve Hesaplamalar

$^{12}\text{CO}(1-0)$ veri küpleri BIMA Survey çalışmasından Tamara T. H. vd. (2003), $^{12}\text{CO}(2-1)$ veri küpleri HERA CO-Line Extragalactic Survey çalışmasından Leroy A. K. vd. (2009), $^{12}\text{CO}(3-2)$ veri küpleri ise Heinrich Hertz Teleskobu ile yapılan gözlemlerden Mao Rui-Qing vd. (2010) elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan diğer moleküler geçişler Purple Mountain (PMO), Five College Radio Astronomy Observatory (FCRAO), National Radio Astronomy Observatory (NRAO) ve Nobeyama gibi çeşitli gözlemevlerinde yapılan gözlemlerden elde edilen ve açık kullanımına izin verilen verilerdir.

Literatürden toplanan verilerin kaynak boyutlarını, açılal çözünürlükleri ve birimleri farklıdır. Elde edilen verilerin çizgi oranları karşılaştırılacağından ilk adım olarak tüm verilerin aynı paydada buluşturulması gerekir. ($^{12}\text{CO}(1-0)$ çizgisinin açılal çözünürlüğü $5'' \times 7''$, $^{12}\text{CO}(2-1)$ açılal çözünürlüğü $13,4''$ ve $^{12}\text{CO}(3-2)$ açılal çözünürlüğü ise $21,8''$ dir). Açılal çözünürlük yapay olarak iyileştirilemeyeceğinden tüm veriler en kötü çözünürlüğe indirgenir. Bu durumda tüm çizgilerin açılal çözünürlüğü MIRIAD programı yardımıyla $23''$ sine indirilmiştir.

Açılal çözünürlük düzeltmesi yapılan veri küplerinde galaksi merkezlerine denk gelen alandan $23''$ çapındaki alan yine MIRIAD programı yardımıyla çıkarılmıştır. Elde edilen küplerin toplam akısı hesaplanmış ve ardından literatürden elde edilen X_{CO} faktörüyle hidrojen kütlesi hesabı yapılmıştır.

Kaynak boyutu, açılal çözünürlük ve birim düzeltmesi yapıldıktan sonra toplam akı ve hidrojen kütlesi hesaplanan veri küplerinin son olarak hız haritaları oluşturulmuştur. Burada çok kısa bir şekilde değinilen tüm bu adımlara detaylı bir şek-

* keremcubuk@gmail.com

Çizelge 1. Seçilen galaksiler için elde edilen verilerin özellikleri. **Not:** Çizelgedeki veriler soldan sağa doğru sırasıyla: Galaksi adı, literatürden elde edilen moleküler ışınım, gözlem yapılan frekans, gözlemede kullanılan teleskop, teleskobun gözlem yapılan frekanstaki açısal çözünürlüğü ve galaksinin uzaklığına bağlı olarak galaksilerdeki incelenen alanın ilgili açısal çözünürlükte karşılık geldiği boyutu göstermektedir. Çöz.: Çözünürlük.

Galaksi	Işınım	Frekans (GHz)	Teleskop	Çöz. (")	Lineer Boyut (Kpc)
NGC 2903	$^{12}\text{CO}(1-0)$	115,27	BIMA+12m	6,9x5,0	0,33
	$^{12}\text{CO}(2-1)$	230,53	IRAM 30m	13,40	0,51
	$^{12}\text{CO}(3-2)$	345,79	HHT	21,80	0,83
	$^{13}\text{CO}(1-0)$	110,20	Nobeyama	15,00	0,57
	HCN(1-0)	88,63	IRAM 30m	28,00	1,07
NGC 3521	$^{12}\text{CO}(1-0)$	115,27	BIMA+12m	6,9x5,0	0,47
	$^{12}\text{CO}(2-1)$	230,53	IRAM 30m	13,40	0,74
	$^{12}\text{CO}(3-2)$	345,79	HHT	21,80	1,20
NGC 3627	$^{12}\text{CO}(1-0)$	115,27	BIMA+12m	6,9x5,0	0,40
	$^{12}\text{CO}(2-1)$	230,53	IRAM 30m	13,40	0,62
	$^{12}\text{CO}(3-2)$	345,79	HHT	21,80	1,01
	$^{13}\text{CO}(1-0)$	110,20	PMO	50,00	2,33
	HCN(1-0)	88,63	NRAO	70,00	3,26
NGC 4321	$^{12}\text{CO}(1-0)$	115,27	BIMA+12m	6,9x5,0	0,33
	$^{12}\text{CO}(2-1)$	230,53	IRAM 30m	13,40	0,51
	$^{12}\text{CO}(3-2)$	345,79	HHT	21,80	0,83
	$^{13}\text{CO}(1-0)$	110,20	PMO	50,00	3,93
NGC 4736	$^{12}\text{CO}(1-0)$	115,27	BIMA+12m	6,9x5,0	0,21
	$^{12}\text{CO}(2-1)$	230,53	IRAM 30m	13,40	0,33
	$^{12}\text{CO}(3-2)$	345,79	HHT	21,80	0,54
	$^{13}\text{CO}(1-0)$	88,63	PMO	50,00	1,24
NGC 5055	$^{12}\text{CO}(1-0)$	115,27	BIMA+12m	6,9x5,0	0,32
	$^{12}\text{CO}(2-1)$	230,53	IRAM 30m	13,40	0,50
	$^{12}\text{CO}(3-2)$	345,79	HHT	21,80	0,81
	$^{13}\text{CO}(1-0)$	110,20	FCRAO	50,00	1,87
	HCN(1-0)	88,63	NRAO	70,00	2,61
NGC 5194	$^{12}\text{CO}(1-0)$	115,27	BIMA+12m	6,9x5,0	0,30
	$^{12}\text{CO}(2-1)$	230,53	IRAM 30m	13,40	0,47
	$^{12}\text{CO}(3-2)$	345,79	HHT	21,80	0,76
	$^{13}\text{CO}(1-0)$	110,20	FCRAO	50,00	1,75
	HCN(1-0)	88,63	Nobeyama	19,00	0,66
NGC 5457	$^{12}\text{CO}(1-0)$	115,27	BIMA+12m	6,9x5,0	0,29
	$^{12}\text{CO}(2-1)$	230,53	IRAM 30m	13,40	0,45
NGC 6946	$^{12}\text{CO}(1-0)$	115,27	BIMA+12m	6,9x5,0	0,23
	$^{12}\text{CO}(2-1)$	230,53	IRAM 30m	13,40	0,36
	$^{12}\text{CO}(3-2)$	345,79	HHT	21,80	0,58
	$^{13}\text{CO}(1-0)$	110,20	FCRAO	50,00	1,33
	HCN(1-0)	88,63	IRAM 30m	28,00	0,75
NGC 7331	$^{12}\text{CO}(1-0)$	115,27	BIMA+12m	6,9x5,0	0,55
	$^{12}\text{CO}(2-1)$	230,53	IRAM 30m	13,40	0,87
	$^{12}\text{CO}(3-2)$	345,79	HHT	21,80	1,42
	HCN(1-0)	88,63	NRAO	70,00	4,55

ilde Kaynaklar bölümünde bulunan tez çalışmasından ulaşmak mümkündür. [Çubuk K.O. \(2018\)](#)

Seçilen galaksilerin merkezi bölgelerindeki molekülerin bulutların fiziksel koşulları üzerine yorum yapabilmek için farklı molekül geçişlerin birbirlerine olan oranlarına bakmak gerekir. Bu nedenle farklı geçişlerden elde edilen toplam akıların birb-

Çizelge 2. Galaksilerin merkezi bölgeleri için elde edilen toplam akı oranları. Toplam akı oranları $^{12}\text{CO}(1-0)/^{12}\text{CO}(2-1)$: R_{12} , $^{12}\text{CO}(1-0)/^{12}\text{CO}(3-2)$: R_{13} , $^{12}\text{CO}(1-0)/^{13}\text{CO}(1-0)$: R_{11} ve $^{12}\text{CO}(1-0)/\text{HCN}(1-0)$: R_{D1} şeklinde gösterilmektedir.

Galaksi	R_{12}	R_{13}	R_{11}	R_{D1}
NGC 2903	$1,39 \pm 0,14$	$1,10 \pm 0,14$	$20,54 \pm 4,98$	$13,68 \pm 3,04$
NGC 3521	$1,70 \pm 0,19$	$2,25 \pm 0,44$	-	-
NGC 3627	$2,45 \pm 0,18$	$1,95 \pm 0,17$	$9,44 \pm 1,49$	$24,87 \pm 7,64$
NGC 4321	$1,52 \pm 0,17$	$1,18 \pm 0,17$	$5,76 \pm 1,44$	-
NGC 4736	$1,20 \pm 0,14$	$1,85 \pm 0,26$	$2,35 \pm 0,47$	-
NGC 5055	$1,33 \pm 0,17$	$1,71 \pm 0,42$	$11,91 \pm 1,55$	$12,73 \pm 2,94$
NGC 5194	$1,11 \pm 0,17$	$1,20 \pm 0,20$	$9,15 \pm 1,30$	$13,30 \pm 2,75$
NGC 5457	$1,49 \pm 0,17$	-	-	-
NGC 6946	$1,53 \pm 0,14$	$1,64 \pm 0,14$	$6,31 \pm 0,58$	$13,63 \pm 2,12$
NGC 7331	$1,34 \pm 0,09$	$3,20 \pm 0,41$	-	$7,29 \pm 2,45$

irlerine olan oranına bakılmış ve sonuçlar bir sonraki bölümde incelenmiştir.

3 Bulgular ve Sonuç

Toplam akı oranları karşılaştırıldığında ortamın sıcaklığı, yoğunluğu ve optik derinliği üzerine yorum yapabilmek mümkündür. R_{12} ve R_{13} sıcaklık belirteci olup bu oranlar sıcaklıkla ters orantılıdır.

R_{11} optik derinlik belirteci olup gazın ortamdaki gazın kalınlığı ile ilgili bilgi taşımaktadır.

R_{D1} yoğunluk belirteci olup gazın yoğunluğuyla ilgili doğrudan bilgi vermektedir.

Bu üç belirtecin karşılaştırılmasıyla gazın fiziksel koşulları üzerine yorum yapılabildiği gibi eğer incelenen moleküler çizgi sayısı arttırılırsa (aynı ve farklı moleküllerin daha üst rotasyon geçişleri çalışmaya eklenebilirse) çalışmadan elde edilecek sonuç da bir o kadar detaylanacaktır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalara Kaynaklar bölümündeki tez çalışmasından ulaşılabilir. [Çubuk K.O. \(2018\)](#)

4 Kaynaklar

Kaynaklar

- Çubuk K. O., "Seçilen Galaksilerdeki Moleküler Bulutların Milimetre ve Milimetre Altı Dalga Boylarında İncelenmesi." Yüksek lisan tezi, Tez No: 515173, Erciyes Üniversitesi, 2018.
- Leroy, A. K. vd., 2009. Heracles: The HERA CO line extragalactic survey. *The Astronomical Journal*, (137): 4670-4694.
- Mao Rui-Qing vd., 2010. An Extragalactic $^{12}\text{CO} J = 3-2$ survey with the Heinrich Hertz Telescope. *The Astrophysical Journal*, (724): 1336-1356.
- Tamara T. H. vd., 2003. The BIMA survey of nearby galaxies (BIMA SONG) II. the CO data. *The Astrophysical Journal*, (145): 259-327.

Erişim:

042-1225: [UAK-2018 Program](#) — [UAK Bildiri](#) — [Turkish J.A&A.](#)