

Gökadamız Merkezi Doğrultusunda Yıldızlararası Karbonlu Tozların Dağılımı

Burcu Günay^{1*}, Melike Afşar¹

¹Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü İzmir

Özet

Yıldızlararası karbonlu tozun alifatik hidrokarbon bileşeni, elektromanyetik tayfın $3.4\mu\text{m}$ dalgaboyunda belirgin bir soğurmaya neden olmaktadır. Yıldızlararası toz içinde bulunan alifatik hidrokarbonların soğurma katsayısı bilindiğinde yıldızlararası tozun alifatik hidrokarbon bileşeninin kolon yoğunluğu hesaplanabilir. Bu çalışmada yıldızlararası / yıldız çevresi ortam koşulları laboratuvar ortamında oluşturularak toz benzeşikleri üretilmiş ve yıldızlararası toz benzeşiklerinin içerdiği alifatik hidrokarbonların soğurma katsayısı laboratuvar ortamında ölçülmüştür. Laboratuvar çalışmaları, literatürdeki gözlemsel çalışmalar ile birleştirilerek, Gökada merkezi bakış doğrultusundaki yıldızlararası karbonlu toz bünyesinde bulunan alifatik karbon ve toplam karbon miktarı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: ISM: abundances, Kırmızıöte Astronomisi

1 Giriş

Yıldızlararası toz, yıldızlararası ortamın fiziksel ve kimyasal süreçlerinde yer alan temel bir bileşendir. Yıldızlararası ortamda ısınma, soğuma ve ışınma süreçlerine etki ettiği kadar kimyasal döngülerde de önemli rol oynamaktadır. Yıldızlararası madde döngüsü gökadalara evrimi açısından çok önemlidir. Bu döngü içerisinde karbon elementi yüksek bağ yapma yeteneğinden dolayı evrenin kimyasal zenginliğinde temel rol oynamaktadır. Karbon, melez orbitaller (sp^3 , sp^2 , ve sp) ile üç farklı kovalent bağ yapısı (tekli, çiftli ve üçlü bağlar) kurarak çeşitli moleküller oluşturabilir. Bu moleküller, bağ yapılarına göre alifatikler (alkanlar), olefinikler (alkenler), aromatikler ve alkinler olmak üzere dört ana bileşik grubunda toplanır.

Karbonlu moleküllerin oluşumunda ilk aşama, evrimleşmiş bir yıldızın uzaya karbonca zengin madde savurmasıyla başlayan kimyasal süreçlerdir (Pascoli & Polleux 2000; Contreras & Salama 2013). Karbon, evrende en çok bulunan dördüncü elementtir. Yıldızlararası ortamda karbonun önemli bir kısmının katı halde yani yıldızlararası toz bünyesinde bulunduğu düşünülmektedir.

Karbonun yıldızlararası ortamdaki toplam bolluğu, gaz ve katı halde bulunan miktarlarının toplamı olarak ele alınır. Bu toplam karbon değerinin kozmik karbon bolluğu ile uyumlu olması beklenir. Yıldızlararası ortamda karbon bolluğu genellikle hidrojen bolluğuna göre normalize edilerek (C/H) ppm¹ cinsinden tanımlanır. Snow & Witt (1995) Gökada yıldızları üzerine yapılan araştırmalarda yıldızlararası ortam toplam karbon bolluğunun 225 ± 50 ppm olduğunu öne sürmüşlerdir. Evrimleşmemiş erken tip B tayf türü (anakol, altdev, dev) yıldızlardan (Sofia & Meyer 2001; Przybilla et al. 2008) elde edilen karbon bolluğu 240 ppm kadardır. Güneş bolluklarına bağlı olarak elde edilen kozmik karbon bolluğu (Grevesse & Sauval 1998) ile meteoritler / Güneş öncesi oluşmuş parçacıklardan elde edilen kozmik karbon bolluklarına (Lodders 2003) göre yıldızlararası ortamda en fazla 270 ppm karbon bulunmaktadır. Güncellenmiş Güneş bollukları (Asplund et al. 2009) ve F, G

tayf türü (cüce) genç disk yıldızlarından elde edilen bolluklar yıldızlararası ortamda en fazla 358 ± 82 ppm kadar karbon olduğunu göstermektedir (Sofia & Meyer 2001).

Yıldızlararası karbonun gözlemsel yollarla elde edilen gaz ve katı haldeki toplam bolluklarının kozmik karbon bolluğu ile örtüşmemesi karbon krizi olarak adlandırılan problemi ortaya çıkarmıştır. Yıldızlararası ortamdaki karbon bolluğu çalışmaları açısından katı haldeki karbon miktarın doğru olarak tespit edilebilmesi büyük önem taşımaktadır. Ancak yıldızlararası ortamdaki toz parçacıklarının bünyesinde bulunan karbon miktarı, gözlemsel kısıtlamalar nedeniyle tartışmalıdır. Yıldızlararası sönükleştirme eğrileri yıldızlararası toz parçacıklarının boyutu hakkında bilgi verir (Cardelli et al. 1989; Fitzpatrick 1999). Ancak bunun yanı sıra yıldızlararası tozların yapısının tam olarak bilinmemesi nedeniyle, sönükleştirme eğrileri ile edilen karbon miktarında bir belirsizlik bulunmaktadır. Bu açıdan yıldızlararası tayfta görünen belirli salma ve soğurma çizgilerinden faydalanılarak saptamalar yapılabilir.

Kızılöte (IR) bölgedeki tayf yapılarının şiddeti kaynaklandıkları kimyasal grupların sayısı ile orantılıdır. Yıldızlararası ortamdaki hidrokarbon bileşiklerine ilişkin tayf yapıları arasında alifatik karbonun C–H bağı gerilmesi kaynaklı $3.4\mu\text{m}$ soğurma bandı parlak ve belirgin bir profile sahip olduğu için ön plana çıkmaktadır (Pendleton et al. 1994). $3.4\mu\text{m}$ soğurma yapısı dağılmış yıldızlararası ortam tayfında yaygın olarak görülmektedir. Bu nedenle yıldızlararası toz kaynaklı $3.4\mu\text{m}$ soğurma yapısının optik derinliğinden ($\tau_{3.4}$), toplam soğurma katsayısından (A , cm atom^{-1}) ve soğurma yapısının yarı maksimum genişliğinden ($\Delta\bar{\nu}$: FWHM) yararlanılarak yıldızlararası ortamdaki alifatik C–H sayısı, kolon yoğunluğu (N : cm^{-2}) cinsinden saptanabilir (d'Hendecourt & Allamandola 1986).

$$N = \frac{\tau_{\Delta\bar{\nu}}}{A} \quad (1)$$

Bu çalışmada, yıldızlararası ortamdaki toz oluşumu koşulları laboratuvar ortamında oluşturulmaya çalışılarak yıldızlararası karbonlu toza benzer özelliklere sahip örnekler üretilmiştir. Örneklerin içerisindeki alifatik karbon atomlarının $3.4\mu\text{m}$ dalgaboyu bölgesindeki ışığı ne kadar güçlü bir şekilde soğurduğunu belirlemek için kızılötesi tayf ölçüm (FTIR spect-

* Burcu GÜNAY

¹ ppm: parts per million

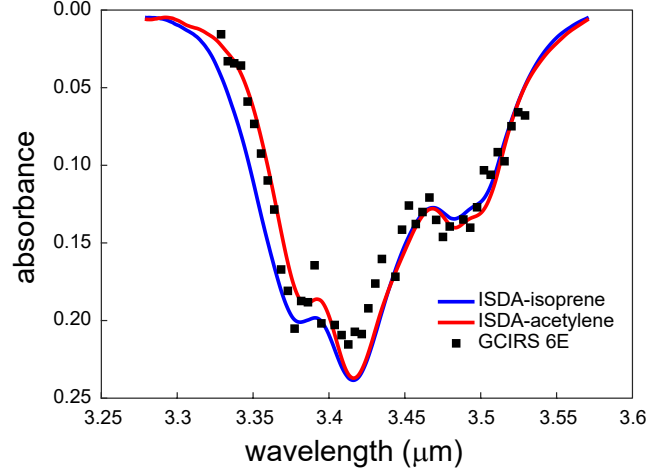
roscopy²) ile nükleer manyetik rezonans tayfölcüm (NMR spectroscopy³) teknikleri bir arada kullanılmıştır. Bu yöntemle yıldızlararası toz için $3.4\mu\text{m}$ alifatik hidrokarbon toplam soğurma katsayısı hesaplanmıştır. Gökada merkezi (GC) parlak IR kaynakları doğrultusunda $3.4\mu\text{m}$ soğurması üzerine literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Chiar et al. 2002; Moulta et al. 2004). Laboratuvar çalışmaları ve gözlemsel çalışmaların birleştirilmesiyle, yıldızlararası tozların içerdiği alifatik hidrokarbonların dağılımı Gökada merkezi bölgesi için belirlenmeye çalışılmıştır.

2 Laboratuvar Çalışmaları

Yıldızlararası toz benzeşikleri New South Wales Üniversitesi, Kimya Bölümünde, Moleküler Fotonik Laboratuvarlarında üretilmiştir. Laboratuvarda yıldızlararası toz benzeşikleri üretmek için yıldızlararası karbonlu tozların oluştuğu, karbonca zengin evrimleşmiş yıldızların atmosferi ve ilişkili olduğu çevre koşulları canlandırılmıştır. Başlangıç maddesi olarak asetilen (acetylene) ve izopren (isoprene) kullanılmıştır. Deneysel düzeneğe başlıca bir vakum haznesi ve bir mekanik pompa ile desteklenmiş bir difüzyon pompasından oluşmaktadır. Vakum haznesi, öncü moleküller ile zenginleştirilmiş taşıyıcı gazı içeri taşıyan bir atımlı enjeksiyon ve elektrik boşaltım özelliği olan bir medden oluşmaktadır. Yıldızlararası toz benzeşiği oluşturmak amacıyla, başlangıç molekülleri taşıyıcı gaz (argon) içerisinde seyreltilerek belirli frekanslar ile çok düşük dozlarda vakum haznesine enjekte edilerek basınç 10^{-4} Torr düzeyinde tutulmuştur. Meme atım süresi ve sıklığı değişken ($250 - 350 \mu\text{s}$ ve $10 - 50 \text{ Hz}$) olmak üzere her bir gaz atımına elektrik boşaltımı uygulanmıştır. Başlangıç molekülleri, enjeksiyon ile yaklaşık eş zamanlı olarak devreye giren bir elektrik boşaltımı (2000 V) kullanılarak alt türler parçalanmıştır. Bu şekilde yıldız çevresindeki benzer yoğunlukta ($n = 10^{10} - 10^{12}$ parçacık cm^{-3}) bir plazma oluşturulmuştur. Plazma içeriğindeki iyonlar, radikaller ve diğer kararsız alt türler birbirleri ile etkileşerek karmaşık kimyasal süreçler sonucunda yeni türleri oluşturmuşlardır. Oluşturulan plazma aynı zamanda boşluğa doğru ses hızını aşan (süpersonik) hızlarla genişlediğinden, ürünler parçacıklar halinde yoğunlaşarak vakum haznesinin dibinde yer alan toplama bölgesinde birikmişlerdir. Bu ürünler yıldızlararası toz benzeşiği (ISDA: Interstellar Dust Analogue) olarak, sırasıyla ISDA-asetilen (ISDA-acetylene) ve ISDA-izopren (ISDA-isoprene) olarak adlandırılmıştır.

2.1 IR Bölgede Tayf Analizi

Yıldızlararası toz benzeşiklerinin soğurma tayfları Bruker - VERTEX v70 FTIR tayfölcü kullanılarak incelenmiştir. Yıldızlararası toz benzeşikleri için farklı miktarda örnek ile tekrarlanan FTIR ölçümleri sonucu elde edilen tayflar bir arada değerlendirilerek ortalama tayflar elde edilmiştir. Elde edilen ortalama tayflar $3.4\mu\text{m}$ bölgesinde normalize edilerek, benzeşiklerin $3.4\mu\text{m}$ alifatik soğurma yapıları elde edilmiştir. Sonuçlar Gökada merkezi kaynağı (GCIRS 6E) doğrultusunda Pendleton et al. (1994) tarafından elde edilmiş tayfla karşılaştırılmış ve uyumlu bulunmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Yıldızlararası toz benzeşiklerinin FTIR ölçümleri sonucu $3.4\mu\text{m}$ bölgesinde elde edilen alifatik soğurma yapısının, Gökada Merkezi kaynağı (GCIRS 6E) doğrultusunda elde edilmiş (Pendleton et al. 1994) soğurma yapısı ile karşılaştırılması (Günay et al. 2018).

2.2 Katı Hal ^{13}C NMR Tayf Analizi

Yıldızlararası toz benzeşiklerinin ^{13}C NMR ölçümleri, Bruker Avance III 300 MHz Katı Hal NMR tayfölcü ile yapılmıştır. Yıldızlararası toz benzeşiklerinin içerdiği alifatik karbonun ağırlık oranı ölçümleri, referans madde olarak adaman-tan ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}$) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ISDA-izopren ve ISDA-asetilen için kütlece alifatik karbon (CH_2 ve CH_3) oranı sırasıyla % 29.50 ve % 14.50 olarak bulunmuştur.

2.3 Alifatik Hidrokarbon Toplam Soğurma Katsayıları

Yıldızlararası toz benzeşiklerinin toplam soğurma katsayısını ölçmek için FTIR ve ^{13}C NMR tayfölcümü tekniklerinden yararlanılmıştır. Kütlece tanımlanmış miktarda yıldızlararası toz benzeşiği, IR geçirgen bir katı zeminde (KBr) seyreltilerek örnekler hazırlanmıştır. Her bir örneğin soğurması (A_{10}) FTIR tayfölcü ile kaydedilmiştir. Alifatik hidrokarbonun toplam soğurmasını (A , cm^{-1}) elde etmek için $3.4\mu\text{m}$ alifatik soğurma yapılarının toplam alanları hesaplanmıştır. Yıldızlararası toz benzeşiklerinin bünyesinde bulunan alifatik karbon atomlarının kolon yoğunluğunu (N , cm^{-2}) bulmak için niceliksel ^{13}C NMR ölçümleri yapılmıştır. Yıldızlararası toz benzeşiklerinin toplam soğurma miktarının, alifatik karbon kolon yoğunluğuna göre değişimini gösteren grafikler (Şekil 2) elde edilmiştir. Grafiklerde, toplam soğurmanın kolon yoğunluğu ile doğrusal değiştiği görülmektedir. Toplam soğurma katsayıları (A), grafiklerdeki verilerin değişimini temsil eden doğruların eğimi kullanılarak ISDA-izopren için $4.76(8) \times 10^{-18} \text{ cm atom}^{-1}$ ve ISDA-asetilen için $4.69(1) \times 10^{-18} \text{ cm atom}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

3 Sonuç

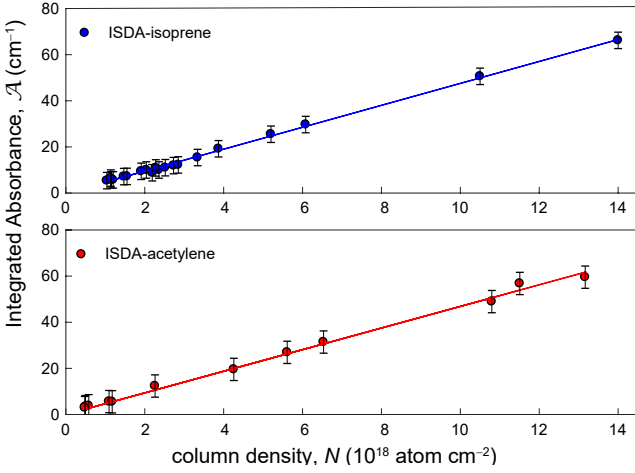
Yıldızlararası toz benzeşiklerinden elde edilen toplam soğurma katsayıları ve Chiar et al. (2002) tarafından elde edilmiş olan $\tau_{3.4}$ değerleri kullanılarak Gökada merkezi doğrultusundaki kaynaklar için alifatik karbon kolon yoğunlukları hesaplanmıştır (Çizelge 1). Bu amaçla, Gökada Merkezi kaynağı GCIRS 6E tayfından (Pendleton et al. 1994) yararlanılarak $3.4\mu\text{m}$ soğurma yapısı için FWHM değeri $\Delta\bar{\nu} = 108.515 \text{ cm}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Ayrıca, literatürden (Pendleton et al. 1994)

² Fourier transform infrared spectroscopy

³ Nuclear magnetic resonance spectroscopy

Çizelge 1. Gökada merkezi kaynakları doğrultusundaki yıldızlararası ortam için alifatik karbon bollukları.

Kaynaklar	IRS 1W	IRS 3	IRS 6E	IRS 7	IRS 8	IRS 12N	IRS 19	Ortalama	
$\tau_{3.4 \mu m}$	0.179	0.310	0.259	0.147	0.258	0.357	0.247	0.220	
$\mathcal{A}/\text{cm}^{-1}$	19.424	33.640	28.105	15.952	27.997	38.740	23.873	26.819	
ISDA-i	$N/10^{18} \text{ cm}^{-2}$	4.05	7.01	5.86	3.32	5.83	8.07	4.97	5.59
	ppm	66	115	96	54	95	132	81	91
ISDA-a	$N/10^{18} \text{ cm}^{-2}$	4.13	7.16	5.98	3.39	5.96	8.24	5.08	5.71
	ppm	68	117	98	55	97	135	83	93

**Şekil 2.** Yıldızlararası toz benzeşiklerinin (ISDA) toplam soğurma miktarının \mathcal{A} (cm^{-1}), alifatik karbon kolon yoğunluğuna (N , cm^{-2}) göre değişimi (Günay et al. 2018).

alınan $3.4 \mu\text{m}$ optik derinlik tayf verileri kullanılarak GCIRS 6E doğrultusu için hesaplamalar tekrarlanmıştır. Chiar et al. (2002) tarafından elde edilmiş olan $\tau_{3.4}$ değerleri kullanılarak, GCIRS 6E doğrultusu için elde edilen alifatik karbon kolon yoğunlukları ISDA-izopren ve ISDA-asetilen verileri ile sırasıyla 5.86×10^{18} atom cm^{-2} ve 5.98×10^{18} atom cm^{-2} olarak bulunmuştur (Çizelge 1). GCIRS 6E optik derinlik tayfindan (Pendleton et al. 1994) elde edilen toplam soğurmaya göre alifatik karbon kolon yoğunlukları, ISDA-izopren ve ISDA-asetilen verileri kullanılarak sırasıyla 4.87×10^{18} atom cm^{-2} ve 4.97×10^{18} atom cm^{-2} olarak hesaplanmıştır. Her iki yöntemle elde edilen değerler, GCIRS 6E doğrultusu için literatürde bildirilen (Pendleton et al. 1994) alifatik karbon kolon yoğunluklarına göre (CH_3 için 3.1×10^{17} atom cm^{-2} ve CH_2 için 6.2×10^{17} atom cm^{-2}) en az 5 kat daha yüksektir.

Elde edilen alifatik karbon kolon yoğunlukları hidrojen kolon yoğunluğuna göre normalize edilmiştir. Normalize alifatik karbon bollukları (C/H) (ppm), $A_V \sim 30$ mag (Sandford et al. 1991) ve $N(\text{H}) = 2.04 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2} \text{ mag}^{-1} \text{ H}$ (Zhu et al. 2017) kabul edilerek hesaplanmıştır. Gökada merkezi kaynakları doğrultuları için alifatik karbon için normalize edilmiş bolluklar elde edilmiştir (Çizelge 1). Gökada merkezi kaynakları doğrultusundaki yıldızlararası ortam için, minimum ve maksimum alifatik karbon bollukları ISDA-izopren ve ISDA-asetilen verilerine dayanarak sırasıyla 54 - 132 ppm ve 55 - 135 ppm olarak hesaplanmıştır. Toplam karbon bollukları ise ISDA-asetilen ve ISDA-izopren benzeşiklerinin alifatik karbon / toplam kar-

bon oranına dayanarak sırasıyla, 95 - 231 ppm ve 146 - 354 ppm değerleri arasında bulunmuştur. Gökada merkezi kaynakları için Chiar et al. (2002) tarafından belirtilmiş $\tau_{3.4}$ değerlerinin ortalaması alınarak, bölge için ortalama bir optik derinlik değeri hesaplanmıştır. Bu ortalama optik derinlik değeri ve benzeşikler için elde edilen katsayılar kullanılarak ortalama alifatik karbon bollukları hesaplanmıştır (Çizelge 1). Bu şekilde ISDA-izopren ve ISDA-asetilen verilerine dayanarak elde edilen ortalama toplam karbon bolluğu değerleri sırasıyla 160 ppm ve 245 ppm olup, kozmik karbon bolluğu değerleri ile uyumlu bulunmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK Yurtdışı Araştırma Burs Programı 2214-A ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Asplund M., Grevesse N., Sauval A. J., Scott P., 2009, *ARA&A*, 47, 481
- Cardelli J. A., Clayton G. C., Mathis J. S., 1989, *ApJ*, 345, 245
- Chiar J. E., Adamson A. J., Pendleton Y. J., Whittet D. C. B., Caldwell D. A., Gibb E. L., 2002, *ApJ*, 570, 198
- Contreras C. S., Salama F., 2013, *ApJS*, 208, 6
- Fitzpatrick E. L., 1999, *PASP*, 111, 63
- Grevesse N., Sauval A., 1998, *Space Sci. Rev.*, 85, 161
- Günay B., Schmidt T. W., Burton M. G., Afşar M., Nauta K., Krechkivska O., Kable S. H., Rawal A., 2018, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 479, 4336
- Lodders K., 2003, *ApJ*, 591, 1220
- Moultaka J., Eckart A., Viehmann T., Mouawad N., Straubmeier C., Ott T., Schödel R., 2004, *A&A*, 425, 529
- Pascoli G., Polleux A., 2000, *A&A*, 359, 799
- Pendleton Y. J., Sandford S. A., Allamandola L. J., Tielens A. G. G. M., Sellgren K., 1994, *ApJ*, 437, 683
- Przybilla N., Nieva M.-F., Butler K., 2008, *ApJL*, 688, L103
- Sandford S. A., Allamandola L. J., Tielens A. G. G. M., Sellgren K., Tapia M., Pendleton Y., 1991, *ApJ*, 371, 607
- Snow T. P., Witt A. N., 1995, *Science*, 270, 1455
- Sofia U. J., Meyer D. M., 2001, *ApJ*, 554, L221
- Zhu H., Tian W., Li A., Zhang M., 2017, *MNRAS*, 471, 3494
- d'Hendecourt L. B., Allamandola L. J., 1986, *A&ASS*, 64, 453

Erişim:

O53-1420: UAK-2018 Program — UAK Bildiri — Turkish J.A&A.