

Soğuk Gaz ve Toz: Erken Tür Galaksilerde Spiral Şeklinde Yapılar

Mustafa Kürşad Yıldız^{1,2*}, Pierre-Alain Duc³, Reynier F. Peletier⁴, Paolo Serra⁵

¹ Astronomy and Space Sciences Department, Science Faculty, Erciyes University, Kayseri, Turkey

² Erciyes University, Astronomy and Space Sciences Observatory Applied and Research Center (UZAYBİMER), 38039, Kayseri, Turkey

³ Université de Strasbourg, CNRS, Observatoire astronomique de Strasbourg, UMR 7550, F-67000 Strasbourg, France

⁴ Kapteyn Astronomical Institute, University of Groningen, P. O. Box 800, 9700 AV Groningen, Netherlands

⁵ INAF - Osservatorio Astronomico di Cagliari, Via della Scienza 5, I-09047 Selargius (CA), Italy

Özet

Nötr hidrojenin (HI) ve moleküler gazın radyo gözlemleri erken-tür galaksilerin yaklaşık olarak yarısının soğuk gaza sahip olduğunu gösterdi. Moleküler gaz genellikle merkezi bölgelerde bulunsada, HI yıldız diskinden çok daha ötelere yayılmış şekilde tespit edilmiştir. Bunların ötesinde erken tür galaksiler toz yapısında göstermektedirler. Bu galaksilerde bulunan soğuk gaz ve toz arasındaki ilişkiyi anlayabilmek için Canada-France-Hawaii Teleskopunda bulunana MegaCam kamerası ile derin optik görüntüler ile birlikte Westerbork radyo teleskopundan gelen radyo verileri birleştirilerek bir araştırma gerçekleştirdik. Bu çalışma sonucunda tüm HI zengini erken tür galaksilerin toz yapısına sahip olduklarını tespit ettik. Bulunan toz yapılarının genellikle spiral ya da düzensiz bir formda oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: galaxies: elliptical and lenticular, cD, Radyo Astronomisi

1 Giriş

Bütünleşik alan tayfı, bir çok dev eliptik (neredeyse tamamı) erken-tür galaksinin (ETG) iç bölgelerinde ($<1 R_{eff}$) hızlı dönen bir bileşeni olduğunu göstermiştir (örn., Bundy et al. 2015). İyonize olmuş gaz da aynı iç bölgelerde tespit edilmiştir (örn., Gavazzi et al. 2018). Bütünleşik alan tayfı kullanan çalışmalar küçük/dar görüntüleme alanlarından ötürü galaksilerin iç bölgelerine yoğunlaşmışlardır (örn., Cappellari et al. 2011a; Weijmans et al. 2014). Derin-optik görüntülerse galaksileri merkezlerinden uzak olan bölgelerini de çalışabileceğimizi göstermiştir (Duc et al. 2014, 2015; Karabal et al. 2017). Bunun yanında derin-optik görüntüler sadece dış bölgelerde değil iç bölgelerde de iyi veri kalitesi sunmaktadır.

Radyo ve milimetre-altı gözlemleri, erken-tür galaksilerde soğuk gaz formunda (nötr hidrojen (HI) ya da karbonmonoksit molekülü (CO)) disk yapıları olduğunu göstermiştir (örn., van Driel & van Woerden 1991; Oosterloo et al. 2010). Erken-tür galaksiler üzerine yapılmış olan ATLAS^{3D} projesi sonucunda tüm ETG'lerin neredeyse yarısının soğuk gaz yapılarına sahip oldukları keşfedilmiştir (Young et al. 2011; Serra et al. 2012). Moleküler gaz, iç bölgelerde yoğunlaşırken (Alatalo et al. 2013; Davis et al. 2013), HI disk ya da yüzük yapısı şeklinde bu galaksilerin yıldızsal yapılarından çok daha geniş alana yayılmaktadır (Serra et al. 2012). Bu gazın kolon yoğunluğunun yeterli derecede yüksek olması durumunda, yıldız oluşum etkinliğinin spiral galaksilerin dış bölgelerinde benzer şekilde olacağı bildirilmiştir (Yıldız et al. 2015, 2017).

Erken-tür galaksilerdeki gaz disklerinin varlığı göz önüne alındığında, bu sistemlerde toz yapılarının da bulunması şartıdır. ETG'lerdeki toz yapılarının varlığı literatürde uzun bir süredir bilinmekte ve tartışılmaktadır (örn., Sadler & Gerhard 1985; Goudfrooij et al. 1994). Örneğin Simões

Lopes et al. (2007), Hubble Uzay Teleskobu ile yaptıkları çalışmalarında erken-tür galaksilerin en iç bölgelerinde toz yapısının kompleks bir dağılımda olduğunu gözlemlemiştir.

ETG'lerdeki toz yapıları sadece optik bantlarda soğurma şeklinde değil aynı zamanda kırmızı-öte bantlarda salma şeklinde de tespit edilmiştir. Örneğin di Serego Alighieri et al. (2013) ve Martini et al. (2013), Herschel ve Spitzer uzay teleskobu gözlemlerini kullanarak ETG'lerin 10^5 ile $10^7 M_{\odot}$ arasında toz kütlesine sahip olduklarını ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, Hubble uzay teleskobu verilerine göre biraz daha az açılabilir çözünürlüğe sahip ancak çok daha yüksek radyal kapsama sahip yerkürede bulunan teleskoplarla alınmış derin-optik görüntüler analiz edilmiştir. Derin-optik görüntülerle HI ve CO görüntüleri beraber kullanılarak gaz ve toz arasındaki ilişki; derin renk görüntüleri (g-r) kullanılarak da tozun dağılımı çalışılmıştır.

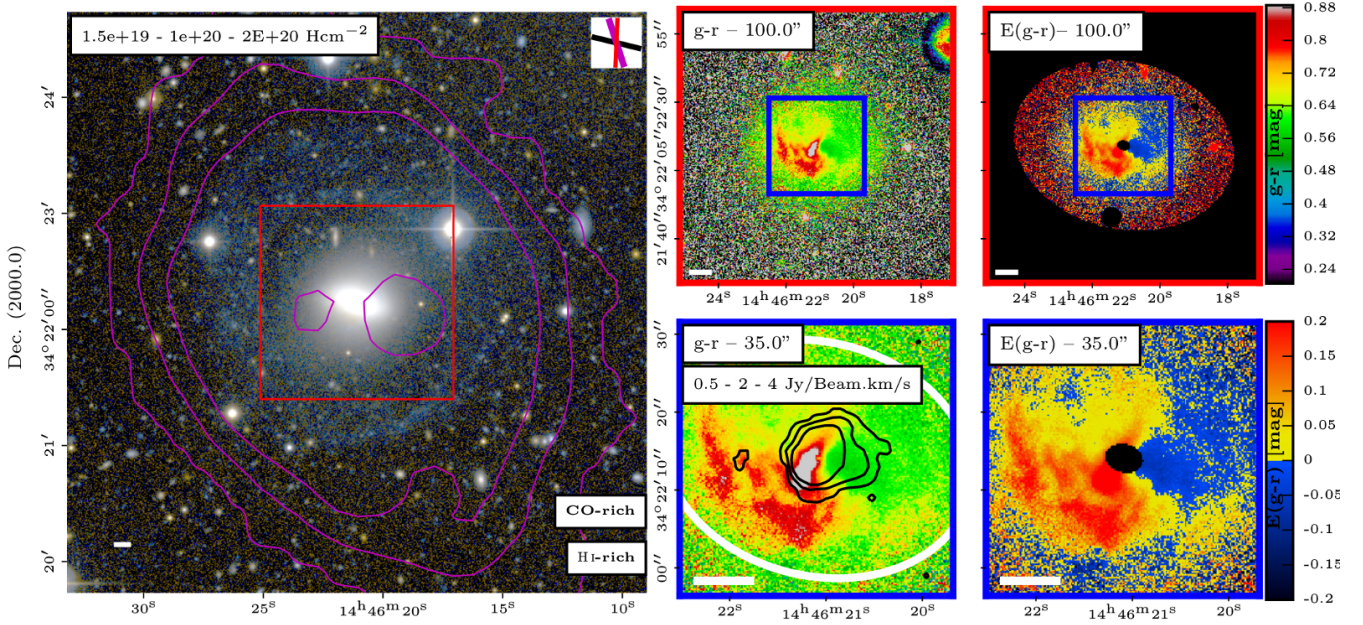
2 Gözlem ve Analiz

Toz ve gaz arasındaki ilişkiyi çalışabilmek için gaz zengini ve fakiri olmak üzere iki örneklem oluşturulmuştur. Burada kullanılan galaksiler, birkaçı hariç olmak üzere, Yıldız et al. (2017) çalışmasından alınmıştır.

HI-fakir kontrol örnekleme kurulumu aşağıdaki kriterler göz önüne alınmıştır:

- Yıldız kütlesi M_{*} (Cappellari et al. 2013) +/- 0.8 dex arasında;
- çevre yoğunluğu Σ_3 (Cappellari et al. 2011b)¹ +/- 0.8 dex aralığında;
- Virgo küme üyesi olmama (Cappellari et al. 2011a);
- kinematik sınıflama (hızlı- ya da yavaş dönen; Emsellem et al. 2011);

¹ Hedef galaksi merkezde olmak üzere, yüksekliği $h = 600 \text{ km s}^{-1}$ olan bir silindir içerisindeki galaksilerin ortalama yüzey yoğunluğu.



Şekil 1. Sol: UGC 09519 galaksisinin H I kolon yoğunluğu konturlarıyla (macenta) birlikte gerçek renk görüntüsü. Gerçek renk görüntüsünün boyutu 300×300 arcsec². Sağ-üst köşede pozisyon açıları belirtilmiştir. Üst-orta: $g' - r'$ görüntüsü. Boyutu 100×100 arcsec² olup, sol panelde kırmızı kutu ile belirtilmiştir. Üst-sağ: $E(g' - r')$ renk artışı haritası (100×100 arcsec²). Alt-orta: 35×35 arcsec² alanı kaplayan $g' - r'$ görüntüsü (üst panelde mavi kutu ile gösterilmiştir). Bu panelde siyah çizgiler CO şiddet konturlarını göstermektedir (see Alatalo et al. 2013). Beyaz elips, görsel olarak belirlenmiş toz çapını gösteriyor. Alt-sağ: $E(g' - r')$ renk artışı haritası (35×35 arcsec²). Panellerdeki beyaz çubuk 1 kpc uzaysal uzunluğu ifade ediyor.

e. uzaklık (Cappellari et al. 2011a) ± 15 Mpc aralığında.

Böylece, 21 H I-zengini ETG için 41 H I-fakir kontrol örneklem galaksisi seçilmiştir. Aşağıda, kullanılan H I-zengin ve fakir kontrol örneklemelerindeki galaksilerin isimleri verilmiştir.

H I-zengini ETG'ler: NGC 2594, NGC 2685, NGC 2764, NGC 2859, NGC 3414, NGC 3522, NGC 3619, NGC 3626, NGC 3838, NGC 3941, NGC 3945, NGC 3998, NGC 4036, NGC 4203, NGC 4278, NGC 5173, NGC 5582, NGC 5631, NGC 6798, UGC 06176, UGC 09519

H I-fakiri ETG'ler: NGC 0661, NGC 0770, NGC 2549, NGC 2577, NGC 2592, NGC 2679, NGC 2852, NGC 2950, NGC 3098, NGC 3230, NGC 3245, NGC 3248, NGC 3301, NGC 3377, NGC 3400, NGC 3458, NGC 3605, NGC 3610, NGC 3613, NGC 3648, NGC 3658, NGC 3665, NGC 3674, NGC 3757, NGC 3796, NGC 4078, NGC 4283, NGC 5273, NGC 5308, NGC 5322, NGC 5342, NGC 5473, NGC 5485, NGC 5500, NGC 5611, NGC 6547, NGC 6548, NGC 7457, PGC 050395, UGC 04551, UGC 08876.

Bu çalışmada kullanılan derin-optik görüntüler, Canada-France-Hawaii Telescope teleskobu üzerinde bulunan MegaCam kamerasıyla g' ve r' bantlarında MATLAS / ATLAS^{3D}2 programı çerçevesinde alınmıştır. Burada okuyucuya elde edilen görüntülerin 28.5 mag arcsec⁻² gibi çok düşük yüzey parlaklığı seviyesine ulaştığını hatırlatmak isteriz. Bu çalışma için arkaplan çıkartılması ve nokta-yayımlı-fonksiyonu eşitleme gibi ek işlemler uygulanmıştır. Sonuç olarak aynı çözünürlüğe getirilmiş g' ve r' bantları ile renk görüntüleri elde edilmiştir.

² Duc et al. (2015) derin gözlemler ve veri analizini detaylarıyla anlatmaktadır.

Galaksilerdeki yıldızlardan kaynaklı oluşan renk katkısını giderebilmek yani renk artığını elde edebilmek için, toz-bağımsız renk profilleri oluşturup galaksilerin tozsuz halleri modellenmiştir³. Şekil 1, UGC 09519 için elde edilen renk ve renk artışı görüntülerini içermektedir.

Bu çalışmada toz kütlelerini, literatürde sıklıkla kullanılan optik dalgaboylarındaki toplam sönmüleme yöntemi ile hesapladık (örn., Goudfrooij et al. 1994; Patil et al. 2007; Finkelman et al. 2012).

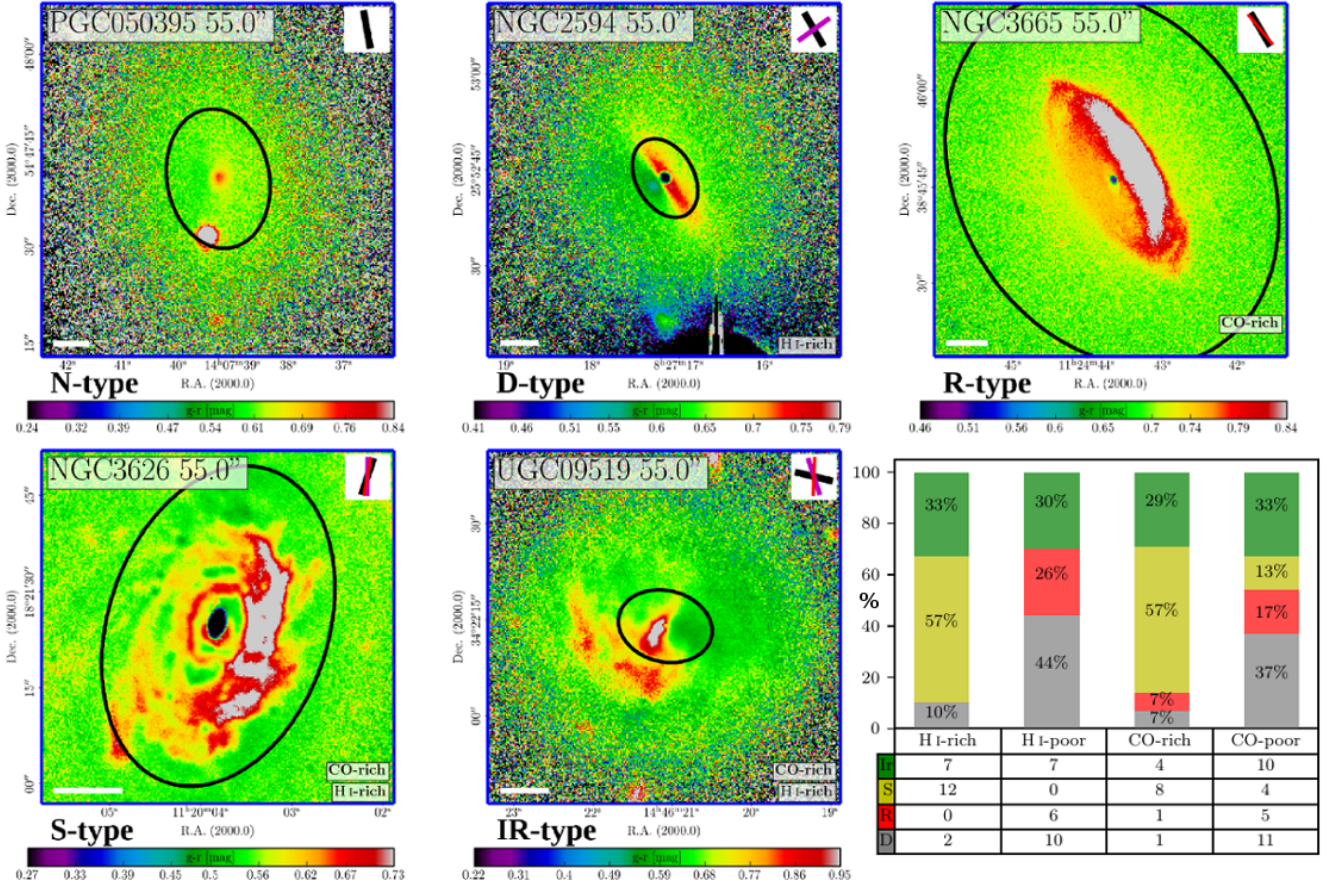
3 Sonuçlar

1- Tüm H I zengini erken-tür galaksilerde toz yapısı gözlemlenirken, H I fakir galaksilerin sadece yüzde 56'sı toz barındırmaktadır. ETG'lerdeki toz yapısı toplamda 5 bölüme ayrılmıştır (Bknz. Şekil 2). H I zengini ETG'lerde çoğunlukla spiral kollar şeklinde görülen toz, H I fakiri galaksilerdeki basit dağılım gösteren toz yapılarına göre ortalama iki kat daha geniş alana yayılmıştır.

2- Sadece dış bölgelerinde H I gözlenen ETG'lerde merkezlerinde toz bulundurmaktadır. Buda nötral gazın konumu ne olursa olsun galaksideki toz ile bir ilişkisi olduğunu gösterir. Bunun yanında, kompleks ve geniş dağılım gösteren tozun, harici kaynaklardan geldiği sonucuna varılmıştır.

3- Ortalama toz kütleleri, gaz-zengini galaksilerde (CO veya H I) gaz fakiri olanlara göre altı kat daha fazladır. Toz kütleleri ve optik lüminosite arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Bu ilişkisizlik, yıldız evrimi neticesinde oluşabilecek toz kütle-

³ İşlemin ayrıntılı aşamalarını Yıldız ve ark. (2019, submitted) çalışmasında bulabilirsiniz.



Şekil 2. Bu çalışma ile belirlenen beş toz sınıfı. $1 R_{eff}$ etkin yarıçap siyah elips ile gösterilmiştir. Beyaz ölçek 1 kpc uzaysal uzunluğu göstermektedir. Her bir panelde değişik galaksi yapılarının pozisyon açıları verilmiştir. Siyah çizgi optik diskin [Krajinović et al. \(2011\)](#); mor çizgi H I diskin [Serra et al. \(2014\)](#); kırmızı çizgi ise CO diskin [Alatalo et al. \(2013\)](#) pozisyon açısını göstermektedir. Alt-sağ köşedeki panelde gaz içeriklerine göre toz içeren galaksi sayıları histogram ve tablo şeklinde gösterilmiştir. Yüzdeler oranları çubukların üzerinde verilmiştir.

sinde çok daha fazlasının gözlemlendiğini ve böylece önceki sonucumuz olan "toz için harici kaynak" fikrini desteklemektedir.

[Yıldız et al. \(2017\)](#) ETG'lerin en dış bölgelerinde bulunan ($> 3 R_{eff}$) gazın ortalama tükenme zamanını ~ 100 Gyr olarak hesaplamıştır. Bu da sürekli bir gaz / toz kaynağı anlamına gelmektedir. Yukarıdaki sonuçlarımızla birleştirdiğimizde, erken tür galaksilerde toz ve H I varlığı arasında belirgin bir ilişki olduğu kararına varıyoruz.

Kaynaklar

- Alatalo K., et al., 2013, *MNRAS*, 432, 1796
 Bundy K., et al., 2015, *ApJ*, 798, 7
 Cappellari M., et al., 2011a, *MNRAS*, 413, 813
 Cappellari M., et al., 2011b, *MNRAS*, 416, 1680
 Cappellari M., et al., 2013, *MNRAS*, 432, 1709
 Davis T. A., et al., 2013, *MNRAS*, 429, 534
 Duc P.-A., Paudel S., McDermid R. M., Cuillandre J.-C., Serra P., Bournaud F., Cappellari M., Emsellem E., 2014, *MNRAS*, 440, 1458
 Duc P.-A., et al., 2015, *MNRAS*, 446, 120
 Emsellem E., et al., 2011, *MNRAS*, 414, 888
 Finkelman I., Brosch N., Funes J. G., Barway S., Kniazev A., Väisänen P., 2012, *MNRAS*, 422, 1384
 Gavazzi G., Consolandi G., Pedraglio S., Fossati M., Fumagalli M., Boselli A., 2018, *A&A*, 611, A28

- Goudfrooij P., de Jong T., Hansen L., Norgaard-Nielsen H. U., 1994, *MNRAS*, 271, 833
 Karabal E., Duc P.-A., Kuntschner H., Chaniel P., Cuillandre J.-C., Gwyn S., 2017, *A&A*, 601, A86
 Krajinović D., et al., 2011, *MNRAS*, 414, 2923
 Martini P., Dicken D., Storch-Bergmann T., 2013, *ApJ*, 766, 121
 Oosterloo T., et al., 2010, *MNRAS*, 409, 500
 Patil M. K., Pandey S. K., Sahu D. K., Kembhavi A., 2007, *A&A*, 461, 103
 Sadler E. M., Gerhard O. E., 1985, *MNRAS*, 214, 177
 Serra P., et al., 2012, *MNRAS*, 422, 1835
 Serra P., et al., 2014, *MNRAS*, 444, 3388
 Simões Lopes R. D., Storch-Bergmann T., de Fátima Saraiva M., Martini P., 2007, *ApJ*, 655, 718
 Weijmans A.-M., et al., 2014, *MNRAS*, 444, 3340
 Yıldız M. K., Serra P., Oosterloo T. A., Peletier R. F., Morganti R., Duc P.-A., Cuillandre J.-C., Karabal E., 2015, *MNRAS*, 451, 103
 Yıldız M. K., Serra P., Peletier R. F., Oosterloo T. A., Duc P.-A., 2017, *MNRAS*, 464, 329
 Young L. M., et al., 2011, *MNRAS*, 414, 940
 di Serego Alighieri S., et al., 2013, *A&A*, 552, A8
 van Driel W., van Woerden H., 1991, *A&A*, 243, 71

Erişim:

O42-1120: [UAK-2018 Program](#) — [UAK Bildiri](#) — [Turkish J.A&A](#).