



DAG Odak Düzlemi Aygıtları: Türk Gözlemsel Astronomisinde Yeni Dönem

Sinan Kaan Yerli¹, Cahit Yeşilyaprak^{2,3}, Tolga Güver⁴, Onur Keskin⁵, Sinan Aliş⁴

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, Ankara.

²Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Astrofizik Bölümü, Erzurum,

³Atatürk Üniversitesi, Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi, Erzurum, Türkiye.

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

⁵FMV Işık Üniversitesi, Makine Mühendisliği, İstanbul.

Özet: Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) projesi kapsamında 4 m'lik teleskop ve kubbe üretimi, tüm altyapı çalışması, gözlemevi ve servis binaları yapılmaktadır. Projenin ikinci aşaması olan "DAG Odak Düzlemi Aygıtları (ODA) ve Adaptif Optik Sistemi" çalışmasıysa Kalkınma Bakanlığına sunulmuş ve Mayıs 2016'da kabul edilmiştir. Proje kapsamında DAG teleskobu için ODA yelpazesi üretilecektir. Aynı zamanda, Türk astronomisinin bir başka eksiğini de giderilecek; farklı kapsamlarda dört ayrı laboratuvar da kurulacaktır. (1) DAG Optomekatronik Araştırma Lab'ı (Atatürk Üni./OPAL): Tüm ODA, (2) Optomekatronik Lab'ı (Işık Üni./OPAM): AO ve optomekanik üretim, (3) Astronomi Optiği Lab'ı (ODTÜ/AOL): Gözlemevi aygıtlarına servis, (4) Gözlem Aleti Geliştirme Lab'ı (İstanbul Üni./ÜGUAM): Yeni kuşak gözlem aygıtları.

Anahtar Kelimeler: Doğu Anadolu Gözlemevi, Odak Düzlemi Aygıtları, Proje Yönetimi.

1. Giriş

Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) projesinin gelişimi ve aşamaları UAK-2015'te (Yeşilyaprak v.a, 2018a) ve UAK-2106'da (Yeşilyaprak v.a, 2018b) verilmiştir. Özetle, DAG Projesi kapsamında 4 m'lik teleskop ve kubbe üretimi, tüm altyapı çalışması (Atatürk Üniversitesi kampüsüyle zirve arasındaki fiber optik hat dahil), gözlemevi ve servis binaları başlatılmış ve başarıyla sürmektedir.

Bu bağlamda projenin tüm ayrıntıları (altyapı, mimari projesi, proje yönetimi, odak düzlemi aygıtları ve projenin geleceği), teleskoplar ve odak düzlemi aygıtları için önemli bir bilimsel ortam olan SPIE 2016 kongresinde bir seri yayımla da duyurulmuştur:

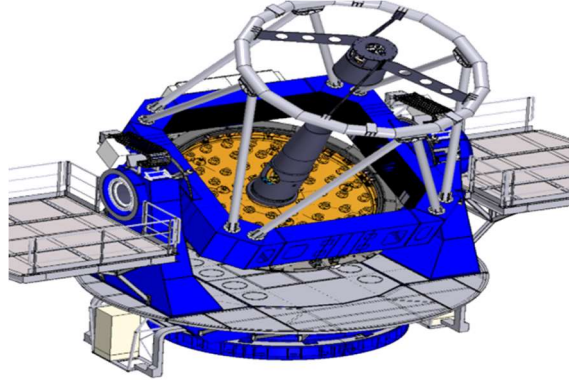
- Proje ve Altyapı:**
- Project management of DAG: Eastern Anatolia Observatory (Keskin v.a, 2016)
 - DAG: a new observatory and a prospective observing site for other potential telescopes (Yeşilyaprak v.a, 2016)
 - DAG telescope site studies and infrastructure for possible international co-operations (Yerli v.a, 2016)
 - Observatory building design: a case study of DAG with infrastructure and facilities (Şahmalı, A.E v.a, 2016)
 - Agile development approach for the observatory control software of the DAG 4m telescope (Güçsav v.a, 2016)
 - Auxiliary free space optical communication project to ensure continuous transfer of data for DAG the 4m telescope (Keskin v.a., 2016)
- Teleskop:**
- The DAG project, a 4m-class telescope: the telescope main structure performances (Marchiori v.a, 2016)
- Optik ve AO:**
- The design of an adaptive optics telescope: the case of DAG (Jolissaint v.a, 2016).
 - Active optics system for the 4m telescope of the Eastern Anatolia Observatory (DAG) (Lousberg v.a, 2016)
 - Integrated opto-dynamic modeling of the 4m DAG telescope image quality performance (Zago v.a, 2016)
- Odak Düzlemi:**
- Status of Focal Plane Instrumentation (FPI) project of the 4m DAG telescope (Keskin v.a, 2016)
 - Design and building of a derotator for the 4 m DAG telescope (Bauget v.a, 2016)
 - A microwave kinetic inductance detector for the DAG telescope (Güver v.a, 2016).

2. DAG Odak Düzlemi Aygıtları (DAG-ODA) ve DAG-ODA Projesi

DAG Projesinin ikinci aşaması olarak tanımladığımız "DAG Odak Düzlemi Aygıtları" için proje çalışmalarımız teleskop ve kubbe ihalesi sonrasında (2014) başlatılmış olsa da ancak Mayıs 2016'da Kalkınma Bakanlığınca onaylanıp bütçelendirilebilmiştir.

Proje kapsamında öncelikle 4 m'lik DAG teleskobunun her iki Nasyth odak düzlemine (bkz. Şekil 1) hem görünür (VIS), hem de yakın kızılötesi (NIR < 3 µm) dalgaboyunda; hem "AO İster", hem de "Görüş Sınırlı" yeteneği olacak aygıt yelpazesi seçilmesi gerekmektedir. DAG ve DAG-ODA ekipleri, her iki projenin de en can alıcı olan bu aşamasını doğru yürütebilmek adına bir öngörü çalışması başlatılacaktır².

²**Bildiri kitabı basımına özel gelişmeler:** Bu öngörü çalışması Kasım 2016'da başlatıldı. İlk sürüm Şubat 2017'de, ikinci sürüm de Temmuz 2017'de bitirildi. 2017 yılı sonuna kadar olası odak düzlemi aygıt seçenekleri için iki çağrıya çıkıldı. Aygıt yelpazesine son şeklini verme çalışmaları sürmektedir.



Şekil 1. İki Nasymth platform barındıran DAG teleskobunun son hali.

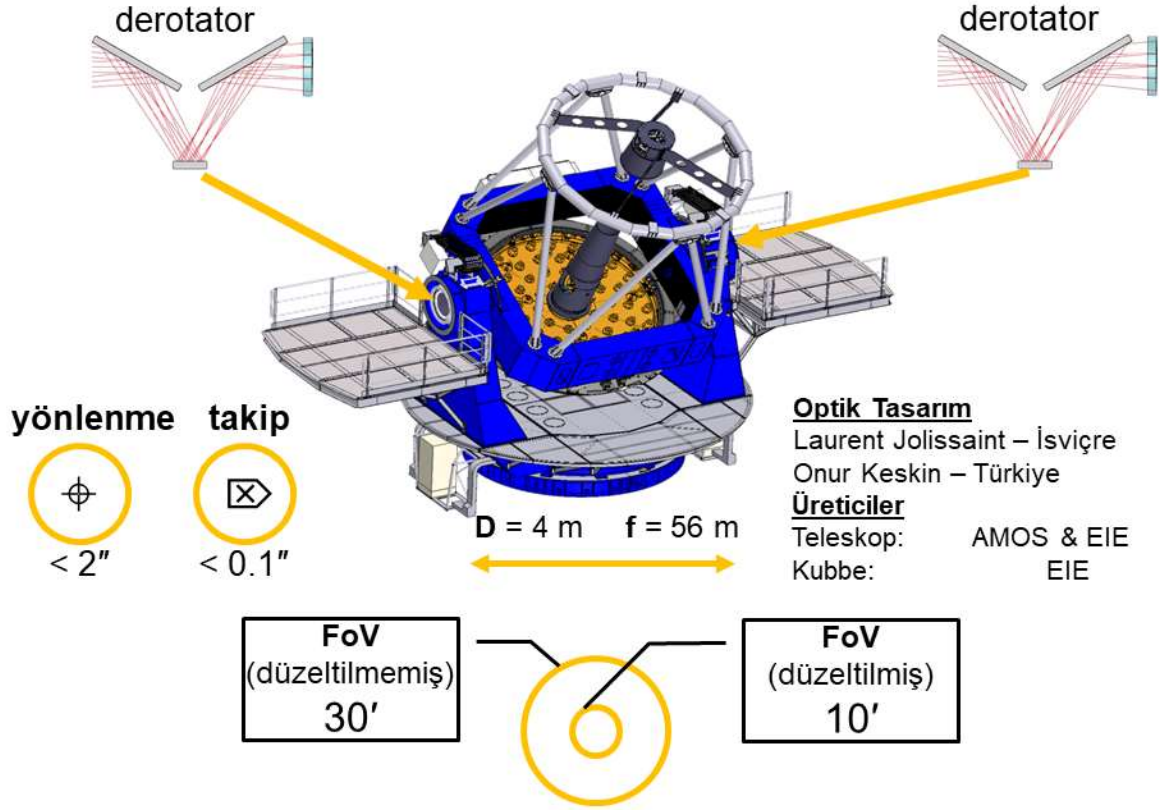
Bu öngörü çalışması öncesindeki “Başlangıç Planlamamız” Tablo 1’de verilmiştir. Bu tür bir öngörüye doğru ulaşabilmek için aldığımız ilkesel kararlar ve teleskop tasarımındaki değişiklikler şu yönde olmuştur:

- Oluşturacağı yönlenme ve takip hatalarından dolayı Cassegrain odaksız bir teleskop tasarlandı.
- Dolasıyla oluşturulan çift Nasymth odak M3 aynasıyla erişilebilir kılında.
- Optik yol (M1+M2+M3) her iki platforma en büyük düzeltilmemiş alanı platform flanjlaryla verebilecek biçimde optimize edildi.
- Her iki platform çoklu sayıda aygıt taşıma ve platform üstünde konumlandırabilme yeteneğine göre tasarlandı.
- Bir platform (N1) yalnızca AO için ayrıldı.
- Platform üstünde ODA dağıtımı M4 düz aynasıyla yapılacak (DAG-ODA projesi kapsamında).
- Yeni kuşak ODA’ların ilk örneklerinden birisi için bkz. Güver v.a. 2016.
- NIR Görüntüleyici ve MOS ODA’lar DAG teleskobunun amiral gemisi niteliğinde olacaklar.
- Klasik gözlem yükünü TUG’daki TFOSC’a karşılık gelecek “Görüntüleme+Tayf” ODA’sı yapacak.

Tablo 1. ODA platformları başlangıç öngörüsü.

	N1 (AO İster Platform)	N2 (Görüş Sınırlı Platform)
Işın Demeti Düzeltme	Tersine-Döndürücü (derotator)	Tersine-Döndürücü (derotator)
Platforma Dağıtım	M4-a	M4-b
Ana Dalgaboyu	NIR (< 3 μm)	VIS
AO	AÇIK KAPALI	-
Ana Demet	Yeni Kuşak ODA	MOS Aygıtı
Ana Demet – Sağa	NIR: Görüntüleyici	VIS: Görüntüleme + Tayf
Ana Demet – Sola	Yedek Odak	Yedek Odak

Bu öngörülerimiz ve teleskop yetenek ve özelliklerinin hepsi Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. DAG Teleskobunun ve optik özelliklerinin toplu gösterimi.

3. DAG-ODA Laboratuvarları

DAG-ODA projesi kapsamında, Türkiye astronomisinin geleceğine yön verecek 4 laboratuvar kurulacaktır.

- **DAG Optik Laboratuvarı (Atatürk Üniversitesi) – OPAL:**

DAG optik laboratuvarı Orta Doğu Teknik Üniversitesi, FMV Işık Üniversitesi ve İstanbul Üniversitesi'nde kurulacak altyapıların tamamlayıcısı olacaktır. Dolayısıyla teleskoba takılacak olan tüm ODA ve AO sistemlerinin bakım, onarım, arıza durumlarında yerinde ve en hızlı şekilde müdahale edilmesi ve/veya gerekli düzenlemelerin ileride varolacak sistemlerde gerçekleştirilmesi amacını güdecek, kritik önemde bir laboratuvar olacaktır

- **AO (Adaptif Optik) Laboratuvarı (FMV Işık Üniversitesi) – OPAM:**

AO Lab, DAG teleskobunun sınıfları arasında olmazsa olmazlarından olan adaptif optik sistemlerin ön tasarım, tasarım, sayısal modelleme, prototip üretim ve testleri, kontrol sistemi geliştirme ve asıl ürüne dönüştürebilme kabiliyetine sahip olması amacı ile kurulması planlanmıştır.

- **Astronomi Optiği Laboratuvarı (ODTÜ) –AOL:**

Bu laboratuvar öncelikle DAG'ın daha sonra da Türkiye'deki tüm gözlemevlerinin algılayıcı test, ölçüm ve temel bakımları için yurtdışına bağımlılığımızı azaltıp birinci elden hizmet vermesi için düşünülmüştür.

- **Gözlem Aleti Geliştirme Laboratuvarı (İÜ):**

Bu laboratuvarın kurulmasındaki temel amaç, İstanbul Üniversitesindeki ekibin yeni algılayıcıların tasarım ve üretim aşamaları boyunca süreci takip edebilmesi, üretildikten sonra ise karakterizasyonunun, testlerinin ve gerektiğinde temel bakımlarının yapılmasıdır.

4. DAG-ODA Son Durum

- DAG teleskobuna takılacak ODA'lar için "Bilimsel Hedefler" belirlenip, çağrıya çıkılacaktır.
- Bu çağrılarda hem Türk astronomisinin geçmişi hem de güncel astronomi konularının Türkiye'de gözlemsel açıdan çalışabilmesine olanak sağlanması hedeflenmektedir.
- Kurulacak laboratuvar yelpazesi için temel "optik laboratuvar" gereksinimlerin ötesinde ne tür ölçüm, test ve kalibrasyon yapılması gerektiği belirlenmiş ve buna uygun teçhizat envanteri oluşturulmuştur.



- Laboratuvarların DAG'ın açılışından önce çalıştırılması hedeflenmektedir.

5. Kaynaklar

- Bauget, J.; Jolissaint, L.; Keskin, O.; Yeşilyaprak, C.; Yerli, S.K., 2016, “*Design and building of a derotator for the 4 m DAG telescope*”, Proc. SPIE 9908, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy VI, 99085L, SPIE-2016.
- Güçsav, B.B., Çoker, D., Yeşilyaprak, C.; Keskin, O.; Zago, L.; Yerli, S.K., 2016, “*Agile development approach for the observatory control software of the DAG 4m telescope*”, Proc. SPIE 9913, Software and Cyberinfrastructure for Astronomy VI, 991333, SPIE-2016.
- Güver, T., Mazin, B.A.; O'Brien, K.; Kay, B.; Aliş, S.; Yelkenci, F.K.; Yeşilyaprak, C.; Erol, A.; Keskin, O., 2016, “*A microwave kinetic inductance detector for the DAG telescope*”, Proc. SPIE 9915, High Energy, Optical, and Infrared Detectors for Astronomy VII, 99152P, SPIE-2016.
- Jolissaint, L.; Keskin, O.; Zago, L.; Yerli, S.K.; Yeşilyaprak, C.; Mudry, E.; Lousberg, G., 2016, “*The design of an adaptive optics telescope: the case of DAG*”, Proc. SPIE 9906, Ground-based and Airborne Telescopes VI, 99063J, SPIE-2016.
- Keskin, O.; Yerli, S.K.; Yeşilyaprak, C.; Güver, T.; Aliş, S.; Yelkenci, F.K.; Güçsav, B.B.; Özbey Arabacı, M.; Erol, A., 2016 “*Status of Focal Plane Instrumentation (FPI) project of the 4m DAG telescope*”, Proc. SPIE 9908, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy VI, 99085I, SPIE-2016.
- Keskin, O.; Yeşilyaprak, C.; Yerli, S.K., 2016, “*Auxiliary free space optical communication project to ensure continuous transfer of data for DAG the 4m telescope*”, Proc. SPIE 9912, Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation II, 991273, SPIE-2016.
- Keskin, O.; Yeşilyaprak, C.; Yerli, S.K.; Zago, L., 2016, “*Project management of DAG: Eastern Anatolia Observatory*”, Proc. SPIE 9911, Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy VI, 99110S, SPIE-2016.
- Lousberg, G.P., Mudry, E.; Bastin, C.; Schumacher, J-M.; Gabriel, E.; Pirnay, O.; Flebus, C., 2016, “*Active optics system for the 4m telescope of the Eastern Anatolia Observatory (DAG)*”, Proc. SPIE 9912, Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation II, 99126F, SPIE-2016.
- Marchiori, G.; Busatta, L.; Ghedin, L.; Marcuzzi, E.; Manfrin, C.; Battistel, C.; Pirnay, O.; Flebus, C.; Yeşilyaprak, C.; Keskin, C.; Yerli, S.K., 2016, “*The DAG project, a 4m-class telescope: the telescope main structure performances*”, Proc. SPIE 9906, Ground-based and Airborne Telescopes VI, 990662, SPIE-2016.
- Şahmalı, A.E.; Yeşilyaprak, C.; Yerli, S.K.; Keskin, O., 2016, “*Observatory building design: a case study of DAG with infrastructure and facilities*”, Proc. SPIE 9911, Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy VI, 99112S, SPIE-2016.
- Yerli, S.K.; Yeşilyaprak, C.; Keskin, O.; Aliş, S., 2016, “*DAG telescope site studies and infrastructure for possible international co-operations*”, Proc. SPIE 9910, Observatory Operations: Strategies, Processes, and Systems VI, 99102J, SPIE-2016.
- Yerli, S.K.; Yeşilyaprak, C.; Keskin, O.; Güver, T., 2018, “*DAG Odak Düzlemi Araçları: Hedefler ve Seçenekler*”, UAK-2015, 19. Ulusal Astronomi Kongresi, Ankara
- Yeşilyaprak, C.; Yerli, S.K.; Keskin, O.; Güçsav, B.B., 2016, “*DAG: a new observatory and a prospective observing site for other potential telescopes*”, Proc. SPIE 9910, Observatory Operations: Strategies, Processes, and Systems VI, 99102U, SPIE-2016.
- Yeşilyaprak, C., 2018a, “*DAG Projesi: Dünü, Bugünü ve Geleceği*”, UAK-2015, 19. Ulusal Astronomi Kongresi, Ankara.
- Yeşilyaprak, C., 2018b, “*Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG): Son Gelişmeler*”, UAK-2016, 20. Ulusal Astronomi Kongresi, Erzurum.
- Zago, L.; Guex, B.; Yeşilyaprak, C.; Yerli, S.K.; Keskin, O., 2016, “*Integrated opto-dynamic modeling of the 4m DAG telescope image quality performance*”, Proc. SPIE 9911, Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy VI, 991128, SPIE-2016.



$z = 0.05 - 0.3$ Galaksilerinde CO Tully-Fisher İlişkisi

Selçuk TOPAL^{1,2*}

¹Van 100. Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Van, Türkiye.

²University of Oxford, Department of Physics, Sub-department of Astrophysics, Oxford, The UK.

Özet: Tully-Fisher ilişkisi (TFR) galaksilerin ışınım gücü ile dönme hızları arasındaki lineer bir ilişkidir. Bu çalışmada, $z = 0.05 - 0.3$ arasındaki evrende seçilen galaksilerde, ilk kez kinematik belirteç olarak karbon monoksit (CO) gazı kullanılarak TFR ilişkisi araştırılmıştır. Yapılan en iyi fit sonuçlarına göre, yerel ve orta- z evrende yer alan galaksiler arasında ne ışınım gücü ne de kütle (hem yıldız kütlesi hem de baryonic kütle) açısından kayda değer bir evrim bulunmamıştır. Bu çalışma, literature kazandırmış olduğu $z = 0.05 - 0.3$ galaksilerinde yapılan ilk CO TFR çalışması olmasının yanı sıra, TFR çalışmalarında uzun süredir kullanılan nötral hidrojen (HI) gazı yerine CO'nun, özellikle daha uzaktaki galaksiler için, iyi bir alternatif olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, çalışmamız daha uzaktaki galaksiler için yapılacak gelecek CO TFR çalışmaları için önemli bir referans olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: galaksiler, disk galaksiler, moleküler gas, galaksi evrimi

Abstract: The Tully-Fisher relation (TFR) is an empirical relation between galaxy luminosity and rotation velocity. We present here the first TFR of galaxies beyond the local Universe that uses carbon monoxide (CO) as the kinematic tracer. We find no significant evolution in the slopes and zero-points of the TFRs since $z \approx 0.3$, this in either luminosity or mass. We more generally find that CO is a suitable and attractive alternative to neutral hydrogen (HI). Our work thus provides an important benchmark for future higher redshift CO TFR studies.

Key Words: galaxies, disc galaxies, molecular gas, evolution of galaxies

1. Giriş

Tully-Fisher ilişkisi (TFR; Tully & Fisher 1977) bir galaksinin ışınım gücü (toplam yıldız kütesinin bir belirteci) ile onun dönme hızı (toplam kütenin belirteci) arasında olan, iyi çalışılmış bir ampirik ilişkidir. İlişki, yakın çevre galaksilerde, görel ve yakın kırmızı-öte dalga boyları kullanılarak, sıkça çalışılmıştır. TFR birçok farklı türden disk galakside çalışılabilirdiği için, galaksilerin toplam kütle-ışınım gücü oranı (M/L) ve galaksi toplam kütlesi arasındaki bağlantıyı araştırmak için kullanılan kullanışlı bir yöntemdir.

TF ilişkisinin sadece geç-tip galaksiler (sarmal galaksiler) için değil aynı zamanda erken-tip galaksiler (merceksi ve eliptik galaksiler) için de geçerli olduğu gösterilmiştir (Neistein ve ark. 1999a; Magorrian ve Ballantyne 2001; Gerhard ve ark. 2001; De Rijcke ve ark. 2007; Williams ve ark. 2010; Davis ve ark. 2011; den Heijer ve ark. 2015). Nötral hidrojen (HI) emisyonu TFR çalışmalarında sıkça kullanılmıştır (Tully ve Fisher 1977; Tully ve Pierce 2000; Pizagno ve ark. 2007). Ancak, karbon monoksit (CO) gazının da TFR çalışmaları için mükemmel bir belirteç olduğu anlaşılmıştır (Dickey ve Kazes 1992; Schoniger ve Sofue 1994a; Tutui ve Sofue 1997; Lavezzi ve Dickey 1998; Tutui ve ark. 2001; Ho 2007; Davis ve ark. 2011; Tiley ve ark. 2016a). $z > 0$ galaksileri için optik bölgede TFR çalışmaları yapılmış olsa da (e.g. Conselice ve ark. 2005; Flores ve ark. 2006; Kassin ve ark. 2007; Puech ve ark. 2008) bilindiği kadarıyla $z > 0$ galaksileri için CO gazı kullanılarak yapılan bir TFR çalışması yoktur. Bu yönüyle, bu çalışma bir ilktir.

Bu çalışmada iki ana amacımız bulunmaktadır. İlk olarak, bu çalışma için seçilen galaksi grubu ile yerel galaksi gruplarını karşılaştırarak, kırmızıya kaymanın bir foksyonu olarak TF ilişkisinde bir değişim olup olmadığını bulmak. İkinci olarak, gelecekte yapılacak, daha uzaktaki galaksi gruplarını içeren TFR çalışmaları için bir referans olabilmek.

2. Veri ve Ana Galaksi Grubu

The Evolution of molecular Gas in Normal Galaxies (EGNoG) isimli çalışma, $z = 0.05 - 0.3$ arasındaki 24 galakside CO (1-0) gaz geçişinin araştırıldığı bir çalışmadır (Bauermeister ve ark. 2013). Bu çalışmanın tüm ayrıntılarına ilişkin lütfen ilgili makaleye bakınız. EGNoG galaksi grubu bu çalışmanın ana galaksi grubunu oluşturmaktadır. İlave olarak literatürden, CO verisi bulunan ve aynı z aralığında olan, 43 galaksi verisi daha ana gruba ilave edilmiştir. Bu sayede, $z = 0.05 - 0.3$ arasında yer alan toplam 67 galaksinin CO verisi elde edilmiştir. TFR çalışması için gerekli homojen bir galaksinin grubunun elde edilebilmesi için bazı filtreler uygulanmıştır (3. Bölüme bakınız).

Seçilen galaksiler için kırmızı-öte veriler Two Micron All Sky Survey (2MASS; Jarrett ve ark. 2000; Skrutskie ve ark. 2006) ve United Kingdom Infrared Telescope (UKIRT) Infrared Deep Sky Survey (UKIDSS; Lawrence ve ark. 2007; Casali ve ark. 2007) çalışmalarından alınırken, galaksiler için toplam yıldız kütlesi değerleri Max Planck Institute for Astrophysics-Johns Hopkins University Data Release 8 çalışmasından alınmıştır. Galaksiler için gerekli baryonic kütle değerleri ise elde edilen toplam yıldız kütlesi ve moleküler gas kütleleri ile moleküler-atomik gaz arasındaki ampirik bağlantı kullanılarak elde edilmiştir (Saintonge ve ark. 2011). TFR için gerekli mutlak parlaklık ve bu parlaklıklara yapılacak K -düzeltmesi için ilgili veritabanları, teoriler ve yazılımlar kullanılmıştır (Hogg ve ark. 2002; Blanton ve Roweis 2007).

3. TFR Çalışması İçin Alt Galaksi Grubunun Belirlenmesi

TFR çalışması için seçilen galaksilerin çarpışan/etkileşen galaksi olmaması, galaksi eğimlerinin min. 30 dereceden

olması ve AGN içermemeleri gerekmektedir. TFR çalışmalarına özgü son bir filtre ise emisyon profilinin double-horn veya boxy olması gerekliliğidir. Bu tip emisyon profilleri, CO gazının galaksinin dönme eğrisindeki düz kısma kadar uzandığını ve dolayısıyla bu gazı kullanarak belirlenecek dönme hızının galaksinin maksimum dönme hızını temsil edebileceğini gösterir. TFR çalışması için ihtiyaç duyulan iki parametre, mutlak parlaklık (veya kütle) ve emisyonun çizgi genişliğidir (galaksinin maksimum dönme hızı). Yukarıda belirtilen filtre adımları uygulandığında, 67 olan ilk galaksi grubumuzun sayısı 25'e düşmektedir. $z = 0.05 - 0.3$ arasında yer alan 25 galaksi kullanılarak TFR çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada belirtilen sonuçlar bu 25 galaksinin verisine dayanmaktadır.

4. Hız Ölçümü ve Tully-Fisher İlişkisi

Elde edilen CO tayflarında çizgi genişliğini bulmak için, emisyonun %20'si yöresindeki çizgi genişliğinin referans alındığı çalışmalar literatürde mevcuttur (örneğin Tully & Fisher 1977; Tully & Pierce 2000; Davis ve ark.2011). Ancak, Lavezzi & Dickey (1997) çalışmasında, emisyonun %20 yerine %50 yöresinde olduğu bölgede çizgi genişliği ölçülmünün daha az belirsizliğe neden olacağını bulmuştur. Bu nedenle bu çalışmada, CO tayflarında emisyonun %50 yöresine düştüğü bölgede çizgi genişliği ölçülmüştür. Tiley ve ark. (2016a), yaptıkları çalışmada, her iki yanında yarı-Gauss ve ortasında ikinci dereceden bir değişimin olduğu bir fonksiyonun, çizgi genişliğini belirlemek için tayfa yapılacak en uygun fit fonksiyonu olduğunu bulmuştur. Bu çalışmada, tayflara yapılan fitler ve bu fitlerin optimizasyonu için MPFIT paketi kullanılmıştır (Markwardt 2009). Bu çalışmada esas alınan TF ilişki denklemi aşağıda verilmektedir.

$$M_{K_s} = a \left[\log \left(\frac{W_{50} / \sin i}{\text{km s}^{-1}} \right) - 2.5 \right] + b$$

Yukarıdaki denklemde, a eğimi, b ilişkinin $\log(W_{50})=2.5$ 'e karşılık gelen mutlak parlaklık değerini, M_{K_s} mutlak parlaklığı ve son olarak W_{50} ise emisyonun %50 yöresindeki çizgi genişliğini göstermektedir. Denklemde yer alan $\sin i$ çarpmanı ise belirlenen hız değerlerine yapılan eğim düzeltmesini temsil etmektedir.

5. Sonuç ve Tartışma

-Literatürde farklı emisyonlar kullanılarak (optik, kırmızı-öte ve radyo), ve çoğunlukla yerel galaksiler için, TFR çalışmalarının yapıldığı doğrudur. Ancak, eğer iki TFR çalışması arasında bir mukayese yapılacaksa, iki çalışmanın da benzer emisyonlar kullanmış olması ve aynı indirgeme-analiz adımlarının uygulanmış olması, mukayesenin güvenilirliği ve anlam ifade edebilmesi açısından hayattır. Bu nedenle bu çalışmada, yerel galaksi grubu için yapılan TFR çalışmasını içeren Tiley ve ark. 2016a) çalışması mukayese grubu olarak seçilmiştir. Çünkü bu çalışma, kinetik belirteç için kullandığı emisyon (CO) ve analiz yöntemleri dikkate alındığında bizim çalışmamızla birebir özellikler göstermektedir.

-Seçilen 25 galaksi ile mukayese grubu olarak seçilen galaksiler (Tiley ve ark. 2016a) arasında ne parlaklık ne de kütlede, kayda değer (yani sinyal/gürültü > 3) bir fark bulunmamıştır. Bu nedenle, yerel ve daha uzaktaki galaksi grupları dikkate alındığında, $z = 0.05 - 0.3$ arasında TFR evrim geçirmemiştir denilebilir.

-Seçilen 25 galaksinin oluşturduğu grup $z = 0.05 - 0.3$ arasında yer aldığı için z değerlerine göre 3 farklı gruba ayrılarak her bir gruba ayrıca TFR fiti yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar hem her üç grup içerisinde hem de kontrol olarak seçilen yerel grup ile karşılaştırılarak hem parlaklık hem de kütlede bir evrim olup olmadığı incelenmiştir. Sonuç olarak, kayda değer bir evrim bulunmamıştır.

- M_{K_s} - TFR çalışmasına ilave olarak, galaksilerin toplam yıldız kütleleri ve baryonik kütleleri de dikkate alınarak TFR çalışması yapılmış ve benzer olarak herhangi bir evrim bulunmamıştır.



6. Kaynaklar

- Bauermeister ve ark. 2013, ApJ, 768, 132
Blanton ve Roweis 2007, AJ, 133, 734
Casali ve ark. 2007, A&A, 467, 777
Conselice ve ark. 2005, ApJ, 628, 160
Davis ve ark. 2011, MNRAS, 414, 968
De Rijcke ve ark. 2007, ApJ, 659, 1172
den Heijer ve ark. 2015, A&A, 581, A98
Dickey ve Kazes 1992, ApJ, 393, 530
Flores ve ark. 2006, A&A, 455, 107
Gerhard ve ark. 2001, AJ, 121, 1936
Ho 2007, ApJ, 669, 821
Hogg ve ark. 2002, arXiv:astro-ph/0210394
Jarrett ve ark. 2000, AJ, 119, 2498
Kassin ve ark. 2007, ApJ, 660, L35
Lavezzi & Dickey 1997, AJ, 114, 2437
Lavezzi ve Dickey 1998, AJ, 116, 2672
Lawrence ve ark. 2007, MNRAS, 379, 1599
Magorrian ve Ballantyne 2001, MNRAS, 322, 702
Markwardt 2009, in Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 411, Astronomical Data Analysis Software and Systems XVIII, Bohlender D. A., Durand D., Dowler P., eds., p. 251
Neistein ve ark. 1999a, AJ, 117, 2666
Pizagno ve ark. 2007, AJ, 134, 945
Puech ve ark. 2008, A&A, 484, 173
Saintonge ve ark. 2011, MNRAS, 415, 32
Schoniger ve Sofue 1994a, A&A, 283, 21
Skrutskie ve ark. 2006, AJ, 131, 1163
Tully ve ark. 2016a, MNRAS, 461, 3494
Tully & Fisher 1977, A&A, 54, 661
Tully ve Pierce 2000, ApJ, 533, 744
Tutui ve Sofue 1997, A&A, 326, 915
Tutui ve ark. 2001, PASJ, 53, 701
Williams ve ark. 2010, MNRAS, 409, 1330