

ULUSAL RADYOTELESKOP PROJESİ

**Umut A. YILDIZ¹, İbrahim KÜÇÜK², Fahri ÖZTÜRK³, Selçuk TOPAL⁴,
Ahmed AKGİRAY⁵, Elif BEKLEN^{6,7}, Gülay GÜRKAN-UYGUN³,
Oktay ÜNAL⁸, Tülün ERGİN⁹**

*1 Leiden University, Leiden Observatory, Niels Bohrweg 2, 2333CA, Leiden, The Netherlands
(eposta: yildiz@strw.leidenuniv.nl)*

*2 Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 38039-Kayseri, Türkiye
(eposta: kucuk@erciyes.edu.tr)*

*3 University of Manchester, Jodrell Bank Centre for Astrophysics, Manchester, M13 9PL, UK
(eposta: fahri.ozturk@postgrad.manchester.ac.uk, gulay.gurkan.g@gmail.com)*

*4 University of Oxford, Department of Astrophysics, Keble Road, Oxford, OX3 3RH, The UK
(eposta: selcuk.topal@astro.ox.ac.uk)*

*5 California Institute of Technology, Electrical Engineering Department, MC136-93, Pasadena, CA, USA
(e-posta: ahmed@caltech.edu)*

6 Max-Planck Institut für Extraterrestrische Physik, Giessenbachstrasse 1, D-85741 Garching, Germany

*7 Süleyman Demirel Üniversitesi, Fizik Bölümü, 32260-Isparta, Türkiye
(e-posta: elif.beklen@gmail.com)*

*8 Ege Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Türkiye
(e-posta: oktayunal@mail.ege.edu.tr)*

*9 Boğaziçi Üniversitesi, Fizik Bölümü, Kuzey Kampüs KB Binası, 34342, Bebek, Türkiye
(e-posta: tulun.ergin@boun.edu.tr)*

Özet: Gözlem araçlarının ve tekniklerinin gelişmesiyle, astronomik gözlemler elektromanyetik tayfın her bölgesinde yapılmaktadır. Radyo astronomi, gök cisimlerinin, radyo bölgesindeki ışımalarının radyo teleskoplarıyla toplanması, kaydedilmesi ve değerlendirilmesi ile yapılır. Radyo astronomi, evrenin çoğu bölgesinin çalışılabilidiği ve sürekli yeni keşifler getiren yeni, gelişmeye açık ve hareketli bir bilim dalıdır. Türkiye’de bugüne kadar radyo astronomi alanında yapılmış araştırmaların eksikliğinin giderilmesi amacıyla, Türkiye Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi kurulum çalışmalarını başlatma görevi Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu’nun 10 Mart 2005’de aldığı karar doğrultusunda başlamıştır. Bu projenin amacı, iyi bir radyo teleskopla, bulunduğu enlem ve boylamda yapacağı gözlem ve araştırmalarla, Türkiye’nin, dünyada radyo astronomi alanında söz sahibi olacağı Türkiye Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi (TURAG)’ın kurulmasıdır. Bu amaç doğrultusunda grubumuz, 30-35 metre çanak çapına sahip 2000 - 2500 metre yükseklikte bir bölgede 350 GHz’e kadar yüksek frekansa çıkabilecek tek çanak (single dish) radyo teleskobunun yapılabilmesi için çalışmalarını sürdürüyor. Frekansın en yüksek sınırı, yer belirleme çalışmalarının tamamlanmasının ardından kesinlik kazanacağından 350 GHz üst sınırı, ülkemizde bulunacak en mükemmel gözlem yerine bağlı olarak 250 GHz’e kadar da düşebilir.

1. Neden Radyo Astronomi?

Bugün evren hakkında ne biliyorsak bu bilginin %65’i radyo teleskoplar yapılan gözlemler vasıtasıyla elde edilmiştir. Keşfedilen kuasarlar, pulsarlar, karadelikler, Büyük Patlama sonucu üretilen 3 Kelvin’lik (K) mikrodalga arka alan ışıması ve onlarca moleköl (evrendeki maddenin %75’ini oluşturan hidrojen ve ikinci en bol moleköl karbonmonoksit gibi) radyo astronomisinden edinilen bilgilere örnek olarak verilebilir. Radyo astronomi sayesinde elde edilen bu bulgular, sadece evreni daha iyi anlamamıza olanak sağlamamış, aynı zamanda yenilenen gözlem teknikleriyle beraber teknolojide de büyük atılımlara neden olmuştur. Örneğin radyo astronomlar daha düşük gürültü düzeyine sahip alıcıların yapılmasına olanak sağladıkları için, günümüzde

kullanılan uydu haberleşme sistemleri endüstrisinde büyük gelişmelere önyak olmuşlardır. Astronomlar tarafından geliştirilen görüntü işleme teknikleri günümüzde tıpta kullanılan ve hastanın sağlığını bozmadan yapılan iç organ görüntüleme sistemlerinin bir parçasıdır. Günümüz gözlemevlerinde astronomların daha iyi gözlem aletlerine olan ihtiyaçları elektronik, makine mühendisliği ve bilgisayar bilimi alanlarındaki gelişmelere yön vermeye devam etmektedir.

Evreni anlayabilmek için insanoğlu olarak tek kaynağımız evrenden dünyaya gelen ışıktır. Işık bir elektromanyetik dalgadır ve çok geniş bir dalgaboyu aralığını kapsar. Her farklı dalgaboyu kendine has farklı bilgiler içerir. Ülkemizde yıllardır özellikle görsel dalgaboylarında çalışılmaktadır ve buna özgü teleskoplarımız astronomi bölümünün olduğu neredeyse her üniversitede mevcuttur. Ancak yaklaşık 50 yıldır bir çok ülkenin büyük yatırımlar yaparak bilim sahalarına kattıkları (örneğin ALMA projesi) radyo dalgaboylarında, ülkemizde maalesef bugüne kadar neredeyse hiçbir çalışma yapılmamıştır ve bu dalgaboylarına özgü bir teleskobumuz mevcut değildir.

Radyo dalgaboyları ile evrenin en eski zamanlarına, daha uzak köşelerine bakmak mümkündür. Evren ne kadar büyük? Kaç yaşında? Evren nasıl sonlanacak? gibi sorulara radyo gözlemleri ile cevaplar arayabiliriz. Radyo bölgesindeki ışınım görsel bölgedeki ışınımına göre daha uzun dalgaboylu olduğu için, görsel bölgede göremediğimiz birçok ayrıntıyı radyo bölgede görebiliriz. Örneğin yıldız oluşumu galaksilerde bulunan moleküler gaz bulutlarının merkezi soğuk ve daha yoğun kısımlarında başlar. Bu bölgeler gaz ve toz ile perdelendiği için yıldız oluşum alanlarını görünür bölgedeki dalgaboylarında gözlemek imkansızdır. Ancak radyo dalgaboylarında baktığınızda yıldız oluşum alanları görülebilir ve daha merkezi kısımları incelenebilir. Çünkü radyo ışınımının dalgaboyu daha uzun olduğu için yıldız bölgesini çevreleyen madde tarafından soğurulmaya uğramadan ortamı terk edecek ve ışınım teleskobunuza ulaşacaktır. İşte bu nedenle radyo astronomi '*gözle görünmeyen evrenin bilimi*' olarak adlandırılır.

2. Bilimsel Gereklik

1970'li yıllara kadar evrenin atomik yapıda olduğu, yıldızlararası ortamdaki molekül miktarının ise yok denebilecek kadar az olduğu sanılıyordu. Ancak 1970'lerin başında yapılan molekül keşifleriyle, evrenin sanıldığı aksine yalnızca atom halindeki gazı değil, aynı zamanda gaz moleküllerini de içerdiği anlaşıldı. Yıldızların, soğuk ve karanlık molekül bulutlarının içerisinde bulunan yoğun gaz ve toz parçacıklarının belli bölgelerde yoğunlaşmasıyla oluşmaya başladığı, gözlemler neticesinde ortaya çıktı. Molekül geçişleri sayesinde bulut soğumaya ve içe doğru çökmeye başlayacak ve belli bir basınç ve sıcaklık değerine ulaşıncaya kadar yıldız oluşumunun ilk kıvılcımı ateşlenecektir. Dolayısı ile, bulut içerisindeki moleküllerin gözlemi bize yıldız oluşumu hakkında çok önemli bilgiler sunar. Ancak bu gibi ortamlarda bulunan yoğun toz parçacıklarının boyu birkaç mikrometre büyüklükte olduğundan molekül bulutlarının iç bölgelerinde oluşmakta olan ilkel yıldızın gözlemlenebilmesi ancak uzun dalga boylarında mümkün olmuştur.

Hidrojen evrende en bol bulunan elementtir ve yoğunluğun daha fazla olduğu bölgelerde (yıldız oluşum bölgeleri) moleküler yapıda bulunur. Moleküler hidrojen yıldız oluşumunun ham maddesidir. Ancak hidrojen molekül halinde olduğunda, onu doğrudan gözlemek çok zordur, çünkü hidrojen molekülü için birinci enerjiden

temel düzeye geçiş için bile 100 - 200 K sıcaklık gerekir ki moleküllerin oluştuğu soğuk (yaklaşık 10 K) bulutlarda böyle bir geçişin olması mümkün değildir. Bu durumda, galaksilerde ikinci en bol bulunan molekül olan karbonmonoksit (CO) imdada yetişir. Çünkü CO (1-0) geçişi (birinci enerji düzeyinden temel düzeye olan geçiş) yaklaşık 5 K sıcaklığa ihtiyaç duyar. Yani soğuk bulutlarda bile bu molekülü gözlemek mümkündür (van Dishoeck & Blake 1998; Lada 1999; Arce vd. 2007).

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki 10000 adet hidrojen molekülünün olduğu bir hacim içerisinde 1 adet CO molekülü bulunur. Bu yaklaşım ile daha kolay gözlenebilen CO kullanılarak yıldız oluşumunun asıl ham maddesi olan hidrojen molekülü hakkında bilgi sahibi olabiliriz. Bu nedenle daha yüksek geçişlere nazaran daha kolay gözlenebilen CO (1-0, 2-1, 3-2) ve bunların izotopları olan ¹³CO (1-0, 2-1, 3-2) geçişleri yıldız oluşumunun merkezleri olan moleküler bulutların doğasını daha iyi anlamamıza yardımcı olurlar. Bu moleküler geçişlerin frekans aralığı 110 - 350 GHz arasında değişmektedir (bkz. Yıldız vd.; Topal vd.; bu bildiri kitabı). Bu nedenle, Türkiye Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi (TURAG) projesi kapsamında, şu ana kadar yer seçimi için yapılan atmosferle ilgili çalışmalar ve teleskop için düşünülen çap da dikkate alındığında maksimum frekans olarak 350 GHz düşünülmüştür.

Yıldızların oluştuğu moleküler bulutları anlamlı bir şekilde analiz edebilmek yapılan gözlemin çözünürlüğü ile doğrudan alakalıdır. Yıldız oluşum bölgelerini temsil eden dev molekül bulutlarının (GMCLer) boyutları onlarca parsek (pc) genişliğe ulaşabildiği gibi (Kirk 2011), bazen bundan daha büyük boyutlara sahip 40 - 200 pc arasında değişen GMC oluşumları da görülebilir (Meyer vd. 2012). GMC boyutlarına yakın çözünürlüğe sahip gözlemler yapabilmek bu yıldız oluşum bölgelerini daha ayrıntılı ve anlamlı bir şekilde inceleyebilmemize olanak sağlar. Bugüne kadar dış galaksiler için yapılan tek çanaklı gözlemler dikkate alındığında kpc (1000 pc) altında çözünürlüğe sahip gözlem sayısı çok azdır. TURAG projesi ile hedeflenen maksimum frekans olan 350 GHz ile 35 metrelik bir antenin elde edeceği çözünürlük değeri yaklaşık 6,2 yay saniyesidir. Bu da örneğin 10 Mpc uzaklıktaki bir galaksi üzerinde 300 pc boyutlarında bir çözünürlük elde edeceğimizi gösterir. Yani TURAG ile yakın komşuluktaki dış galaksiler için kpc altında çözünürlüğe sahip gözlemler yapılabilecek ve galaksimiz komşuluğundaki tüm galaksiler, ayrıntılı bir şekilde araştırılabilecektir. Böylece TURAG sayesinde Hubble diyagramını oluşturan galaksiler tüm morfolojik sınıflarda (spiral, merceksi, eliptik) incelenebilecektir. Kendi galaksimiz içerisinde yapılacak tüm radyo astronomi çalışmaları dikkate alındığında, ilgilenilen gök cisimleri gezegenimize çok daha yakın olacağından, çözünürlüğün çok çok daha iyi olacağı ise aşikardır. Sonuç olarak Türkiye kendi başına hem kendi galaksisi üzerinde radyo astronomi çalışmaları yapabilen, hem de dış galaksileri ayrıntılı bir şekilde araştırabilen bir bilime sahip olacak ve bilim dünyası için bu alandaki referanslardan biri haline gelecektir. Diğer yandan, dizgesel (interferometry) bir sistemin (birçok antenden oluşan daha yüksek çözünürlükler sunan sistemler) ilgilenilen bölgede daha ayrıntılı gözlem yapma gerekliliği, tek çanak anten ile aynı bölge için alınacak gözlem verilerine bağlıdır. Bu nedenle TURAG dünyadaki dizgesel sistemler için ise ayrıca bir başvuru kaynağı olacaktır.

3. Teknik Gereklilik

Bilimsel gerekliliği yukarıda ifade edilen bir radyo teleskop seçiminde, çalışma frekansına bağlı olarak önemli iki parametre öne çıkmaktadır; teleskobun çapı ve optik modeli. Yerleşkenin atmosferik koşulları göz önünde bulundurulduğunda gerekirse

"dome" yapının da kullanılabileceği, orta ölçekli 35-40 metre çapında bir radyo teleskop yapımı teknik olarak mümkün görünmektedir. Bu büyüklükte bir radyo çanağın yüksek duyarlılıkta, düşük gürültü seviyesinde ve düşük çapraz polarizasyon (cross-polarization) performansı sergileyebilecek alıcılara sahip olması beklenir. Bu özellikler, bilhassa gökyüzündeki bazı radyo kaynaklarından yeryüzüne ulaşan çok zayıf sinyallerin yakalanabilmesi ve bu sinyallerin arka alan sinyallerinden ayırt edilebilmesi için önemlidir.

Teleskobun geometrisi, optik olarak klasik Cassegrain veya Gregorian konfigürasyona sahip, parabol-elips yapılı olarak düşünülmektedir. Bu tasarım, yüksek optiksel etkinliği nedeniyle şu anda tüm dünyada tek çanak radyo sistemlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Granet 1998). Milimetre ve milimetre altı dalgaboyu skalasında halen kullanılmakta olan Effelsberg 100 m, IRAM 30 m ve yeni inşa edilen Sardinian 64 m teleskopları bu optik konfigürasyona sahip teleskoplardan sadece birkaçıdır. Orta ölçekte böyle bir teleskobun, hedeflenen rms yüzey doğruluğuna sahip olabilmesi için, çok sayıda etkinleştirici ile kontrol edilen yüzey panellerine sahip olması beklenir. Bu yüzey doğruluğu (surface accuracy) değeri direkt olarak teleskobun en yüksek çalışma frekansını belirlemektedir. Yüzey doğruluğu, en yüksek RMS değeri ışığın dalgaboyunun 20'de biri olduğunda sağlanır (Pisanu 2004). Buradaki dalgaboyu teleskobun maksimum çalışma frekansına karşılık gelmektedir. Stratejik olarak öncelikle en uygun frekans değerinde çalışabilecek teleskobu tasarlayıp, daha sonra bu teleskobu daha üst frekans değerlerine yükseltmeyi uygun buluyoruz. Bunu yaparken kullanılan çeşitli meteorolojik teknikler, teleskobun mekanik ve termal etkilerden kaynaklanabilecek hataları en aza indirmeyi amaçlanır. Mekanik olarak, teleskobun "pointing, alignment ve gravity" bozuklukları tespit edilir. Termal testler ile teleskobun çanak yüzeyinin termal kararlılığı sağlanır.

2. Türkiye'nin Mevcut Durumu

Ülkemizdeki radyo astronomi çalışmaları Erciyes Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü (ERÜ-AUBB) tarafından başlatıldığı için projenin ilk etabı olan yer seçimi çalışmaları görevini ERÜ-AUBB başlatmış ve sonuçlandırılmıştır. Bu sırada da Erciyes Üniversitesi (ERÜ) bünyesinde Radyo Astronomi Gözlemevi kurulumu için bir başka DPT projesi yürütülmüş ve tamamlanmıştır. Bu proje kapsamında 12.8 m çapında bir teleskop ve 20 m çapında bir RADOME, NATO-SATCOM'dan alınmış ve Erciyes Üniversitesi arazisi içerisinde kurulmuştur.

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) Yönetim Kurulu Toplantısında alınan karar doğrultusunda oluşturulan "Türkiye Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi Yer Seçimi Komitesi", Mart 2007'de göreve başlamış ve Aralık 2008 itibarıyla görev tamamlanmıştır. Bu komite tüm Türkiye'nin meteorolojik, atmosferik haritalarını çıkararak analizler yapmış ve radyo astronomi açısından bilimsel kriterlere uygun radyoda-sakin bölgeler belirlemiştir. Belirlenen bölgelere gidilerek radyo frekans ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler Ocak 2008 - Aralık 2008 arasında alınmıştır. Yapılan meteorolojik, atmosferik hesaplama ve değerlendirmeler ile Radyo Frekans Girişim ölçümleri sonucu Karaman ili radyo sakinliği açısından TURAG'ın kurulması için en uygun yer olarak belirlenmiş ve bu bilgi TÜBİTAK, DPT (Kalkınma Bakanlığı) ve Karaman Valiliği'ne iletilmiştir. Bu bağlamda yer seçimi çalışmaları sırasında yapılan Radyo Frekans Girişim (RFI) ölçümleri sonucu Karaman ili Yazılı (Koordinat: 37° 08' 15 K, 33° 05' 37 D; Yükseklik: 1065 Metre) ve Akçaşehir-Çakırdağ (Koordinat: 37° 24'

14 K, 33° 29' 37 D; Yükseklik: 1108 Metre) radyo sakin bölge olarak belirlenmiştir (Küçük vd. 2012).

7. Tartışma ve Sonuç

Ülkemiz, radyo astronomisi alanına girmekte her ne kadar geç kalmış olsa da bundan sonra beklemenin bir anlamı olmadığı açıktır. Öngörülen 350 GHz frekans limiti her ne kadar teknolojik olarak zorlayıcı bir faktör olsa da en önemli kriter bu frekansta alıcıların çalışmasını mümkün kılacak yükseklikte bir gözlem yeridir. Yer, atmosferdeki su buharı bakımından çok düşük olmalıdır ki aslında bu tür yüksek frekanslardaki en büyük engelleyici faktör sudur.

Dünyaya baktığımızda aslında yüksek frekansta çalışan sadece birkaç radyo teleskop görüyoruz. Tek çanak olarak IRAM 30 metre (İspanya) , JCMT 15 metre (James Clerk Maxwell Telescope, Hawaii), Nobeyama 45 metre (Japonya), APEX 12 metre (Atacama Pathfinder Experiment, Şili), CSO 10 metre (Caltech Submillimeter Observatory, Hawaii), ve bunun gibi birkaç tane daha küçük teleskop bulunuyor. Dünyadaki ekonomik bunalım ve Hawaii Eyaletinin özel kuralları neticesinde JCMT ve CSO gibi çok önemli araçlar birkaç sene sonra kapatılacaktır ve bu frekanslarda dünya üzerinde gözlem imkanı sağlayacak teleskop sayısı sadece birkaç tane kalacaktır. Ancak gelişmiş ülkeler şu anda yatırımlarını ESO'nun ALMA gibi devrimsel nitelikte dizge (interferometre) teleskoplara yönlendirmişlerdir. En büyük sorun ise bu tür dizgeler çok yüksek çözünürlük sağladığından çok küçük bir bölgenin çok detaylı görüntüsünü elde ederler, ancak bu sefer geniş yapılı cisimlerin sağlayacağı büyük resmi görmemize olanak vermemektedir. O bakımdan tek çanak teleskoplar her zaman önemini ve geçerliliğini koruyacaktır. Hele yüksek frekanslarda çalışan tek çanak sayısının dünyada çok az olması da ülkemizi bu konuda bir cazibe merkezi haline getirecektir. Örneğin optik, kırmızı-öte, X ışınları gibi dalgaboylarında birçok 'Tüm Gökyüzü Taraması' (All-Sky-Survey) yapılmış olsa da yüksek frekanslarda böyle bir şey bugüne kadar yapılmamıştır. Sadece böyle bir proje için kullanılsa bile birçok keşfi beraberinde getireceği muhakkaktır.

6. Kaynaklar

- Arce H. vd. 2007, *Proceedings of Protostars and Planets V*, 245, 260
- Granet C., 1998, *IEEE Antennas and Propagation*, 40, 2.
- Küçük İ. vd., 2012, "Site selection for a radio astronomy observatory in Turkey: Atmospheric, meteorological and radio frequency analyses", *Exp. Astron.*, Vol 33, No.1, pp 1-26.
- Kirk H., 2011, *JRASC*, 105, 2.
- Lada C.J., 1999, *The Origin of Stars and Planetary Systems*. Edited by Charles J. Lada and Nikolaos D. Kylafis. Kluwer Academic Publishers, p.143
- Meyer D. J. vd., 2012, *ApJ*, 744, 42.
- Pisanu T., 2004, *Proc. of the 7th European VLBI Network Symposium*
- van Dishoeck, E. F.; Blake, G. A., 1998, *ARA&A*, 36, 317

