

Türkiye Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi (TURAG): Türkiye için Radyo Teleskop

Fahri Öztürk^{1*}, İbrahim Küçük², Umut A. Yıldız³, Selçuk Topal⁴, Elif Beklen⁵, Tülün Ergin⁶, Gülay Gürkan Uygun⁷, Ahmed Akgiray⁸

¹ TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, ODTÜ Yerleşkesi, 06800 Ankara, Türkiye

² Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 38039, Kayseri, Türkiye

³ California Institute of Technology, NASA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA 91109, California, USA

⁴ University of Oxford, Department of Astrophysics, Keble Road, Oxford, OX3 3RH, The UK

⁵ National Radio Astronomy Observatory, Charlottesville, VA 22903, USA

⁶ TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, ODTÜ Yerleşkesi, 06800 Ankara, Türkiye

⁷ University of Hertfordshire, Centre for Astrophysics Research, AL10 9AB, Hertfordshire, The UK

⁸ Özyeğin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Çekmeköy, 34794, İstanbul, Türkiye

Özet

Ülkemiz astronomi camiası olarak görsel dalgaboylarında uzun bir geçmişe sahibiz. Kurulmakta olan ve ilk ışığı 2018 yılında alması planlanan Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) sayesinde ise kızılöte bölgede evreni inceleme fırsatı bulacağız. Yakın evrende görsel dalgaboylarında görülemeyen birçok fiziksel olguyu araştırabilmek ve evrenin daha derinlerini gözleyebilmek için ülke olarak sıradaki hedefimiz mm/mm-altı ve radyo bölgelere duyarlı teleskoplar inşa etmek olmalıdır. Bu sayede Türk astronomisi evreni çoklu-dalgaboyu penceresinden inceleme fırsatı bulacaktır. Bu bildiri, mm/mm-altı/radyo astronominin Dünya'daki önemi ve Türkiye Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi (TURAG) projemizin gerekliliği ve geldiği nokta ile birlikte gelecekteki planlar özetlenecektir.

Anahtar Kelimeler: observatories: radio, Radyo Astronomisi

1 Radyo Astronominin Önemi

Radyo astronomi alanında yapılan çalışmalar yalnızca evreni anlamaya yönelik olmayıp, ayrıca hayatımızın içinde yer alan bir çok teknolojik gelişmeye de ön ayak olmuştur. Bu teknolojik gelişmeler tarımdan tıbbaya kadar değişik alanlarda uygulama sahası bulmuş ve toplumun refah düzeyinin yükselmesine katkı sağlamıştır. Örneğin günümüzde çok yaygın olarak kullanılan cep telefonları, uydu haberleşme ağları, füze takip sistemleri gibi bir çok alanda radyo teknolojisi kullanılmaktadır. Ayrıca zayıf radyo sinyallerinin elde edilebilmesi için geliştirilen düşük gürültü düzeyine sahip alıcı sistemleri günümüzde kullanılan uydu haberleşme sistemleri endüstrisinde büyük gelişmelere yol açmıştır.

Günümüzde evren hakkında edindiğimiz bilgilerin çoğu radyo astronomi amaçlı kullanılan teleskoplar sayesinde. Çok sayıda kuasar, pulsar, karadeliğin keşfi ve hatta Evren'in kökenine dair bir çok soruya yanıt veren 3 Kelvin mikrodalga arka alan ışınmasının keşfi yine radyo teleskoplar sayesinde gerçekleştirilmiştir.

2 Türkiye'deki Radyo Astronomi Çalışmaları

Ülkemizde yıllardır özellikle görsel dalgaboylarında çalışılmaktadır ve buna özgü teleskoplarımız astronomi ve uzay bilimleri bölümlerinin olduğu neredeyse her üniversitede, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) mevcuttur. Bunun yanı sıra, 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 Kalkınma Bakanlığı projesi yürütülmüş ve tamamlanmıştır. Bu proje kapsamında 12.8 m çapında bir teleskop ve 22 m çapında bir RADOME, NATO-SATCOM'dan alınmış ve bir radyo teleskoba dönüştürülmek üzere Erciyes Üniversitesi yerleşkesi içerisinde kurulmuştur. TUG Yönetim Kurulu toplantısında alınan karar doğrultusunda önerilen projenin yürütücüsü başkanlığında oluşturulan 'Türkiye Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi Yer Seçimi Komitesi', Mart 2007'de göreve başlamış ve Aralık 2008 itibarıyla görevi tamamlanmıştır. Bu komite tüm Türkiye'nin meteorolojik, atmosferik haritalarını çıkararak analizler yapmış ve radyo astronomi açısından bilimsel kriterlere uygun radyo-tenha 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 İli radyo tenhalığı açısından TURAG'ın kurulması için en uygun yer olarak belirlenmiş ve bu bilgi TÜBİTAK, 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 tenha bölge olarak belirlenmiştir (Erdi (2015)). Bu noktada teleskobun konfigürasyonunda dünya standartlarındaki en iyi bilimi yakalamak için ilk önerilen frekansın şu anda

* fahri.ozturk@tubitak.gov.tr

daha yükseğine ulaşmak amaçlanmıştır. Bu amaçla yer seçim çalışmalarının, ayrıca havadaki kuruluşu da tespit ederek, bu ve başka bölgelerde ayrıca havadaki kuruluşun da tespit edilmesi amaçlanarak yeniden yapılması gerekmektedir.

2014 yılında çalışma grubu bu kez daha geniş bir katılımla yeniden oluşturulmuştur. Çalışma grubunun proje önerisi hazırlıkları, daha önceki çalışmaların da devamı niteliğinde olup (), yukarıda belirtilen kapsamda devam etmektedir. Grubun yakın gelecekteki planları arasında ilk sırada kendisine tahsis edilmiş ve Erciyes Üniversitesi yerleşkesinde bulunan teleskopları çalışır hale getirmek vardır. Amacımız, Türkiye'nin, dünyada radyo astronomi alanında söz sahibi olacağı Türkiye Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi, TURAG'a sahip olmasını sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda grubumuz, 30 metre çanak çapına sahip 2000 - 2500 metre yükseklikte bir bölgede 350 GHz'e kadar gözlem olanağı sunan alıcı ile donatılmış bir 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 düşürülebilir.

3 Bilimsel Motivasyon

Görsel bölgedeki dalgalarla karşılaştırıldığında radyo dalgaları daha uzundur. Doğası gereği radyo dalgaları görsel bölgede gizli kalan birçok ayrıntıyı açığa çıkarır. Radyo gözlemleri sayesinde Evren'in kökeni, büyüklüğü ve Evren hakkında daha nice sorulara cevaplar arayabiliriz. Çünkü uzun dalga boyları ile Evren'in en eski, en soğuk ve dolayısıyla en uzak bölgelerine bakmak mümkündür. Örneğin galaksilerdeki yıldız oluşum bölgeleri olan moleküler gaz bulutlarının soğuk ve daha yoğun kısımları çalışılabilir. Bu bölgeler içerdikleri gaz ve toz bulutları nedeniyle görsel dalga boyunda çalışan teleskoplar ile gözlenemezler. gözlemlenemezler. Ancak radyo dalgaboylarında bakıldığında yıldız oluşum alanları görülebilir ve daha merkezi kısımları incelenebilir. Çünkü radyo ışınının dalga boyu daha uzun olduğu için yıldız bölgesini çevreleyen madde tarafından soğurulmaya uğramadan ortamı terk edecek ve ışınım teleskobuna ulaşacaktır. Ayrıca, Evren'de en yoğun bir şekilde bulunan hidrojen molekülü (H_2) ve ikinci derecede bolluk oranına sahip karbonmonoksit (CO) molekülünün enerji geçişleri sayesinde yıldız oluşum bölgeleri hakkında incelemeler yapılabilir. CO molekülünün düşük enerji geçişlerinin yaşandığı (yani $J=1-0$, $2-1$, $3-2$) 110-350 GHz frekans aralıkları, radyo dalgalarının çalışma frekanslarına karşılık gelmektedir (, Fukuda M. ve Yanagida T. (1986), Dodelson S. ve Widrow L. M. (1994)).

TURAG çalışmaları 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 (GMClers) boyutları onlarca parsek (pc) (1 parsek= 3.08×10^{13} km) genişliğe ulaşabildiği gibi (Asaka, T., et al. (2005)), bazen bundan daha büyük boyutlara sahip 40 - 200 pc arasında değişen GMC oluşumları da görülebilir (Asaka T. ve Shaposhnikov M. (2005)). GMC boyutlarına yakın çözünürlüğe sahip gözlemler bu yıldız oluşum bölgelerini daha ayrıntılı ve anlamlı bir şekilde inceleyebilmemize olanak sağlar. Bugüne kadar dış galaksiler için yapılan tek çanak gözlemler dikkate alındığında kpc (1000 pc) altında çözünürlüğe sahip gözlem sayısı çok azdır. TURAG projesi ile hedeflenen maks-

imum frekans olan 350 GHz ile 30 metrelik bir antenin elde edeceği çözünürlük değeri yaklaşık 7,2 yay saniyesidir. Bu da örneğin 10 Mpc uzaklıktaki bir galaksi üzerinde 350 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 Diyagramı'nı oluşturan galaksiler tüm morfolojik sınıflarda (sarmal, merceksi, eliptik) incelenebilecektir. Kendi galaksimiz içerisinde yapılacak tüm radyo astronomi çalışmaları dikkate alındığında, ilgilenilen gök cisimleri gezegenimize çok daha yakın olacağından, çözünürlüğün çok daha iyi olacağı ise aşikardır.

Tüm bunların yanısıra, dünyadaki ekonomik bunalım ve Hawaii Eyaleti'nin özel kuralları neticesinde JCMT ve CSO gibi çok önemli radyo teleskoplar birkaç sene sonra kapatılacaktır ve yüksek frekanslarda Dünya üzerinde gözlem olanağı sağlayacak radyo teleskop sayısı sadece birkaç tane kalacaktır. Ancak gelişmiş ülkeler şu anda yatırımlarını ESO'nun ALMA gibi devrimsel nitelikteki dizge (interferometre) teleskoplarına yönlendirmişlerdir. En büyük sorun her ne kadar bu tür dizgeler çok yüksek çözünürlük sağladığından çok küçük bir bölgenin çok detaylı görüntüsünü elde ediyor olsalar da, bu sefer geniş yapıları cisimlerin sağlayacağı büyük resmi görmemize olanak vermemektedir. Bu bakımdan tek çanak teleskoplar her zaman önemini ve geçerliliğini koruyacaktır. Hele yüksek frekanslarda çalışan tek çanak sayısının Dünya'da çok az olması da ülkemizi bu konuda bir cazibe merkezi haline getirecektir. Örneğin optik, kırmızı-öte, X-ışınları gibi dalga boylarında birçok 'Tüm Gökyüzü Taraması' (All-Sky-Survey) yapılmış olsa da yüksek frekanslarda böyle bir çalışma bugüne kadar yapılmamıştır. Sadece böyle bir proje için kullanılsa bile birçok keşif beraberinde getireceği muhakkaktır. Kurulması tasarlanan radyo teleskop ile radyo astronomi alanında mm ve mm-altı çalışmalar ülkemizde ilk kez tüm yazılımları ile birlikte yapılması önerilen 30 m sınıfı anten ile bu çalışmalar en az 20-30 yıl önemini koruyacaktır.

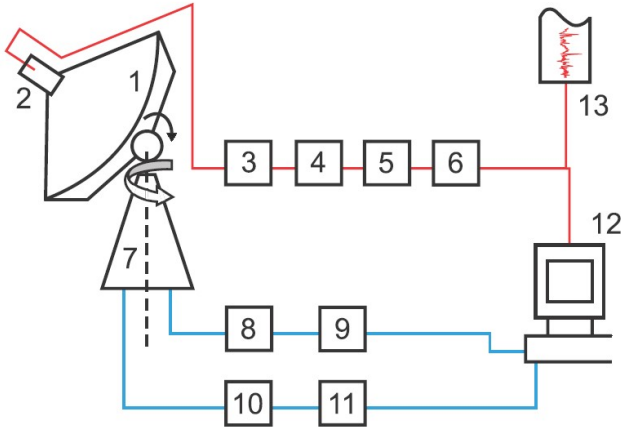
4 Teknik Gereklilik

Radyo teleskobun teknik gerekliliklerini ortaya koyabilmek için bilimsel motivasyondan faydalanıyoruz. Bu nedenle, çalışma frekansına bağlı olarak teleskobun çapı ve teleskobun optik modeli belirlenmesi gereken en temel iki parametredir. Orta ölçek olarak değerlendirilebilecek, 30 metre çapında bir radyo teleskop ihtiyacı teknik olarak gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Bu ölçülerdeki bir radyo teleskobun yüksek hassasiyette, düşük gürültü seviyesinde ve düşük çapraz polarizasyon performansı sergileyen bir alıcı donanımına sahip olması beklenir. Teleskobun bu özellikleri, gökyüzündeki zayıf astronomik kaynaklardan yayılan ışınımın algılanabilmesi için oldukça 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 (Kevork N. Abazajian et al. (2007)). Milimetre ve milimetre altı dalga boyu ölçeğinde 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 hassasiyetine sahip olabilmesi için, çok sayıda etkinleştirici ile kontrol edilen yüzey panellerine sahip olması beklenir. Bu yüzey hassasiyeti (surface accuracy) değeri direkt olarak teleskobun en yüksek çalışma frekansını

Çizelge 1. Geliştirilmesi planlanan teleskobunun teknik özellikleri.

Optik Konfigurasyon	Casegrain, Gregorian + Beamwaveguide
Max. frekans	350 GHz
Çanak çapı	30 metre
Çözünürlük	7.2 yay saniye
Yüzey hassasiyeti	$\lambda/20$

**Şekil 1.** Radyo teleskobunun çalışma ilkesi (1-Anten, 2-LNA, 3-Yükseltici, 4-Tayfçeker, 5- Dedektör, 6-Dönüştürücü, 7-Destek sistemi, 8-11-Motorlar, 12-PC, 13-Yazıcı).

belirlemektedir. Yüzey hassasiyeti, en yüksek rms değeri ışığın dalga boyunun 20'de biri olduğunda sağlanır (Boyarsky A. et al. (2006a)). Buradaki dalga boyu 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 hatalarını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Mekanik olarak, teleskobun "pointing, alignment ve gravity" bozuklukları tespit edilir. Termal testler ile teleskobun çanak yüzeyinin termal kararlılığı sağlanır.

5 Teknik Gereklilik

Radyo teleskoplar çok zayıf sinyalleri algılamaya çalıştığı için yüksek kazançlı, yani büyük toplama alanına sahip antenler kullanmak mecburidir. Bu yüzden, parabolik çanak antenler mm ve mm-altı dalgaboylarında çalışan teleskoplar için yegane seçenektir.

Bir radyo çanağının gökyüzünden gelen zayıf radyo ışınlarını toplaması ve faydalı bir veri setine dönüştürme süreci şekilde görülmektedir. İlk aşama çanakta odaklanan dalgaların beslemeye aktarılmasıdır. Sonraki aşama ise gözlenen sinyalin bir güçlendiriciye taşınmasıdır.

Besleyici antenler çanak anten sisteminin önemli elemanlarından bir tanesidir. Antenler, gözlem yapılmak istenen frekans aralığında gerekli performans kriterlerini (simetrik ışınma, geniş bant, düşük yan lobe ve çapraz polarizasyon gibi) sağlamak zorundadırlar. Günümüzde bütün bu özelliklere sahip tek anten oyuklu dişli boynuzlardır (corrugated horn) (). Bu antenlerin 100 GHz frekanslarına kadar ülkemizde, Tübitak- UZAY, Tübitak-

MAM tarafından geliştirilmeleri mümkündür. Ve yine bu antenlerden elde edilecek zayıf sinyalleri güçlendirebilecek düşük gürültülü yükselticilerin (LNA) tasarım ve test faaliyetleri NANOTAM ve Tübitak-UZAY tesislerinde gerçekleştirilebilir. 100 GHz üstünde çalışan ve kabul edilebilir gürültü performansı sergileyen LNA'lar yeni yeni geliştirilmektedir (Tyler C. et al. (2002)). Bu yüzden, uzun yıllardır bu frekanslarda çalışan radyo teleskop alıcılarında besleyici anteni SIS mixer'lar (karıştırıcı) takip eder. Günümüzde hala 100-150 GHz ve üstünde SIS karıştırıcı'lar en düşük gürültü performansını sergilemektedir. Bunların yanısıra 100 GHz üzeri frekanslarda teleskobun alıcı sistemlerinde pasif olarak kullanılması muhtemel olan antenler, bant geçirici süzgeçler ve güç bölücü gibi dalga kılavuzlarının tasarım ve üretim faaliyetleri Tübitak-MAM tesislerinde gerçekleştirilebilir.

6 Sonuç

Bu bildiriye, Türkiye'deki radyo astronomi çalışmalarının başlatılması ve bir radyo teleskop geliştirilebilmesi için yapılan ve yakın gelecekte planlanan çalışmalara yer verilmiştir. İnanıyoruz ki, bir teleskop seçimi, teleskobun çapı, çalışma frekanslarının belirlenmesi Türkiye'de radyo astronomi politikasının belirlenmesiyle eş değerdir. Bu sayede uluslararası düzeyde bilim ve teknoloji geliştirme yeteneğine sahip ve dünyadaki boşlukları iyi değerlendirecek projeler hedefleyebiliriz. Üniversiteler (İTÜ, Sabancı, ODTÜ, vb.), araştırma enstitüleri (Tübitak-UZAY, MAM, vb.) ve endüstri ile çeşitli ortaklıklar sonucunda yukarıda bahsedilen alıcı sistemlerinin tasarım ve üretim faaliyetleri gerçekleştirilebilir. Diğer taraftan, gerektirdiği hassas üretim teknoloji nedeniyle ülkemizde geliştirilmesi mümkün görünmeyen yüksek frekanslı alıcı bileşenleri (LNA ve SIS mixers) yurtdışındaki ARGE merkezleri ile kurulabilecek ortaklıklar sonucu temin edilebilir. Radyo teleskop çalışmalarının yalnızca astronomiye değil, beraberinde tüm uzay çalışmalarına, tıp, savunma, bilgisayar ve daha birçok disipline kaynaklık ettiğini biliyoruz. Bu nedenle, radyo astronomi çalışmalarının geniş disiplinlerden (mühendislik, doğa bilimleri, vb.) katılımlarla kararlı bir şekilde başlatılması ve bu kapsamda bir bilimsel geleneğin oluşması ülke çıkarlarımız için büyük önem arz etmektedir.

Kaynaklar

- Küçük, İ., vd.: Site selection for a radio astronomy observatory in Turkey: Atmospheric, meteorological and radio frequency analyses. *Exp. Astron.*, Vol 33, No.1, (2012), 1–26.
- Yıldız, U. A., vd.: Ulusal Radyoteleskop Projesi, XVIII. Ulusal Astronomi ve Uzay Bilimleri Kongresi VII. Ulusal Astronomi ve Uzay Bilimleri Öğrenci kongresi, (2012).
- Dishoeck, V., vd.: *ARA & A*, Vol 36, (1998), 317.
- Lada, C. J., vd.: *The origins of stars and planetary systems*. Kluwer Academic Publishers (1999), 14.
- Arce, H., vd.: *Proceedings of Protostars and Planets*, Vol 245 (2007), 260.
- Granel, C, vd.: *IEEE Antennas and Propagation*, Vol 40, (1998), 2.
- Pisanu, T, vd.: *Proceedings of 7th European VLBI Network Symposium*, (2004).
- Meyer, D. J., vd.: *ApJ*, Vol 744, (2004), 42.
- Kirk, H.: *JRASC*, Vol 105, (2012), 2.
- Clarricoats, P. J. B., vd.: *Corrugated horns for microwave antennas*, Electromagnetic waves series 18, IEEE Press, (1984).
- Gawande, R., vd.: *W-band heterodyne receiver module with 27 K noise temperature*, IEEE Microwave Symposium Digest (MTT), (2012), 1-3.

Erişim:

O24-1650: **UAK-2015 Program --- UAK Bildiri --- Turkish J.A&A.**

