ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

21 CM HİDROJEN GÖZLEMİ İÇİN RADYO TELESKOP TASARIMI

Barış DİNÇ

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2021

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

21 CM HİDROJEN GÖZLEMİ İÇİN RADYO TELESKOP TASARIMI

Barış DİNÇ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Selim Osman SELAM

Bu çalışmanın amacı rafta hazır ticari ürünler kullanılarak etkin maliyetli ve 21 cm dalga boyunda Hidrojen çizgisi gözlemi yapabilecek bir radyo teleskobun (NiLescope) tasarımı için gerekli ihtiyaçları tanımlamak ve bu ihtiyaç doğrultusunda bir radyo teleskop sistemi tasarlayarak bu teleskobun üretilmesi aşamasında alınan kararları ve yapım aşamalarını anlatmaktır.

Tez kapsamında üretilen radyo teleskobun gözlem amacıyla işletilmesi ve elde edilecek verilerin işlenmeye hazır hale getirilmesi aşamaları da ele alınmaktadır. Üretilen radyo teleskobun eşzamanlı ve dağıtık yapıda gözlemler gerçekleştirebilmesi için gerekli teorik açıklamalar da tez kapsamında ele alınmıştır.

Aralık 2021, 83 sayfa

Anahtar Kelimeler: Radyo Teleskop, Yazılım Tabanlı radyo astronomi

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

A RADIO TELESCOPE DESIGN FOR 21 CM HYDROGEN OBSERVATION

Barış DİNÇ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Astronomy and Space Science

Supervisor: Prof. Dr. Selim Osman SELAM

The aim of this study is to define the requirements for the design of a radio telescope (NiLescope) that is cost effective and can observe the Hydrogen line at 21 cm wavelength using off-the-shelf commercial products. The decisions and construction stages of the radio telescope are explained in details in this thesis.

The operation procedure of the radio telescope for hydrogen line observations are described. The theoretical explanations to perform simultaneous and distributed observations are also discussed within the scope of the thesis.

December 2021, 83 pages

Key words: Radio Telescope, Software Defined Radio Astronomy

TEŞEKKÜR

Çocukluk yaşlarımda başlayan gökyüzü ve haberleşme merakım ve bu alandaki hayallerim 1996 yılında Ankara Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra 2003 yılında başladığım Astronomi ve Uzay Bilimleri Yüksek Lisans çalışmalarım ile gerçekleşmeye başlamıştı.

Özellikle 21cm dalga boyundaki hidrojen çizgisinin dünya atmosferinden çok az bozularak geçişi nedeniyle bu dalga boyunda yapılan SETI (Search for ExtraTerrestrial Life) çalışmaları hakkında okuduğum makaleler bugün bu merakımı daha da ileri seviyeye götürerek radyo astronomi alanı için bir radyoteleskop mimarisi biçimlendirme olarak hayat bularak devam etmektedir.

Ankara Üniversitesi Rektörlük Bilgi İşlem Başkanlığı yıllarında kendisi ile çalışma fırsatı bulduğum ve mesleki hayatım üzerinde de büyük etkisi olan Sayın Prof. Dr. İ.Ethem DERMAN'a, radyo astronomi alanındaki tüm çalışmalarımı ilk gününden bu güne destekleyen ve bu çalışmayı on yılı aşkın bir süredir yüreklendiren danışmanım Sayın Prof. Dr. Selim Osman SELAM'a ve uzun süren yüksek lisans çalışmalarım boyunca benden desteğini ve bilgisini esirgemeyen bölüm hocalarım Sayın Prof. Dr. Fehmi EKMEKÇİ, Prof. Dr. Hakan Volkan ŞENAVCI ve Doç. Dr. Mesut YILMAZ'a teşekkür ederim.

Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan ve 1960'lı yıllarda Prof. Dr. Kreiken tarafından kurularak işletimi yapılan radyoteleskobun mekanik aksamının güncellenmesi ve anten performans hesaplarının yapılması konusunda beni yüreklendiren ve çalışmaların tamamında bizzat yer alarak radyo astronomi konusunda ülkemizde de çalışmalar yapılabileceğine olan inançları nedeni başta rahmetli Ahmet Tahir DENGİZ (TA2T) olmak üzere TAMSAT Amatör Uydu Teknolojileri Derneği'ndeki tüm arkadaşlarıma ve Dünyadaki Mars Projesi ekibine teşekkür ederim.

Çocukluğumdan beri tutkunu olduğum elektronik ve haberleşme alanında beni her zaman teşvik eden, bilgisayar teknolojileri konusunda da ilk adımlarımda bana destek olan aileme teşekkür ederim.

Evimizin arka bahçesini bir anten tarlasına çevirme konusunda, kullanılacak yazılım ve donanım bileşenlerinin geliştirilmesi ve test edilmesi konularının her detayında benimle birlikte hem bilgi birikimi ile hem de fiziki olarak çalışan ve çalışmanın bugünkü durumuna gelmesinde çok büyük emeği olan hayat ve hayal arkadaşım Burcu AYBAK DİNÇ'e teşekkür ederim.

Bu çalışmaların, ülkemizde başlayan radyo astronomi çalışmalarının daha da ilerlemesi konusunda, açık kaynaklı bileşenlerle daha da ileriye götürülerek yaygınlaştırılması konusuna katkısı olması ümidi ile.

Tüm çalışmalarımda ilham kaynağım olan kızım NiL'e armağanımdır.

Barış DİNÇ
Ankara, Aralık 2021

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFSI
ETİK ..... **i**
ÖZET ..... **ii**
ABSTRACT ..... **iii**
TEŞEKKÜR ..... **v**
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ ..... **ix**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **x**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi Tarihçesi **3**
1.2 Kreiken Rasathanesi Radyo Teleskop Tarihçesi **5**
2. KURUMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ **8**
2.1 Radyo Astronominin Tarihi **8**
2.2 Türkiye'de Radyo Astronominin Tarihi **9**
2.2.1 Marmara Radyo Teleskobu MRT-2 ..... **9**
2.2.2 Erciyes Radyo Teleskobu ERT-5 ..... **9**
2.3 Başlıca Radyo Emisyon Kaynakları **11**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **12**
3.1 Başlıca Özellikler **12**
3.2 Sistem Bileşenleri ve Detay Özellikleri **14**
3.2.1 Radyo teleskop birimi **15**
3.2.1.1 Anten sistemi **16**
3.2.1.2 21 cm Darband RF filtre bileşeni **40**
3.2.1.3 21 cm düşük gürültülü yükselteç bileşeni **42**
3.2.1.4 3SDR alıcı bileşeni **46**
3.2.1.5 SDR Alıcı Yazılımı **50**
3.2.1.6 GPS ile disipline edilmiş osilatör birimi **54**
3.2.1.7 Alıcı ve yönelim kontrol bilgisayarı bileşeni **56**
3.2.2 Yönetim birimi **59**
3.2.2.1 Görev kontrol ve yönetim bilgisayarı bileşeni **60**
3.2.2.2 İzleme ve sunum konsolu **64**

3.2.2.3 Yakın depolama birimi 65
3.2.2.4 Uzak depolama birimi 66
3.3 Radyo Teleskop İşletme Adımları 66
4. SONUÇ VE ÖNERİLER 69
KAYNAKLAR 71
EKLER 72
EK 1 NiLescope.py 73
EK 2 NiLescope_rapor.py 78
ÖZGEÇMİŞ 82

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Amper
AC	Alternative Current
AC	Alternative Current – Alternatif Akım
ADC	Analog to Digital Converter
API	Application Programming Interface
CO	Carbon Monoxide
Cm	Centimeter - Santimetre
DOF	Degree Of Freedom
FFT	Fast Fourier Transform
GPS	Global Positioning System
GPSDO	GPS Disciplinned Oscillator
HFSS	High Frequency Structure Simulator
Hz	Hertz
IP	Internet Protocol
IQ	In-phase Quadrature-phase
KHz	Kilo Hertz
LAN	Local Area Network
MHz	Mega Hertz
NO	Normally Open – Normalde Açık
PWM	Pulse Width Modulation
RAHAT	Rafta Hazır Ticari
RF	Radio Frequency
SDR	Software Defined Radio – yazılım tabanlı radyo
SWR	Standing Wave Ratio – Duran Dalga Oranı
TCP	Transport Control Protocol
A	Micro Amper – Mikro Amper
USB	Universal Serial Bus
VAC	Volt Alternative Current
VDC	Volt Direct Current
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
WAN	Wide Area Network

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Hidrojen atomu enerji seviyeleri geçişleri 2
Şekil 1.2 Alıcı cihazın kitapçık kapağındaki resmi ve mevcut durumu 6
Şekil 1.3 Radyo Teleskop anteninin kuruluş yıllarındaki ve mevcut halinin görünümü .. 6
Şekil 1.4 Prof. Dr. Egbert Adriaan Kreiken ve öğrencileri radyo teleskop ile çalışırken . 7
Şekil 3.1 Radyo teleskop blok şeması 14
Şekil 3.2 Radyo Teleskop Anten Bileşeni Genel Görünümü 16
Şekil 3.3 Radyo teleskop kaidesi genel görünümü 17
Şekil 3.4 Azimut yönelim sistemi genel görünümü 18
Şekil 3.5 EMOTATOR 1200 FX Azimut Motoru 19
Şekil 3.6 Azimut motoru fiziksel ölçüleri ve taban montaj detayları 21
Şekil 3.7 Yön Okuyucusu 9DOF Sayısal Sensör 23
Şekil 3.8 Anten Yönlendirici Denetim Birimi 24
Şekil 3.9 Elevasyon (ufuk yüksekliği) Yönelim Sistemi Genel Görünümü 25
Şekil 3.10 Yansıtıcı çanak yüzeyi genel görünümü ve elek aralıkları 27
Şekil 3.11 Yansıtıcı Çanak Yüzeyi Kazanç Hesaplama Formülü 28
Şekil 3.12 Silindirik Feed Anten Ölçüleri 31
Şekil 3.13 Silindirik Feed anten genel görünümü 32
Şekil 3.14 OK1DFC Septum Feed Hesap Cetveli ve 21cm İçin Ölçüleri 33
Şekil 3.15 OK1DFC Septum Feed Flare (Etek) Görünümü 34
Şekil 3.16 21cm Septum Feed FreeCAD Model 34
Şekil 3.17 21cm Septum Feed FreeCAD Model (İç Görünüş) 35
Şekil 3.18 21cm Septum Feed Üretim Çıktıları 36
Şekil 3.19 21cm Septum Feed Çanak Montajı Sonrası Görünümü 37
Şekil 3.20 RF Test laboratuvarı görünümü 38
Şekil 3.21 RF Test Düzeneği 39
Şekil 3.22 RF Vektör Network Analizör VSWR Ölçümü 40
Şekil 3.23 21cm Band Geçiren Filtrenin Blok Diyagramındaki Yeri 41
Şekil 3.24 21cm Band Geçiren Filtre Alternatifleri 41
Şekil 3.25 VBF-1445+ Frekans Tepkisi 42
Şekil 3.26 Düşük Gürültülü Yükseltici'nin Blok Diyagramındaki Yeri 43
Şekil 3.27 VHF Design 1420 MHz düşük gürültülü yükselteç şeması 44
Şekil 3.28 VHF Design 1420 MHz Spektrum Ölçümü 45
Şekil 3.29 Antene Yakın Olarak Yerleştirilmiş LNA Görünümü 45

Şekil 3.30 RTL SDR Alıcı Örnekleri 47
Şekil 3.31 ADALM Pluto SDR Cihazı 48
Şekil 3.32 ETTUS USRP2 N210 Genel Görünümü 49
Şekil 3.33 ETTUS USRP1 ve DBSRX2 Genel Görünümü 49
Şekil 3.34 SDR Sharp Ekranı Genel Görünümü 51
Şekil 3.35 Samanyolu Galaksisinin Hidrojen Çizgilerinin Görünümü 51
Şekil 3.36 GQRX Ekranı Genel Görünümü 52
Şekil 3.37 GNURadio Ekranı Genel Görünümü 53
Şekil 3.38 GNURadio 21cm Gözlem Örneği 54
Şekil 3.39 GPSDO Bileşenleri ve Genel Görünümü 55
Şekil 3.40 GPSDO Şeması 56
Şekil 3.41 Radyo Teleskop Dış Birim 57
Şekil 3.42 Koordinat Çevrimi 58
Şekil 3.43 Motor Kontrol Arayüzü 58
Şekil 3.44 Radyo Teleskop Yönetim Birimi Blok Şeması 60
Şekil 3.45 Lenovo M700 Genel Görünümü 61
Şekil 3.46 Stellarium Teleskop Kontrol Eklentisi Ekranı 62
Şekil 3.47 Stellarium Teleskop Kontrol Ayar Ekranı 62
Şekil 3.48 Stellarium Yeni Teleskop Kontrol Tanım Ekranı 63
Şekil 3.49 Stellarium Teleskop Yönelim Kontrol Bağlantı Ekranı 63
Şekil 3.50 Stellarium Teleskop Tanımlama Ekranı 64
Şekil 3.51 İzleme ve Sunum Konsolu Genel Görünümü 65
Şekil 3.52 QNAP TS-420 Depolama Birimi Genel Görünümü 65
Şekil 3.53 Uzak Veri Depolama Mimarisi 66
Şekil 3.54 Stellarium İçinden Radyo Teleskoba Yönelim Gönderilmesi 67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 EMOTATOR 1200 FX motoru özellikleri 20
Çizelge 3.2 Motor bağlantı konnektörü pin bilgileri 22
Çizelge 3.3 Aktüatör kolu teknik özellikleri 26
Çizelge 3.4 Anten opsiyonları 29
Çizelge 3.5 RF test ekipmanı 38
Çizelge 3.6 Düşük gürültülü yükseltici alternatifleri 43

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi, evrende bulunan cisimler bizlere yalnızca optik dalga boylarında ulaşmaz. Bunun haricinde bizlere ulaşabilen, elektromanyetik tayfın en düşük enerjisine sahip olan radyo dalgaları, günümüzde astronominin en önemli çalışma alanlarından biri olan "radyo astronomi"yi teşkil etmektedir.

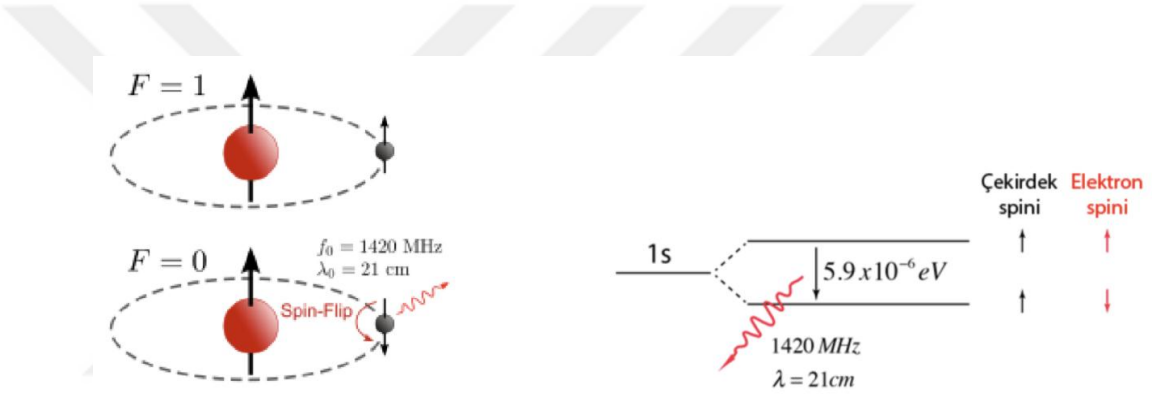
Radyo astronomiyi optik teleskoplar ile yapılan gözlemlerden ayıran başlıca önemli avantajı gözlem için havanın açık ya da bulutsuz olmasını beklemenize gerek olmamasıdır. Bulutlu ve rüzgarlı hatta fırtınalı, dahası yağmurlu ve karlı bir havada dahi gözlem yapılabilmektedir. Ayrıca gözlem yapmak için gecenin karanlığını beklemek de gerekmemekte olup radyo dalgaları her an itibari ile yeryüzüne ulaşabilmektedir. Bu sebeple gün ışığında dahi gözlem yapmamız mümkün olmaktadır (Polard 2016) .

Bu tez çalışması kapsamında rafta hazır ticari ürünler (RAHAT) ve ürünlerin birbiri ile entegrasyonu sonucunda oluşturulacak bir Radyo Teleskop Sistemi'nin tasarım ve uygulama detayları anlatılacaktır. Çalışma kapsamında üretilen tek bir gözlem düzeneği ve yönetim sisteminden oluşmasına karşın altyapısı genişleyebilir bir mimaride tasarlanmış olup ileride eklenebilecek anten bileşenleri ile eş zamanlı veya dağıtık gözlemlerin (interferometre) gerçekleştirilebilmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Radyo astronomi çalışmaları radyo spektrumunun pek çok bölgesinde farklı elementlerin veya moleküllerin radyo dalgası yayınlarını gözlemlemek için kullanılıyor olsa da bu çalışmada hedeflenen gözlem, H I çizgisi yani nötr hidrojen atomlarının enerji seviyesindeki bir değişiklikle oluşturulan elektromanyetik çizginin gözlemlenmesidir. Bu elektromanyetik radyasyon, 1,420,405,751,7667 ± 0,0009 Hz'lik kesin bir frekanstadır. Bu salınım boş uzayda 21.1061140542 cm'lik vakum dalga boyuna eşdeğerdir. Bu dalga boyu, elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesi içinde yer alır ve radyo astronomide sıklıkla gözlemlenir. Çünkü bu radyo dalgaları, görünür ışığa opak olan büyük yıldızlararası kozmik toz bulutlarına nüfuz edebilmektedir.

Bu çalışmada, 21 cm dalga boyundaki hidrojen çizgisinin gözlenmesi ve kayıt altına alınmasına imkan sağlayacak otonom bir sistem gerçekleştirilmiş olup, bu sistemin diğer dalga boylarındaki radyo astronomi gözlemlerine uyarlanması bu çalışma kapsamında incelenen prensipler çerçevesinde gerçekleştirilebilir.

Hidrojen çizgisinin radyo dalgası kaynağı, bir elektronun hidrojen 1s temel durumunun ≈ 5.87433 μeV enerji farkına sahip iki aşırı ince seviyesi arasındaki atomik geçişinden gelir. İki farklı enerji seviyesi arasındaki bu geçişin frekansı, ν, Planck-Einstein ilişkisi E = hν ile verilir. Bu ilişkiye göre; 1,420,405,751,7667 Hz ile salınan bir fotonun enerjisi ≈ 5,87433 μeV'dir.



Şekil 1.1 Hidrojen atomu enerji seviyeleri geçişleri

Radyo teknolojisindeki gelişmeler ve "yazılım tabanlı radyo" (Software Defined Radio), geçmişte çok yüksek maliyetlerle erişilebilen hassas radyo sinyali algılayıcılarının günümüzde erişilebilir maliyetlerle yapılabilmesine olanak sağlamıştır. Üstelik yazılım tabanlı radyo alıcılarının sinyal/gürültü oranı çok düşük olan sinyallerin algılanmasındaki başarımı onların radyo astronomi alanında kullanımlarının da önünü açmıştır.

Ülkemizde radyo astronomi alanındaki çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Mevcut radyo astronomi sistemleri dışa bağımlı ürünlerden oluşturulmuş, bakım ve idamesi konusunda yaşanan sorunlar nedeni ile de etkin olarak işletilememektedir.

Bu tez kapsamında tasarlanan Radyo Teleskop Sistemi'nin ülkemiz için alanında bir ilk olduğu ve ülkemizde geliştirilecek yeni nesil Radyo teleskop çalışmaları için ışık tutacağı öngörülmektedir. Tez kapsamında tasarlanan sistemin düşük maliyet hedefleri ile gerçekleştirilebilmesi hedeflenmiş olup, ülkemizdeki radyo astronomi gözlem altyapısının oluşturulması ve yaygınlaştırılmasında önemli bir rol oynayacağı değerlendirilmektedir.

Sistemin erişilebilir düşük maliyetlerle hayata geçirilebilmesi için öncelikle 21cm Hidrojen çizgisi (1420 MHz) gözlemi yapabilecek bir sistem önerilmiş olup, çalışma prensibi ve yazılım bileşenleri aynı kalmak üzere yazılım tabanlı radyo bileşeninin daha yüksek frekanslı eşlenikleri ile değiştirilmesi suretiyle farklı dalga boylarında çalışabilecek Radyo Teleskopların tasarlanabileceği ve üretilebileceği (Örneğin 2.8 GHz -10.7cm- Güneş Radyo Akısı Gözlemleri) öngörülmektedir.

Tez çalışma konusunun radyo astronomi ve radyo teleskop olarak belirlenmesinde en önemli etkilerden biri de; Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan ve Prof. Dr. Egbert Adriaan KREIKEN tarafından 1950'li yıllarda kurulan ve Güneş patlamalarını gözlemlemek için işletilen radyo teleskobun güncellenmesi için yaptığım seminer çalışmaları ve Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nden başlayarak ülkemizde yeni bir radyo astronomi ağı oluşturulması hayallerimdir.

1.1 Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi Tarihçesi

26 Ağustos 1963 tarihinde şu anki adı ile Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'ni kuracak ve bilim dünyasına kazandıracak olan, Türkiye'de gözlemsel astronominin başlamasına büyük katkı sağlayan Prof. Dr. Egbert Adriaan KREIKEN, 1 Kasım 1896 tarihinde Barneveld / Hollanda'da Kreiken ailesinin en küçük çocuğu olarak Dünya'ya geldi. Üniversite yıllarına kadar Fransa ve Hollanda'da eğitim gördü. Üniversite dönemi ise, Leiden / Hollanda'da bulunan Groningen Üniversitesi'nde matematik ve fizik alanlarında eğitim aldı. Lisansüstü eğitimine, dönemin ünlü astronomlarından olan Prof. J. C. Kapteyn'in danışmanlığında başlamış, ilerleyen yıllarda Prof. Kapteyn'in ölümü

üzerine danışmanı yine dönemin ünlü astronomlarından Prof. P. J. van Rhijn olmuştur. 21 Şubat 1923 tarihinde, doktorasını tamamlayarak doktor ünvanını aldı.

Bir süre lise düzeyi okullarda fizik öğretmenliği yapan Kreiken, 1926 yılında Amsterdam Üniversitesi'ne Doçent olarak atandı ve burada astronomi alanında dersler verdi. 1928 yılında Endonezya'da bulunan Bosscha Gözlemevi'nden gelen teklifi kabul ederek orada göreve başladı. 1930 yılı sonlarına kadar Bosscha Gözlemevi'nde kaldı. Bu süreçte görsel çift yıldızların dinamiği ve galaktik dağılımları konusunda yaptığı bilimsel çalışmalar konusunda çok sayıda makale yayınladı. Endonezya'da yaklaşık 20 yıl kadar kalıp birçok farklı konumda görev aldı. Farklı düzeyde okullarda matematik ve fizik dersleri verdi. Hatta bugün Endonezya Üniversitesi olarak bilinen üniversitenin kurucu rektörü oldu.

Endonezya'da eğitime yaptığı katkılardan sonra UNESCO aracılığı ile önce Liberya'ya gitti, daha sonra 1954 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi'ne atandı. Prof. Dr. Kreiken sayesinde, 1944 yılında kurulan ve Kreiken'in atandığı 1954 yılında kapanmanın eşiğine gelmiş olan Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi'ne bağlı Astronomi Enstitüsü küllerinden yeniden doğacaktır. Bu yeniden doğuş öyküsü, Kreiken'in bugüne kadar geçirdiği tecrübeler ve bilime olan gönül bağı ile ilgilidir. Kreiken'in çabaları Ankara Üniversitesi ve Milli Savunma Bakanlığı'nın destekleri ile başlayan gözlemevi çalışmaları, 26 Ağustos 1963 tarihinde NATO tarafından desteklenen uluslararası bir toplantı ile gözlemevinin açılışı ile tamamlanmıştır. Bundan yaklaşık bir yıl sonra, Prof. Dr. Kreiken Uluslararası Astronomi Birliği'nin bir toplantısına katılmak için gittiği ülkesinde ani bir rahatsızlık sonucu 16 Ağustos 1964 tarihinde vefat etmiştir. Prof. Dr. Kreiken'in Ankara Üniversitesi'nde geçirdiği zamanların, hayatının en güzel günleri olduğunu eşi daha sonraları yazdığı bir mektupta dile getirmiştir. Eşi Frances Kreiken, Prof. Dr. Kreiken'in kendisine şöyle dediğini belirtmiştir; "I never worked with so much pleasure as here".

1.2 Kreiken Rasathanesi Radyo Teleskop Tarihçesi

Rasathane arşivinde bulunan Radyo Teleskop dokümanlarından "Ionosphere and Radio Astronomy of the Hollanda PTT" (A.D. Fokker, 1957) isimli dokümanda 1954 – 1957 yılları arasında gözlemlenen radyo sinyalleri gürültüleri ile güneş patlamaları arasında bir ilişki olabileceği ama henüz bunu kesin olarak ifade edecek kanıtların olmadığı, Hollanda PTT'si tarafından üretilen 200 ve 545 MHz frekanslarında çalışan bu alıcılarla bu ilişkinin oluşturulmaya çalışılacağı bilgisine yer verilmektedir.

Henüz güneş patlamalarının radyo frekansları üzerindeki etkisinin yeni yeni araştırılmaya başlandığı yıllarda Ankara Üniversitesi Rasathanesi'ne kurulan bu radyo teleskop ile de veriler toplanmıştır.

1980'li yıllara kadar bu radyo teleskobun çalıştırılmış olduğu tahmin edilmektedir.

Günümüzde güneş patlamalarının tespiti ve izlenmesi için çok daha modern sistemler kullanılmakta olup, bu çalışma kapsamında "belki de dünyada aynı cihazlardan hiçbirinin" faal olmadığı NETHERLANDS PTT Solar Algılayıcısını tekrar faal hale getirerek Ankara Üniversitesi Ahlatlıbel Kreiken Rasathanesi Müzesi kapsamında faal olarak sergilemek hedeflenmektedir.

Aşağıdaki şekilde radyo teleskobun dokümanlarında yer alan orjinal resmi ve halihazırda rasathane müzesinde yer alan halinin resimleri gösterilmektedir.

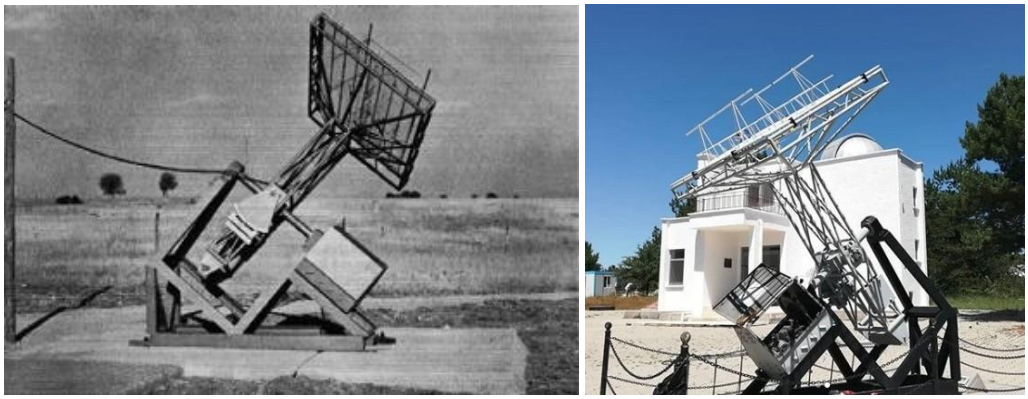


Şekil 1.2 Alıcı cihazın kitapçık kapağındaki resmi ve mevcut durumu

Alıcı sistemi 1950'li yılların tüplü güçlendiriciler teknolojisi kullanılarak üretilmiş olup cihaza bağlı bir panel anten de alıcıya yakın bir noktaya ekvatoryal düzlemde Güneş'i senkron olarak takip edecek şekilde yerleştirilmiştir.

Güneş leke gözlemlerinde kullanılan radyo teleskop 200MHz ve 545MHz'de çalışan düzlemsel yansıtıcılı dipol anten dizilerinden oluşan bir panel antenle çalışmaktadır.

Aşağıda anten sisteminin 1960'lı yıllardaki ve günümüzdeki hallerinin resimleri görülmektedir.



Şekil 1.3 Radyo Teleskop anteninin kuruluş yıllarındaki ve mevcut halinin görünümü

1960’lı yıllarda radyo teleskobun aktif olarak kullanılmakta olduğu tahmin ediliyor olup, aşağıda Prof. Dr. KREIKEN’in öğrencileri ile birlikte radyo teleskopla çalışma anlarına ait bir görüntü yer almaktadır.



Şekil 1.4 Prof. Dr. Egbert Adriaan Kreiken ve öğrencileri radyo teleskop ile çalışırken

2. KURUMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Radyo Astronominin Tarihi

Karl Jansky 1933'te bir yıldız gününe denk gelen 23 saat 56 dakikalık periyoda sahip olan bir radyo sinyali keşfetti. Bu, Dünya'da alınan ilk dünya dışı radyo sinyalidir. 1937'de, Jansky'nin ekibinde işe alınamayan Grote Reber kendi kaynakları ile uzaydan gelen radyo sinyallerini algılamak için bir radyo teleskop yaptı.

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra askeri teçhizatlardan (radarlar) dönüştürülerek daha büyük ölçekte antenler yapılarak daha detaylı araştırmalar yapılmaya başlandı. Fransa'da 1947'de Yves Rocard, Almanlardan kalan 7,5 m çapında iki anten ile, Jean-François Denisse tarafından işletilen bir gözlemevi kurdu. 1952'de elde ettiği kaynaklarla Nancay'da (Fransa) daha büyük bir radyo astronomi gözlem istasyonu inşa etmeye başladı ve 1956'da hizmete giren 32 radyo teleskoplu bir gözlemevi inşa etti.

25 Mart 1951, Harold Ewen ve Edward Purcell, Samanyolu'ndaki 21 cm'lik nötr hidrojen çizgisini bir horn antenle algılamayı başardı.

1963'te Arno Allan Penzias ve Robert Woodrow Wilson, iletim ekipmanlarındaki arka plan gürültüsünü ortadan kaldırmaya çalışırken Büyük Patlama'nın artık radyasyonunu keşfettiler.

1965 yılında kozmik mikrodalga arka fon ışınımı keşfedildi. 1967'de Jocelyn Bell Burnell ilk pulsarı saptadı, ancak astronomiye katkılarından dolayı 1974 Nobel Fizik Ödülü'nü alan danışmanı Antony Hewish oldu.

2.2 Türkiye’de Radyo Astronominin Tarihi

Ankara Üniversitesi’nde başlatılan Güneş patlamaları gözlemleri ardından Türkiye’de gerçekleştirilen sınırlı sayıdaki radyo astronomi denemelerinin en önemlileri Marmara Radyo Teleskobu ve Erciyes Radyo Teleskobu’dur.

2.2.1 Marmara Radyo Teleskobu MRT-2

Erciyes Üniversitesi'nde bulunan Erciyes Radyo Teleskobu ERT-5'in macerası 1996’da TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi’nde (MAM) başlamıştır. İlk teleskop, UNIDO'nun yardımları ile Kharkov radyo astronomi Enstitüsü'nden (RIAN-UKRAYNA) alınan 2m. çapındaki Marmara Radyo Teleskobu MRT-2’dir.

Türkiye'de ilk radyo astronomi gözlemleri bu teleskopla Marmara Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır (Özel, Yusifov, Karelin, Demircan, Gözel, Adıgüzel, Bayer, Demirel 1997). Teleskobun tasarımı Samanyolu galaksisindeki karbonmonoksit (CO) gözlemleri için yapılmıştı ve teleskop 85 GHz ile 115 GHz frekans aralığında çalışıyordu. Teleskop genel olarak bu gözlem için tasarlanmış olsa da yaşanan teknik sorunlar sonucu sadece stratosferik ozon, Güneş ve Ay gözlemleri yapılabilmiştir. Çok daha kötüsü 1997 yılında teleskop tamamen çalışmaz hale gelmiştir. Teleskobun Kharkov radyo astronomi Ensutitüsü'ndeki yapım ekibi, tamir çalışmaları için Türkiye'ye gelmeyi kabul etmemişler ve teleskobun Ukrayna Rian'a yollanmasını istemişlerdir. Bu hem Marmara Araştırma Merkezi için çok masraflı bir işti hem de alabilecekleri sonuçtan emin değillerdi. Ardından 2000 yılında MRT-2 TÜBİTAK tarafından tüm ekipmanları ile birlikte Erciyes Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'ne hibe edilmiştir(Küçük, Yusifov, Özel, Mete 2002).

2.2.2 Erciyes Radyo Teleskobu ERT-5

MRT-2 Erciyes Üniversitesi'ne gelmiş fakat çalışmaz halde olduğu için tamir ve güncelleştirilmesi çalışmaları amacı ile yeni bir proje teklifi hazırlanarak onarım

işlemleri yaptırılmaya çalışılmıştır. Projede malzeme ve uzmanların masraflarının Erciyes Üniversitesi tarafından karşılanması koşulu ile Kharkov radyo astronomi Enstitüsü'nden bir ekibin Türkiye'ye gelmesi teklif edilmiştir. Ama yine Ukraynalı uzmanlar teleskobun Kharkov radyo astronomi Ensütüsü'ne yollanmasını istemişlerdir. Bu işlem çok masraflı olacağı için durum belirsiz kalmıştır.

Bunun üzerine hocalarımız Dr. İbrahim KÜÇÜK ve Dr. İsmail YUSİFOV Türkiye'den ve Yurtdışından alabilecekleri malzemeler ile kendi olanaklarıyla bir radyo teleskop hazırlamayı düşünmüşlerdir. Ülkemiz radyo astronomi alanında bilim adamı yetiştirilmesinde, radyo astronomik veri analizinde ve inceleme süreçlerinde çok geride kalmaktadır (Küçük, Yusifov 2002). Bu eksikliği bir anlamda gidermek ve radyo astronomik araştırmalara kısmen de olsa katılmak, aynı zamanda radyo astronomik gözlem yöntemlerine sahip olmak için, üniversite içi olanaklar dahilinde 5m'lik radyo teleskobun inşa edilmesi kararı alınmıştır.

Radyo teleskobu oluşturan parçaların araştırılmasına başlanmış ve bir plan yapılmıştır. Radyo teleskobun en önemli ve pahalı parçası parabolik çanaktır. Bu önemli aşama Türk Telekom Kayseri Bölge Müdürlüğü ile yapılan görüşmeler sonucu aşılmış ve 2 adet 5m çapında çanak üniversitemize hibe edilmiştir. TÜBİTAK'tan alınan çanaklar ile birlikte bölümümüzde olan çanak sayısı 2m, 3m ve iki adet 5m olmak üzere toplam 4 adet olmuştur.

Erciyes Üniversitesi'nde, radyo teleskop için hazırlanmış projeler şunlardır:

- ERT-2 Radyo Teleskobunun Rehabilitasyonu, Erciyes Üniversitesi Araştırma Projesi 2001-2002
- Pulsar ve Magnetar olarak bilinen Nötron Yıldızların evrimi, Erciyes Üniversitesi Araştırma Projesi 2001-2002.
- Erciyes Üniversitesi Radyo Teleskobunun Otomatik Takip Sisteminin ve 1420MHz Frekansta Çalışan Nötr Hidrojen Alıcısının Geliştirilmesi 2003-2006.

- 5 metre çaplı 2 veya daha fazla antenden oluşan Radyo Interferometre Tasarımı, Erciyes Üniversitesi Araştırma Projesi 2003-2006.

2.3 Başlıca Radyo Emisyon Kaynakları

Radyo teleskoplar yardımı ile gözlemleyebileceğimiz başlıca radyo emisyon kaynakları şunlardır;

- Termal emisyon : kara-cisim tayfı (örn. Ay),
- Serbest-serbest emisyon (Bremsstrahlung): iyonize gaz (ör. H II bölgeleri)
- Sinkrotron emisyonu : manyetik alanda yüklü göreli parçacıklar (örn. AGN jetleri)
- Spektral çizgi absorpsiyonu : arka plan süreklilik emisyonuna karşı görülen çizgiler (örn. H I)
- Spektral çizgi emisyonu : atomlar, radikaller, moleküller (örn. CO)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, tasarlanan 21cm radyo teleskobunun temel özellikleri, bileşenleri ve bu bileşenlerin seçiminde göz önünde bulundurulan kriterler ele alınacaktır. Bileşenlerin bir araya getirilmesi ile oluşturulacak radyo teleskop sisteminin çalışma prensibi, işletilmesi ve toplanan verilerin analiz edilmeye hazır hale getirilmesi de bu bölüm kapsamında ele alınacaktır.

Radyo teleskop çalışmalarım; 2000'li yıllarda Linux tabanlı donanımlardan oluşan ve gelişmiş mikrodalga alıcı çipleri içeren sayısal televizyon uydu alıcıları (Dreambox Set-top-box, vb.) ile başlamış olup ilerleyen zamanla teknolojik gelişmelere de uyumlandırılarak günümüzün teknolojisi yakalanmaya çalışılmıştır.

Önceki bölümlerde de ele alınan radyo astronominin gelişimi boyunca pek çok radyo alıcı teknikleri teknolojinin gelişimine paralel olarak radyo astronomi alanında radyo teleskoplara da uyarlanmıştır. Bu çalışmada tasarlanan ve hayata geçirilen radyo teleskop çalışmasının özü özellikle 2000'li yıllar sonrasında çok hızlı analog-sayısal çeviricilerin üretilebilmesi ile radyo haberleşme teknolojisinde köklü değişiklikler yaparak klasik süperheterodin alıcıların yerini almış olan "yazılım tabanlı radyo" (Software Defined Radio-SDR) teknolojisi olacaktır.

Haberleşmenin her alanında olduğu gibi SDR teknolojisi radyo astronomi alanında da hızlıca kullanım olanağı bulmuştur.

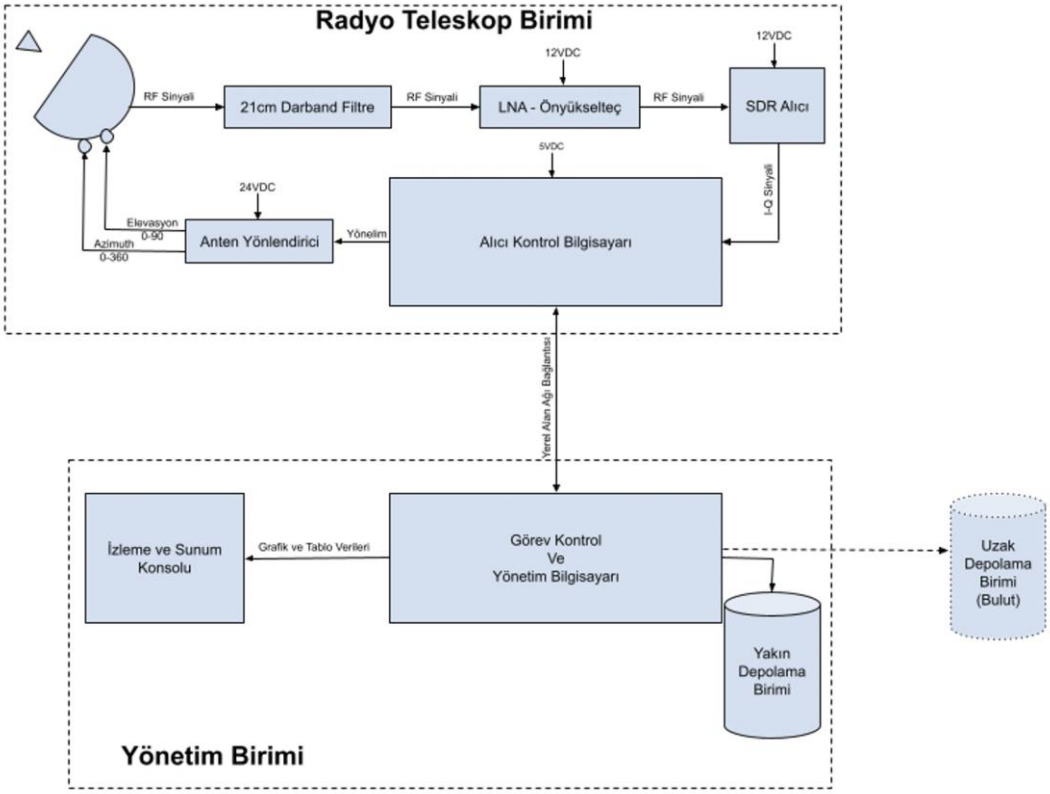
3.1 Başlıca Özellikler

21cm radyo teleskobu aşağıdaki temel özelliklere sahiptir;

- Radyo teleskop alıcısı yazılım tabanlı radyo (SDR) teknolojisindedir,
- f = 1,420,405,751.7667 Hz merkezi frekansındaki radyo sinyallerini alabilecek bir alıcıya sahiptir,

- Maksimum frekans kararlılığı için GPSDO (GPS Disciplined Oscilator) ile birlikte çalışmaktadır,
- Alıcı sistemi, sinyale ait genlik (güç) ve faz bilgilerini sayısal olarak sunmaktadır,
- SDR alıcısı bir Raspberry Pi-4 ile entegre olarak çalışmaktadır,
- Anten birimi ile gözlemci (operatör) birimleri yerel alan ağı (LAN) üzerinden iletişim kurmaktadır,
- LAN bağlantısı gözlemciyi gözlem noktasından uzakta da çalışabilmeye imkan sağlayacak şekilde geniş alan ağına (WAN) yönlendirilebilmektedir,
- Alınan radyo sinyallerini görsel olarak sunacak bir arayüze sahiptir, bu arayüzde aşağıdaki bilgiler sergilenmektedir;
    - Gözlem bileşenlerinin durumu (anten, alıcı, iletişim, vb.),
    - Çok zamanlı şelale görünümü (waterfall),
    - Zaman aralığı seçimli sinyal genliği - zaman grafikleri,
- Sisteme entegre edilmiş hareketli bir çanak anten platformu vardır,
- Çanak odağında dairesel polarizasyonda (hem yatay, hem düşey polarizasyon) çalışan bir anten ölçeklenmiştir,
- Çanak anten platformu yatayda 0-360 derece, düşeyde ise 0-90 derece hareket edebilmektedir,
- Anten yönelimini sağlayan mekanik bileşenler bilgisayar birimleri tarafından otomatik olarak kontrol edilmektedir,
- Gökyüzü takibi için Linux ortamında Stellarium (http://www.stellarium.org) yazılımı kullanılmaktadır,
- Anten yönelimi Stellarium 0.18.3 API arayüzü kullanılmaktadır,

Sistemin genel mimarisi aşağıdaki blok-diyagramda gösterilmiştir:



Şekil 3.1 Radyo teleskop blok şeması

3.2 Sistem Bileşenleri ve Detay Özellikleri

Bu bölümde radyo teleskop sistemine ait her bir bileşenin seçiminde ve tasarımında göz önünde bulundurulan ihtiyaçlar anlatılarak, bileşen için uygun görülen seçeneklerin karşılaştırmaları yapılacak ve tercih edilen seçeneğin detay özellikleri belirtildi.

Bu bölüm kapsamında aşağıdaki bileşenler incelendi;

- Radyo Teleskop Birimi
    - Anten Sistemi
        - Kaide
        - Azimut Yönelim Sistemi
            - Yönlendirici Motor
            - Yön Okuyucusu

        - Yönlendirici Denetim Birimi
    - Elevasyon (Ufuk Yüksekliği) Yönelim Sistemi
        - Yönlendirici Motor
        - Yön Okuyucusu
        - Yönlendirici Denetim Birimi
    - Yansıtıcı Çanak Yüzeyi
    - Alıcı Anten Bileşeni
  - 21 cm Darband RF Filtre Bileşeni
  - 21 cm Düşük Gürültülü Yükselteç Bileşeni
  - SDR Alıcı Bileşeni
  - SDR Alıcı Yazılımı
  - GPS ile Disipline Edilmiş Osilatör Birimi
  - Alıcı ve Yönelim Kontrol Bilgisayarı Bileşeni
- Yönetim Birimi
  - Görev Kontrol ve Yönetim Bilgisayarı Bileşeni
  - İzleme ve Sunum Konsolu
  - Yakın Depolama Birimi
  - Uzak Depolama Birimi

3.2.1 Radyo teleskop birimi

Radyo Teleskop Birimi, sistemin ana bileşeni olup hedefe yönelimi, izlenmesini ve alınan sinyallerin ilk işlenmesini sağlayan ve bu amaca hizmet eden destek alt bileşenlerinden oluşmaktadır.

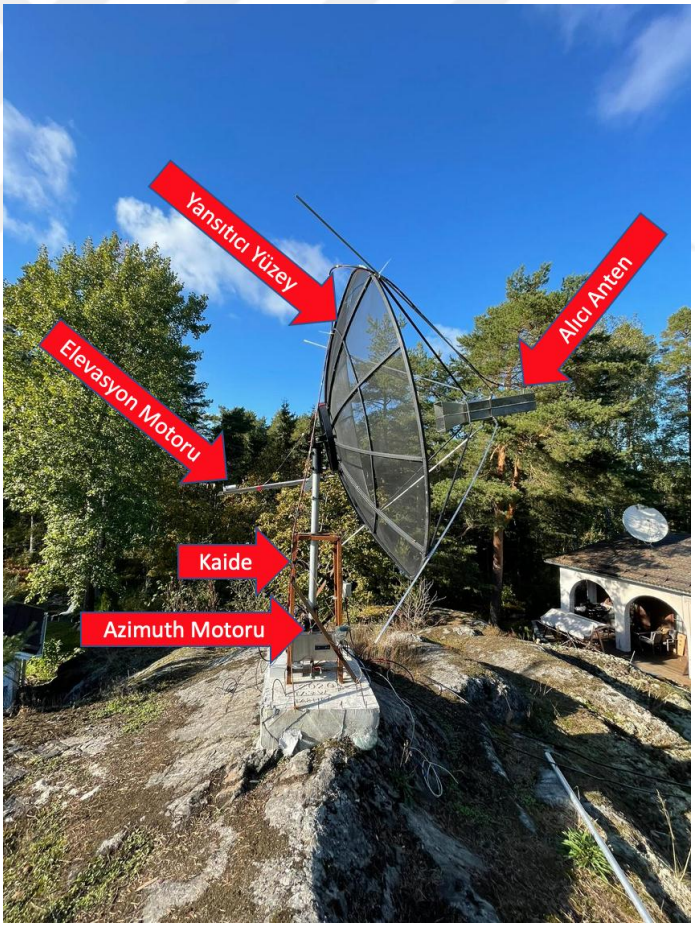
Radyo teleskop birimi kendi başına otonom olarak çalışabilir şekilde tasarlanmıştır. Sistemin genişleyebilirliğini sağlamak amacı ile, yerel alan ağı ve/veya geniş alan ağı yönetim birimine bağlanarak çok sayıda radyo teleskop ile eş zamanlı gözlemlerin yapılabilmesine imkan sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Radyo teleskop sistemi pasif anten elemanları ve mekanik bileşenlerin yanı sıra çalışılacak frekansa uygun filtre elemanları, düşük gürültülü yükselteçler ve yazılım tabanlı radyo alıcısından oluşmaktadır.

3.2.1.1 Anten sistemi

Anten sistemi; rüzgara dayanıklı bir kaide üzerine oturtulmuş ve radyo teleskop bileşenlerini dış ortam etkilerinden korurken antenin tüm hava koşullarında hassas yönelimini sağlayacak bileşenlerden oluşmaktadır.

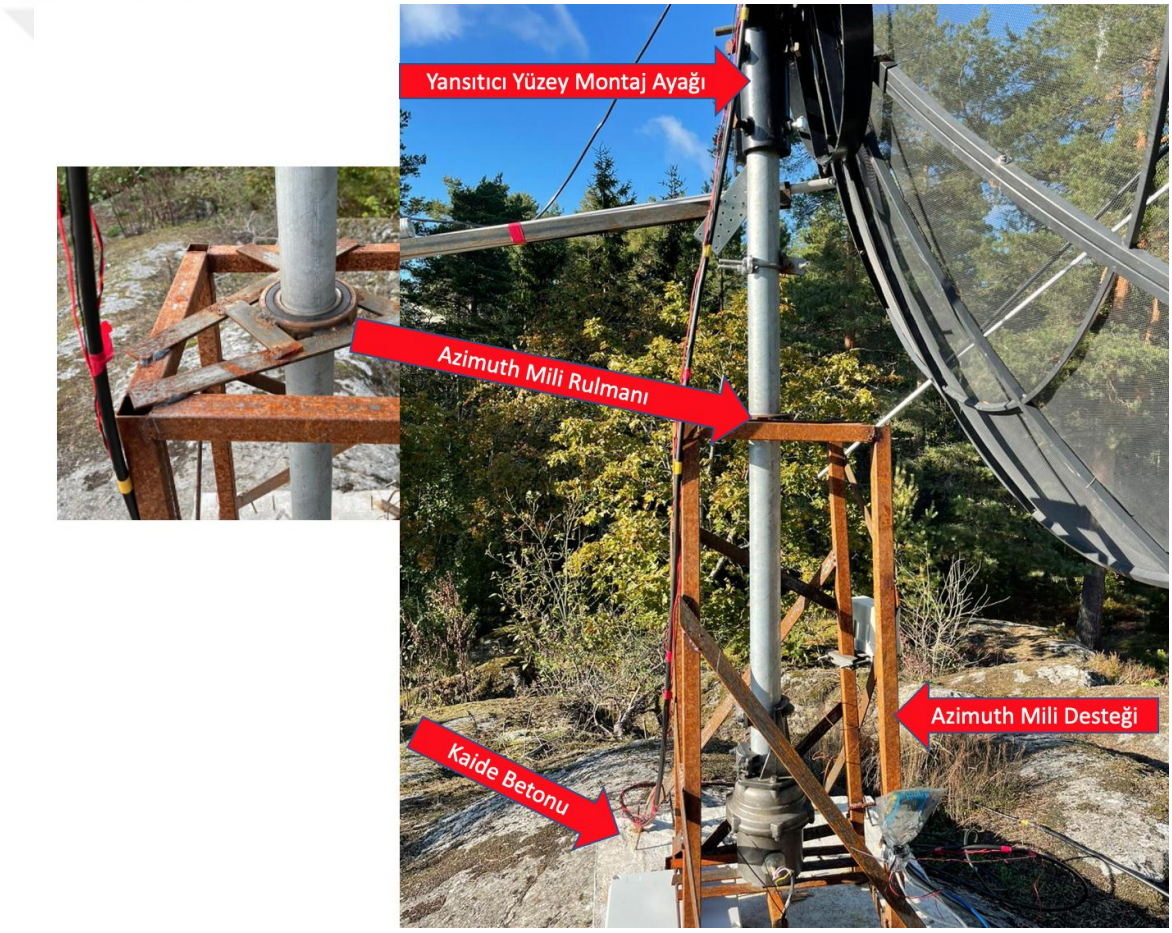
Anten sisteminin genel görünümü aşağıdaki gibidir;



Şekil 3.2 Radyo Teleskop Anten Bileşeni Genel Görünümü

Kaide: Kaidenin görevi fiziksel anten bileşenlerinin rüzgar etkilerine karşı dayanımını arttıracak şekilde oluşturulmuş yapısı ile hem antenin stabilitesini sağlamak hem de üzerine konuşlandırılan yönelim bileşenleri sayesinde anten sisteminin gökyüzünde istenilen noktaya yönlendirilebilmesine olanak sağlamaktır. Kaidenin sağlam ve yere iyi sabitlenmiş olması kötü hava şartları altında yapılacak ölçümler esnasında antenin bakış doğrultusunun değişmemesini veya titrememesini engelleyerek sağlıklı ölçümler yapılmasını da sağlamaktır.

Kaidenin genel görünümü aşağıdaki gibidir;



Şekil 3.3 Radyo teleskop kaidesi genel görünümü

Yukarıda gösterilen kaide, bir kaya üzerine delikler açılarak içine yerleştirilen demir çubuklar üzerine kurulmuş bir karkas ve bu karkas üzerine dökülmüş ağır beton bloktan

oluşmakta olup, bu blok içindeki demirlere betonlama öncesinde kaynaklanmış azimut mili desteği demirlerinden oluşmaktadır. Kaidenin merkezine oturtulmuş ve sabitlenmiş olan azimut motoru göbeğine yerleştirilmiş olan azimut motoruna tüm hareketli aksamın yükünü taşıyabilecek bir boru yerleştirilerek bu borunun dönerken yalpalamasını ya da titremesini engelleyecek şekilde (aynı zamanda da kolayca dönebilmesini sağlamak amacıyla) bir rulman kaynaklanmıştır.

Azimut Yönelim Sistemi: Kaide ortasına merkezi olarak sabitlenmiş bir motor ve bu motorun üzerine yerleştirilerek kaideye üst noktasından da bir rulman ile sabitlenmiş düzenek antenin azimut hareketini sağlamaktadır.



Şekil 3.4 Azimut yönelim sistemi genel görünümü

Yönlendirici Motor: Antenin azimut hareketini sağlamak amacıyla EMOTATOR 1200 FX anten yönlendirme motoru kullanılmaktadır.



Şekil 3.5 EMOTATOR 1200 FX Azimut Motoru

EMOTATOR 1200 FX'in teknik özellikleri çizelge 3.1'de verilmiştir;

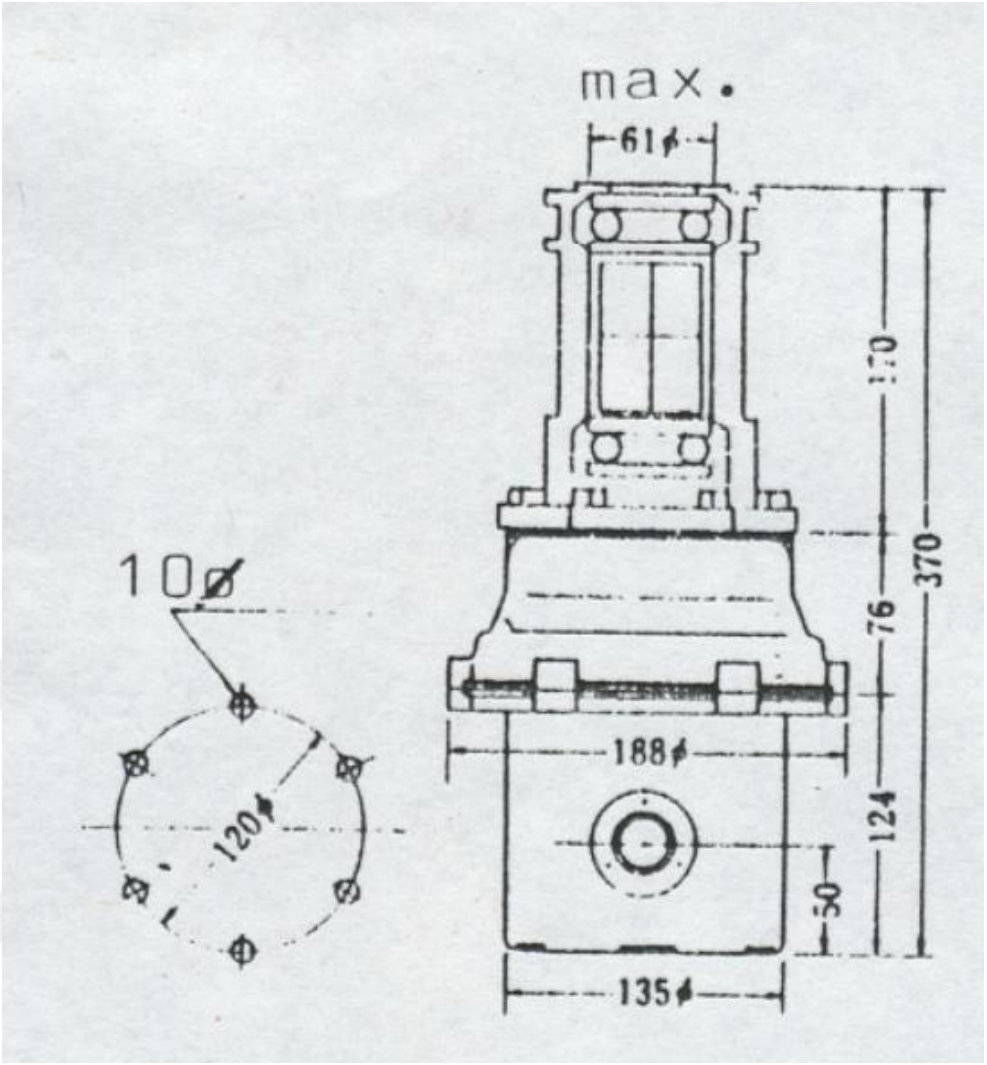
Çizelge 3.1 Emotator 1200 Fx Motoru Özellikleri

Üretici	EMOTATOR	
Model	**1200 FX**	
Tork	**DC Besleme (V)**	**Tork (Kg.m)**
	28	20
	24	15
	20	12
Frenleme Torku	1800 Kg.m	
Dönüş Süresi	40 – 100 Saniye (ayarlanabilir)	
Maksimum Yük	1000 Kg	
Boru Çapı	32-62mm	
Rüzgar Yükü (A)	2,5 m^2	
Ağırlık	6 Kg	
Eylemsizlik Momenti (GD^2)	1000Kg.m^2	

Azimut ekseninde yapılan motor sürücü testlerinde antenin ancak 24 Volt üzeri bir gerilimde (15 Kg.m tork ile) dönüş yapabildiği gözlemlendiği için besleme voltajı olarak 24 Volt DC kullanılmıştır.

Antenin dönüş hızını ayarlamak amacıyla, kullanılan motor sürücü devresi üzerinde de bulunan, PWM dalga şekli kullanılmasına gerek olmadığı, 24 VDC uygulandığında motorun dönüş hızının gök cisimlerini takip etmek için yeterli bir hız olduğuna kanaat getirilmiştir. Bu nedenle anten döndürme hız ayarlaması yapılması tercih edilmemiştir.

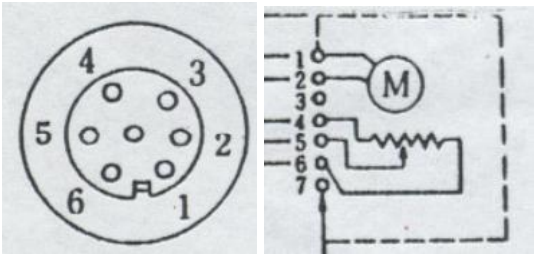
Motor montajı için fiziksel ölçüleri şekil 3.6'da görüldüğü gibidir;



Şekil 3.6 Azimut motoru fiziksel ölçüleri ve taban montaj detayları

Motor bağlantı birimi 7 pinli bir konnektörden oluşmakta olup pin açıklamaları ve görünüşü çizelge 3.2'de verildiği gibidir;

Çizelge 3.2 Motor Bağlantı Konnektörü Pin Bilgileri

<table>
<tr><td>Pin Sayısı</td><td colspan="2">7</td></tr>
<tr><td>Görünüm</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td rowspan="8">Pin Bağlantıları</td><td>Pin No</td><td>Görev</td></tr>
<tr><td>1</td><td>Motor Ucu</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Motor Ucu</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Boş</td></tr>
<tr><td>4</td><td>Pozisyon Direnci</td></tr>
<tr><td>5</td><td>Pozisyon Direnci (orta)</td></tr>
<tr><td>6</td><td>Pozisyon Direnci</td></tr>
<tr><td>7</td><td>Boş</td></tr>
</table>

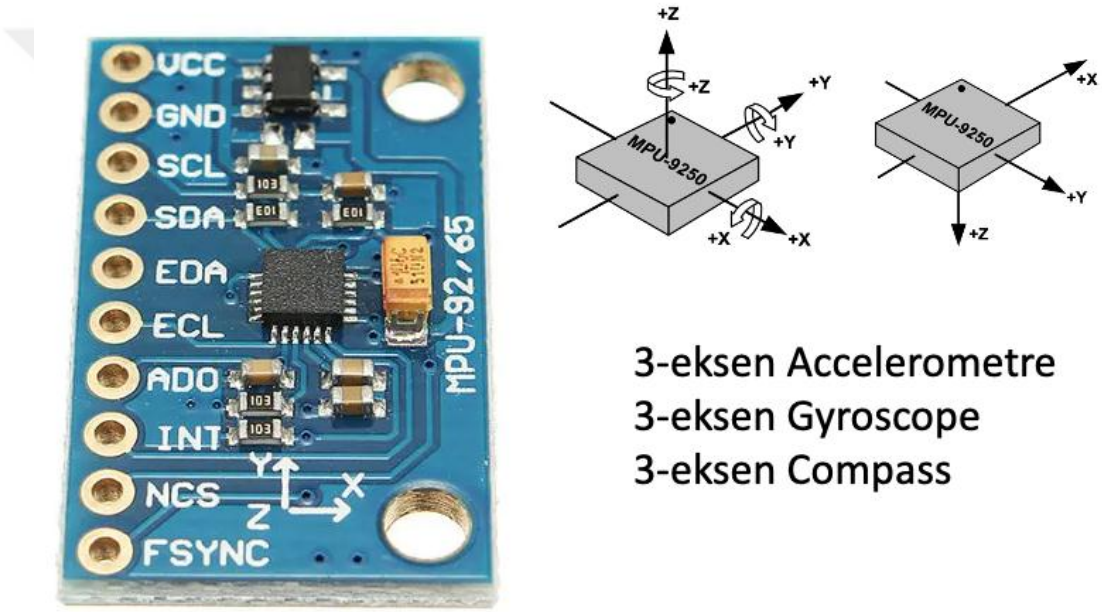
Çalışma prensibi;

- 1 ve 2 numaralı pinlere DC voltaj uygulandığında motor bir yönde hareket etmeye başlar,
- 1 ve 2 numaralı pinlere uygulanan DC voltajın polarizasyonu ters çevrildiğinde motor diğer yönde dönmeye başlar,
- Motorun mevcut konumu 4,5 ve 6 numaralı pinlere bağlanmış olan 500 Ohm'luk bir direnç üzerinden okunabilir.

Yön Okuyucusu: Antenin azimut koordinatı iki farklı sensörden okunmaktadır. Bunlardan birincisi motor içerisine entegre edilmiş ve motorun duruş pozisyonunu 500

Ohm'luk bir potansiyometre bacaklarından okuyabildiğimiz motorun 4,5 ve 6 numaralı pinleridir. Bu pinler üzerinden direnç değeri okunduğunda kullanılan ADC (Analog Digital Converter) çözünürlüğüne uygun olarak istenilen çözünürlükte okunur.

Motor üzerindeki analog direnç değeri bilgisine ek olarak bir de antenin arka yüzeyine monte edilmiş olan 9 eksenli ölçüm yapabilen (9-DOF) bir elektronik bileşenden de sayısal olarak aynı verinin doğrulaması okunur. Bu amaçla piyasadan hazır temin edilebilen MPU9250/6500 devresi kullanılmıştır.

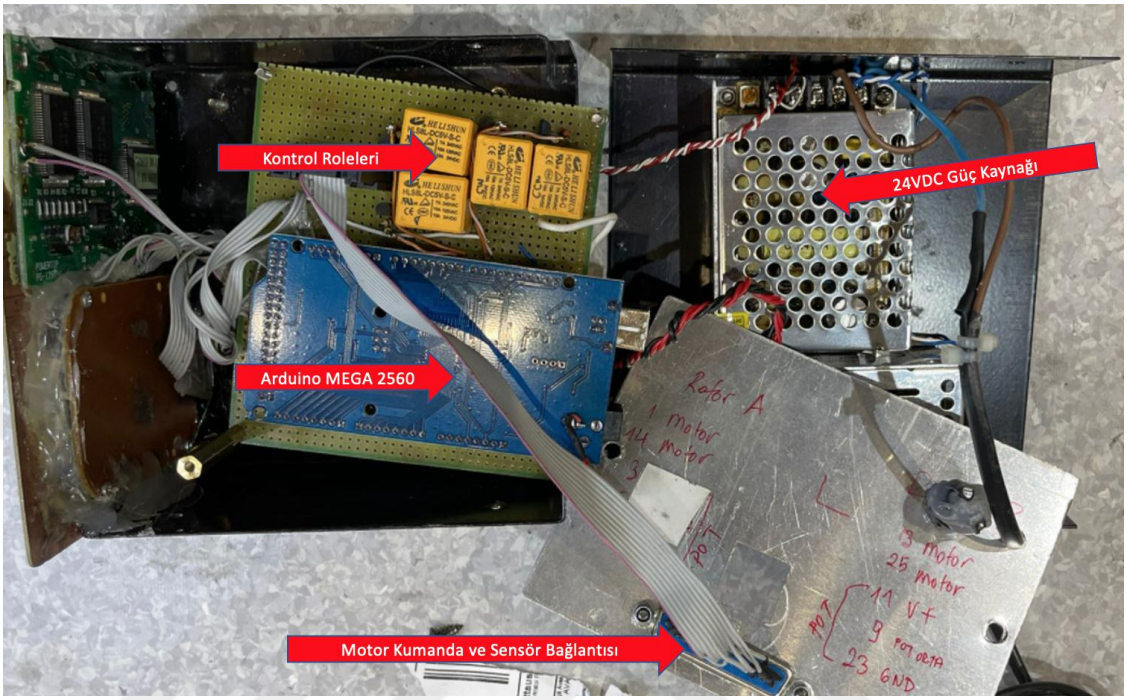


Şekil 3.7 Yön Okuyucusu 9DOF Sayısal Sensör

Yönlendirici Denetim Birimi: Anten yönlendirici denetim birimi olarak Anthony GOOD (K3NG) tarafından geliştirilmeye başlanan ve kodlamasına katkıda bulunarak projeye de uyarladığım rotor kontrol devresi kullanılmaktadır (https://github.com/barisdinc/k3ng_rotator_controller).

Bu rotor kontrolcüsü (bkz. Şekil 3.7) Arduino MEGA2560 işlemcisi tarafından kontrol edilebilen hem analog motor konum bilgisi hem de sayısal sensörlerden bilgi okuyarak anten yönlendirme işlerini gerçekleştirebilen bir modüldür. Anten kontrol bilgisayarı ile

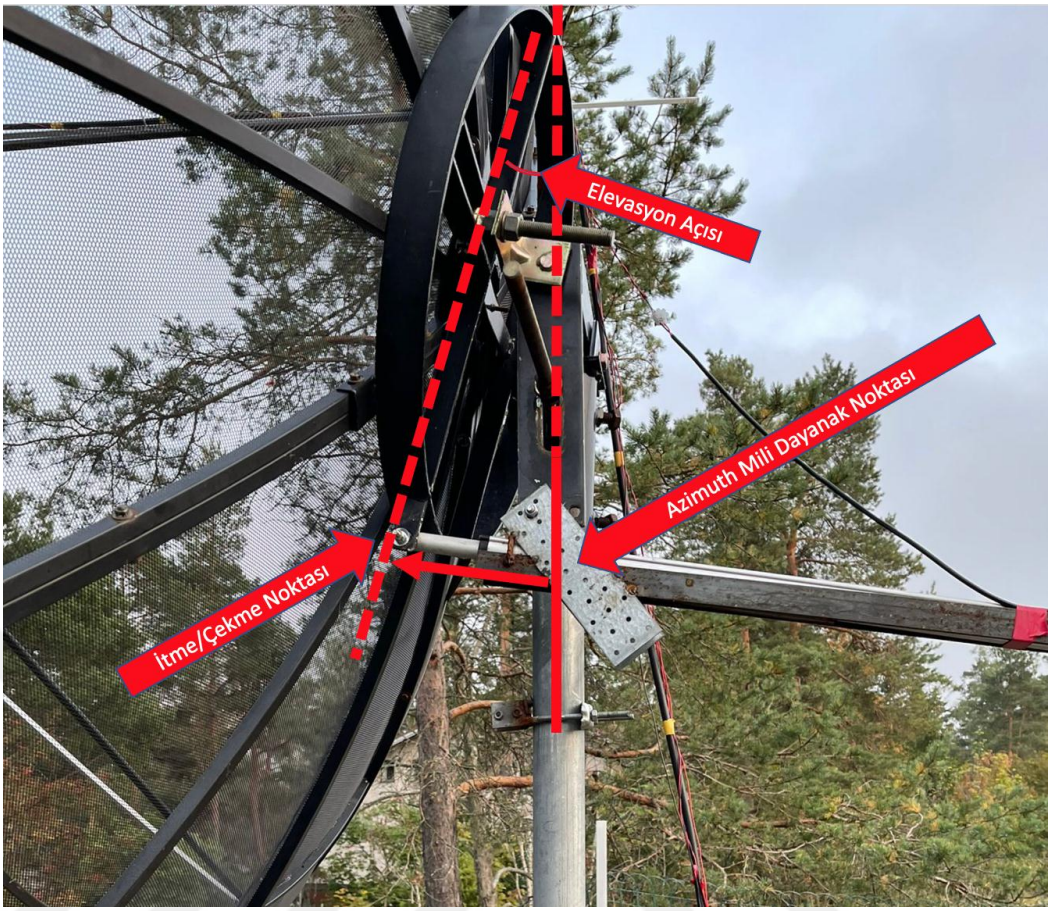
USB arayüzünden haberleşerek saniyede 10 kez yönelim bilgisi almakta ve saniyede 100 kez ölçülen yönelim açısını raporlamaktadır.



Şekil 3.8 Anten Yönlendirici Denetim Birimi

Elevasyon (Ufuk Yüksekliği) Yönelim Sistemi: Elevasyon (ufuk yüksekliği) yönelimi için itme/çekme işlemi yapabilen DC gerilim ile çalışan aktuatör kolu kullanılmıştır. Aktüatör kolu azimut ekseninde yer alan ve kaideden desteklenmiş düşey boru ile anten yansıtma yüzeyi (çanak) arkasında bulunan sabit bir nokta arasına yerleştirilmiştir. Yansıtıcı yüzeyin merkez noktası ile azimut borusunu birleştiren noktada elevasyon hareketinin serbestliğini sağlayan tek yönlü bir mafsal bulunmaktadır.

Kullanılan aktüatör kolunun ve elevasyon yönelim sisteminin genel görünümü şekil 3.9'da görüldüğü gibidir;



Şekil 3.9 Elevasyon (ufuk yüksekliği) Yönelim Sistemi Genel Görünümü

Yönlendirici Motor: Aktüatör motoru 12-24 VDC gerilim değerleri ile çalışabilen ve uygulanan gerilim polarizasyonuna uygun olarak itme ya da çekme işlemi yapabilen bir mekanizmaya sahiptir. Maksimumda 750mm (75cm) kol uzunluğuna erişebilmekte olup monte edildiği noktanın merkeze uzaklığına göre 0 derece ile 90 derece elevasyon açısını verebilecek şekilde durdurucuları (stopper) konfigüre edilmiştir. Mekanik

olarak da 90 derecelik elevasyon açısına ulaştığında motor hareketi durmaktadır.

Aktüatör kolu teknik özellikleri çizelge 3.3'de görüldüğü gibidir;

Çizelge 3.3 Aktüatör Kolu Teknik Özellikleri

Model	Linear Actuator Power 1500N
Görünüm	
Uzunluk	750mm
Güç	1500N

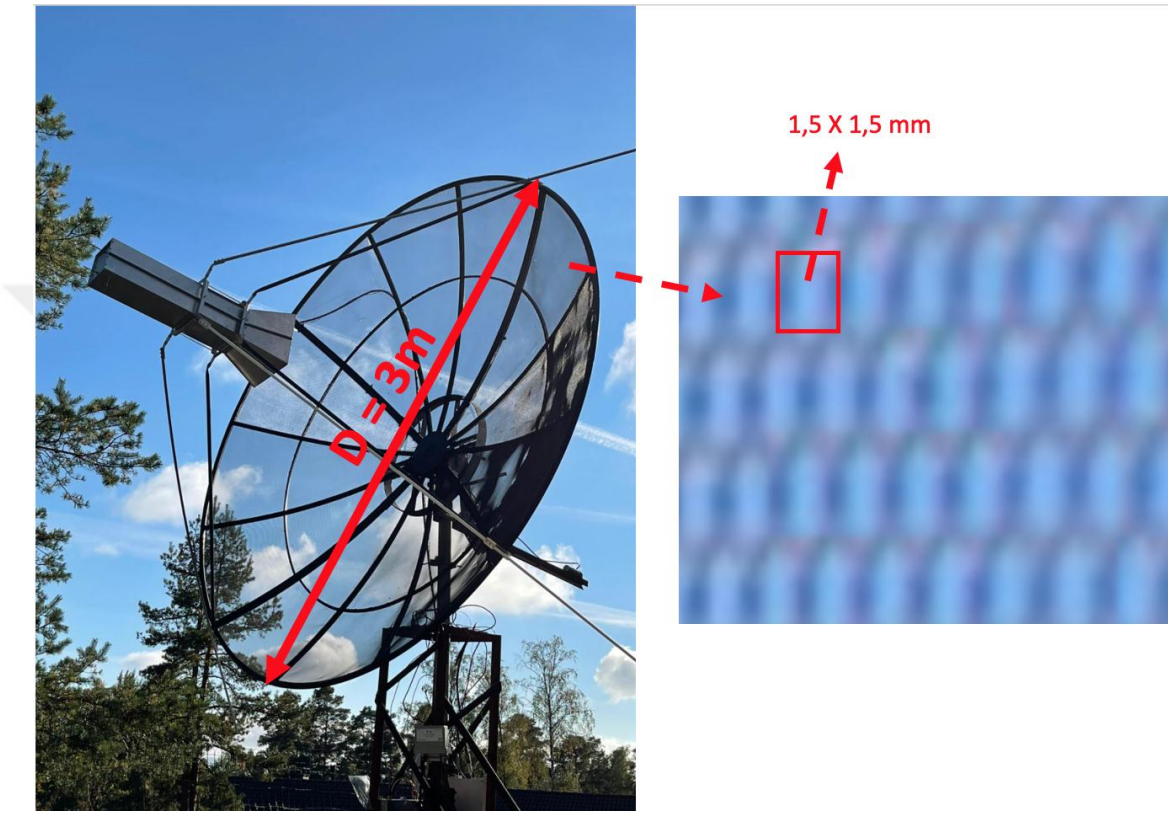
Yön Okuyucusu: Azimut motorunda olduğu gibi aktüatör içerisinde de konum bilgisini analog olarak okumamızı sağlayan bir ayarlanabilir direnç (potansiyometre) bulunmaktadır. Elevasyon yönlendirici denetim birimi hem analog olarak sunulan bu direnç değerini (1 KOhm) hem de MPU9250/6500 9DOF sensörü tarafından sağlanan sayısal veriyi kullanmaktadır. Detaylar için azimut yön okuyucu detaylarına bakılabilir.

Yönlendirici Denetim Birimi: Elevasyon anten yönlendirici denetim birimi olarak da azimut için kullanılan yönlendirici denetim birimi kullanılmaktadır. Detaylar için azimut anten yönlendirici birimi detaylarına bakınız.

Yansıtıcı Çanak Yüzeyi: Radyo Teleskobumuzda 3m çapında parabolik bir çanak yansıtıcı kullanılmaktadır. Çanak antenin yüzeyi rüzgar dayanımını arttırmak amacıyla 21cm dalga boyuna göre oldukça küçük sayılacak 1,5mm'lik bir ağ örgüsü ile kaplıdır.

1,5mm 21 cm'den çok çok küçük olduğu için 21cm dalga boyuna sahip radyo sinyalleri için tüm yüzey kusursuz bir yansıtıcı (ayna) görevi görmektedir.

Yansıtıcı çanak yüzeyi görünümü aşağıdaki gibidir;



Şekil 3.10 Yansıtıcı çanak yüzeyi genel görünümü ve elek aralıkları

Yansıtıcı bir parabolik yüzey kullanılmasının nedeni uzaydan (sonsuzdan) gelen radyo dalgalarının tıpkı sonsuzdan gelen ışık hüzmelerinin içbükey bir aynanın odak noktasında toplanması prensibinde olduğu gibi maksimum miktarda radyo dalgasının alıcı antenin durduğu odak noktasında toplanmasını sağlamaktır. Kullanılan yansıtıcı yüzeyin sağladığı kazanç; parabolik yüzeyin çapı (D), çalıştığımız dalga boyu (λ) ve yüzeyin verimi (k) ile orantılı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$Gain\ (dB) = 10 \times \log_{10} k \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$$

Şekil 3.11 Yansıtıcı Çanak Yüzeyi Kazanç Hesaplama Formülü

D=3metre, k=1 (21cm>>1,5mm olduğu için), λ=21cm için yüzeyimizin kazancı hesaplandığında yaklaşık 33dB'lik bir kazancımız olduğunu buluruz.

33dB'lik bir kazanç şu şekilde açıklanabilir; eğer parabolik yansıtıcı çanak yüzeyinin odak noktasına kazancı 0dBi olan bir anten (örneğin dipol anten) yerleştirecek olursak, çanak anten bu antenin kazancını 33dB (2000 kat) arttıracak ve sanki 2000 adet dipol anten ile dinleme yapılıyormuş etkisi yaratacaktır.

Alıcı Anten Bileşeni: Bu bölümde parabolik yansıtıcı yüzey odağına yerleştirilecek olan antenin seçim kriterleri, iyileştirme eklentileri (etek yapısı), ölçeklendirme detayları ve üretim bilgilerine yer verilecektir.

Alıcı Anten Bileşeni Alternatifleri: Radyo sinyallerinin algılanması için kullanılan pasif anten bileşeni için pek çok alternatif mevcuttur. Örneğin yansıtıcı çanak yüzeyinin odak noktasına aşağıdaki anten türlerinden herhangi biri yerleştirilebilir;

Çizelge 3.4 Anten Opsiyonları

Anten Tipi	Görünümü	Yaklaşık Kazancı (dBi)	Polarizasyonu
Dipol		0	Yatay/Düşey
Yagi		6-7	Yatay/Düşey
Circular		5-6	Çembersel
Helix		6-7	Çembersel
BiQuad		3-4	Yatay/Düşey
Patch		6-8	Çembersel
Septum Feed		12-14	Çembersel

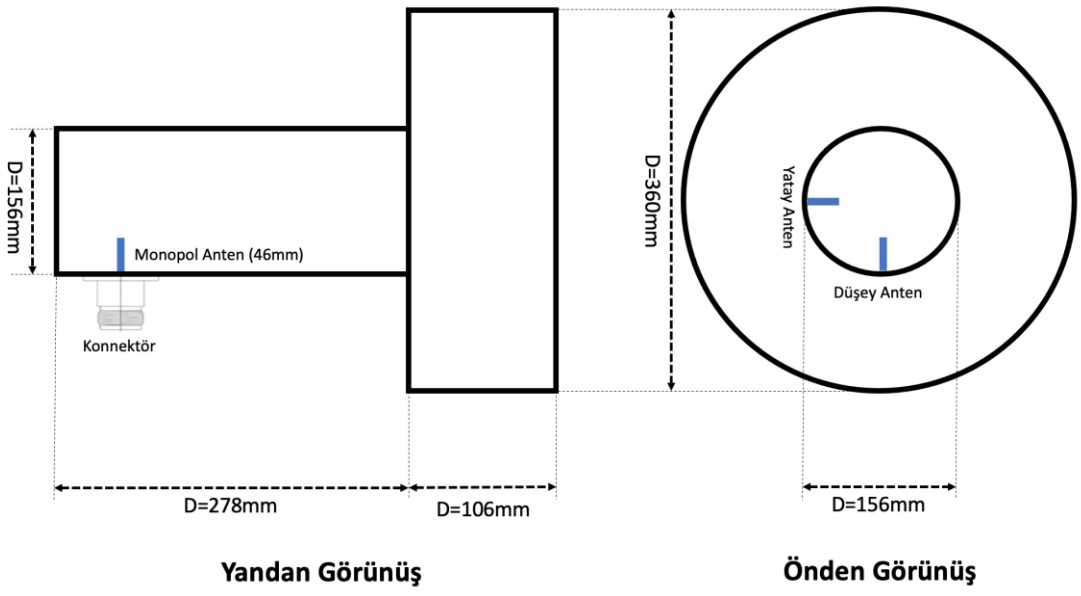
Çizelge 3.4 ile ilgili olarak aşağıdaki yorumlar yapılabilir;

- Dipol antenin hem kazancı çok düşük hem de yatay ve düşey polarizasyon için duruma göre 2 anten kullanmak gerekecek bu da fazladan 3 dB kayba neden olacaktır,
- Yagi antenin eleman sayısı arttığında kazancı oldukça artabilmektedir ancak çanak odağına yerleştirilecek yagi antenin efektif eleman sayısı birkaç elemanla sınırlı, üstelik yatay ve düşey polarizasyon için birden fazla yagi kullanımı da kazançtan 3 dB kaybetmeye neden olacaktır,
- İyi bir feedhorn ile desteklenmiş bir circular anten çembersel polarizasyonda 5-6 dBi kazanç sağlayabilir,
- 3-4 turluk bir helix anten çembersel polarizasyonda 6-7 dBi kazanç sağlayabilir ancak helix' in boyu (tur sayısı) büyüdükçe odak noktasındaki verimi hızla azalacaktır (Nikolova 2018),
- 2 veya daha fazla elemanlı BiQuad anten elemanı 3-4 dBi kazanç veriken hem odak noktasındaki yüzey genişlemesinin negatif etkisi hem de polarizasyonunun çembersel olmaması nedeniyle tercih edilmemiştir,
- Patch anten kazancı 6-8 dBi olup çembersel polarizasyon sağladığı için en çok tercih edilen anten elemanlarındandır (Patel, Kimberk, Krolewski, Ryan, Karkare, Kovac, Dame 2014),
- Septum feed, özellikle bir flare (öndeki açılı açıklık)'e sahip Septum Feed fiziksel olarak oldukça büyük olmasına karşın flare noktası çanak odağına denk getirildiğinde oldukça yüksek (12-14 dBi) kazanç sağlayabilmektedir (Zdenek 2002).

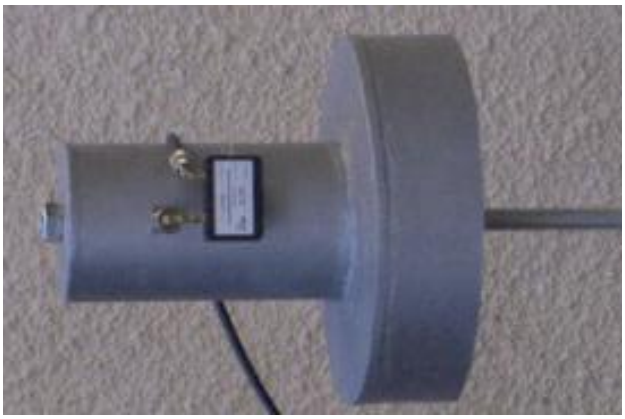
Yukarıda belirtilen temel kıyaslamalar baz alınarak ve Septum Feed'in (Flare'li) yüksek kazancı ve çembersel polarizasyona sahip olması durumu değerlendirilerek imalatı oldukça zor olsa da bu anten türü kullanılması tercih edilmiştir.

Alıcı Anten Bileşeni Hesapları: Bu bölümde pratik bir şekilde 21cm dalga boyu için Septum Feed imalatı detayları paylaşılacak olup bu anten türünün imal edilmesinde zorluklar yaşanacağı öngörülmesi durumunda yukarıda temel özellikleri belirtilen 6-8 dBi kazançlı ve çembersel polarizasyonda çalışan patch anten kullanılması önerilir.

Üretimi için aşağıda detayları verilen Septum Feed yerine daha kolay imal edilebilecek silindirik versiyonu da mevcuttur, ancak silindirik olan halinin kazancı ile yaklaşık 8-9 dBi'lık bir kazanç farkı (yaklaşık 10 kat) göz önünde bulundurulduğunda kare profil ile ve vidalama yöntemiyle üretilecek olan dikdörtgen hali tercih edilmiştir. Silindirik profil çembersel polarizasyonda olmadığı için bu antenle yatay ve düşey polarizasyonlu gözlemlerin ayrı ayrı yapılması ya da bir anten birleştiricisi ile (combiner) antenlerin birleştirilmesi gerekecektir, bu birleştiricide oluşacak ekstra 3 dB'lik kayıp da göz önünde bulundurulmalıdır (Condon, Scott 2016). Silindirik hali için ölçüler ve görünümü aşağıdaki gibidir;



Şekil 3.12 Silindirik Feed Anten Ölçüleri



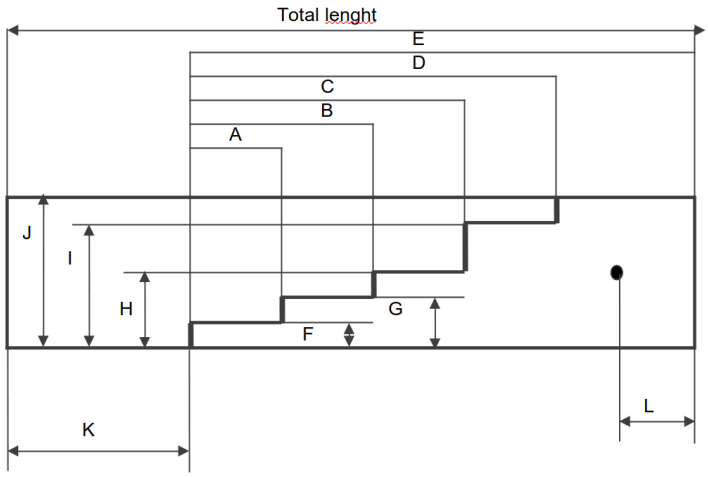
Şekil 3.13 Silindirik Feed anten genel görünümü

Radyo Teleskobumuzun anteni olarak seçilen Septum Feed anteni, Zdenek Jaroslav SAMEK (OK1DFC) tarafından, 23cm ve 13cm amatör telsiz haberleşmesi frekanslarında ay yansıtması çalışmalarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Ay yansıtması çalışmaları Dünya'dan Ay yüzeyine gönderilen ve geri yansıdığında çokça zayıflamış olan 23 cm ve 13 cm dalga boyundaki sinyallerin hem Ay yüzeyinden yansırken oluşabilecek polarizasyon değişiklikleri hem de Dünya atmosferinin faraday etkisi nedeni ile oluşabilecek polarizasyon değişimleri sonucunda verimli bir şekilde dinlenebilmesi için tasarlanmış çembersel polarize bir anten türü kullanımını gerektirir ve OK1DFC Septum Feed bu iş için en başarılı örneklerden biridir.

Anten boyutlarını 23cm (1296 MHz) örneğinden yola çıkarak ve Zdenek Jaroslav SAMEK tarafından hazırlanan dokümanlar (excel hesap cetveli) yardımıyla hazırlanmıştır (Zdenek 2021). Hesap cetveli görünümü ve hesap sonuçları aşağıda gösterilmiştir, en sağ kolonda dalga boyu cinsinden olması gereken kenar ölçüleri (A,B,C,D,E,F,G,H,I,ve J) görülmektedir;

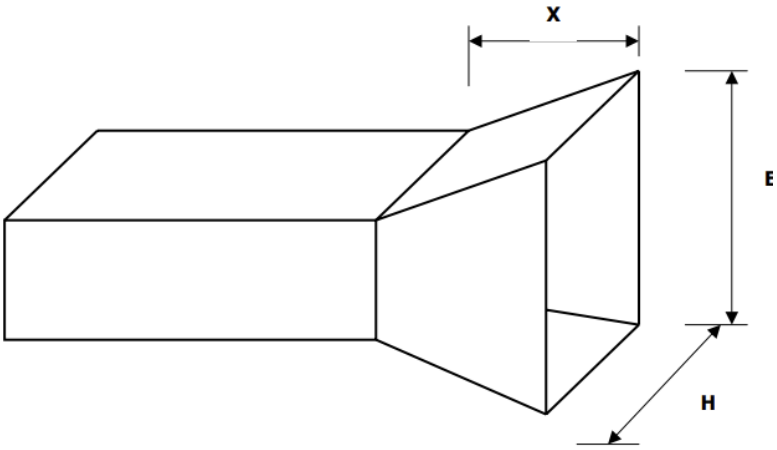
Frequency:	**1420**	**MHz**		
Calcul of wave lenght:	**211.268**	**mm**		Lambda
Messe	**distance in mm**			
A	***71.4***			0.338
B	***126.1***			0.597
C	***183.4***	**Long of tooth**		0.86
D	***203.0***			0.961
E	***338.0***			1.6
F	***16.9***			0.08
G	***37.6***			0.178
H	***63.6***	**Brite of tooth**		0.301
I	***103.7***			0.491
J	***132.3***			0.626
Messe in mm				
Distance from output on feed and transformer		***211***	K	1
Distance beetven dipol and rear wall		***40***	L	0.19
Dipol long		***39***	M	0.185
Thickness of septum transformer sheet		***1.690***	**No critical parameter**	
Total of feed lenght		***549***	Total	

Picture of transformer



Şekil 3.14 OK1DFC Septum Feed Hesap Cetveli ve 21cm İçin Ölçüleri

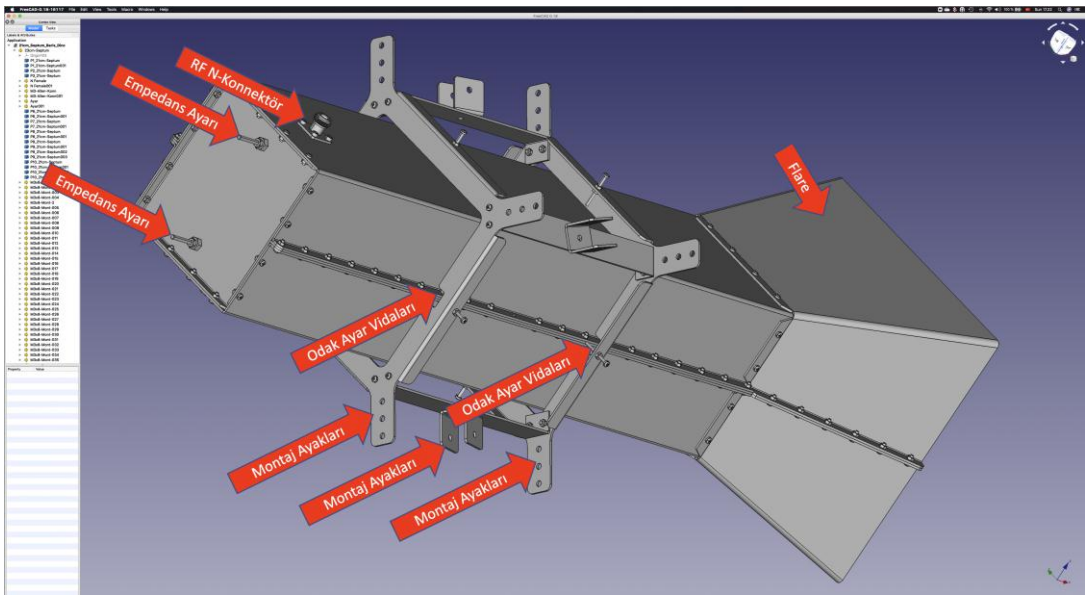
Septum Feed İçin Flare Kullanımı: Parabolik yansıtıcı çanak yüzeyinin odağına yerleştirilecek Septum Feed Anteni'nin hem çembersel polarizasyonun oluşması hem de sinyal toplayıcılığının arttırılarak kazancının arttırılması amacıyla çanak yüzeyine bakan toplayıcı ağzı yönünde bir flare (etek) yapısı oluşturulmuştur (Wade 1999). Şekil 3.15'de bu flare yapısı görülmektedir;



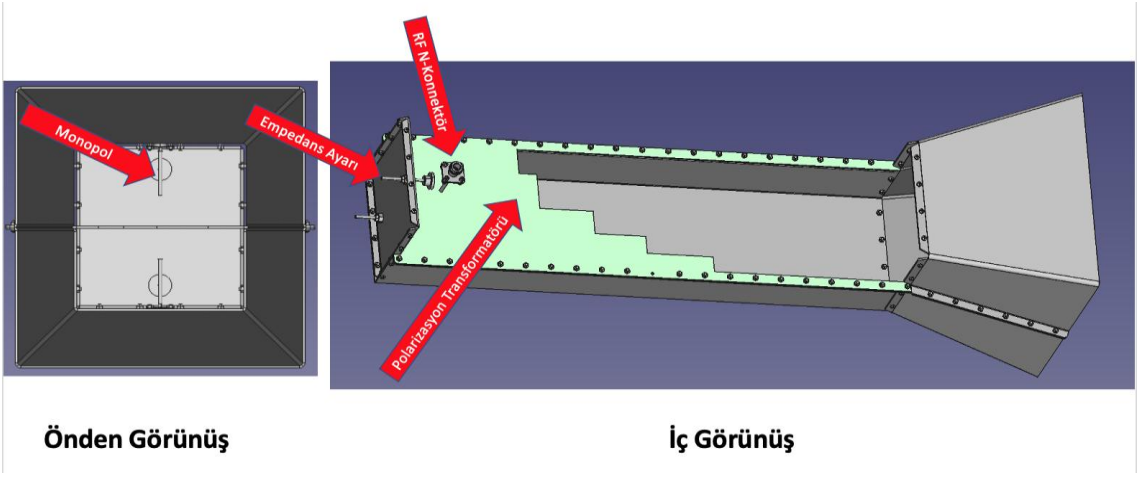
Şekil 3.15 OK1DFC Septum Feed Flare (Etek) Görünümü

Radyo teleskobumuzda 21cm Septum Feed için H=264mm, E=209mm ve X=135mm değerleri kullanılmıştır.

Alıcı Anten Bileşeni Üretimi: Ölçeklendirme ve hesaplama programları tarafından yapılacak kazanç, S11 ve benzeri ölçümler için öncelikle antenin FreeCAD kullanılarak bir modellemesi yapıldı, bu model üretim çıktılarını üretmeyi de oldukça kolaylaştırmıştır.



Şekil 3.16 21cm Septum Feed FreeCAD Model



Şekil 3.17 21cm Septum Feed FreeCAD Model (İç Görünüş)

FreeCad modeli üzerinden oluşturulan DXF çıktıları kullanılarak lazer kesimine ve büküm işlemine uygun 2mm kalınlığındaki aluminyum sac tabakalardan (AL 5074) tüm bileşenlerin lazer ile kesimi yapıldı. 2mm kalınlığındaki parçalar kıvırma makinesi kullanılarak 90 derecelik kıvırma işlemlerinden geçirildi ve ardından montaj için gerekli metrik 3 delikleri açıldı. Anten bileşeni ve empedans uyumlama tekerleri ve montaj perçinleri 3 boyutlu CNC makinesinde pirinç malzemeden işlenerek sac tabakada uygun noktalara bağlandı. Dış ortam şartlarına ve korozyona karşı dayanıklılığı arttırmak için paslanmaz çelik vidalar kullanımına dikkat edilmiştir. Şekil 3.18'de malzemelerin montajı öncesi ve montajı sonrasında septum feed görünüşleri gösterilmektedir;



Şekil 3.18 21cm Septum Feed Üretim Çıktıları



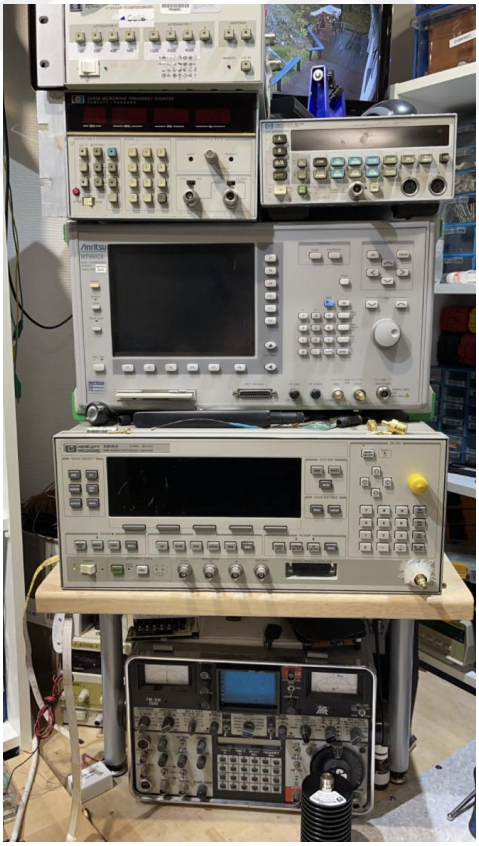
Şekil 3.19 21cm Septum Feed Çanak Montajı Sonrası Görünümü

Alıcı Anten Bileşeni Testleri: 21cm Septum Feed alıcı anteni üretildikten sonra, yansıtıcı odağına yerleştirilmeden önce, laboratuvar testleri yapılarak hedeflenen kazanç, VSWR ve empedans değerlerinde olup olmadığı kontrol edildi. Bu işlem için laboratuvarımda bulunan ve kalibrasyon değerleri bilinen aşağıdaki test aletleri kullanıldı;

Çizelge 3.5 RF Test Ekipmanı

Cihaz	Marka/Model	Kullanım Amacı
RF Sinyal Üretici	HP83630A	10MHz-21GHz RF sinyal üretimi için kullanıldı
Spektrum Analizörü	Anritsu MT8802A	Algılanan RF sinyalinin spektrum gösterimi ve ölçümü amacıyla kullanıldı
RF Vector Empedans Analizörü	N1201SA	Anten empedansı ve VSWR ölçümleri için kullanıldı

RF testi için kullanılan laboratuvar cihazlarının genel görünümü aşağıdaki gibidir;



Şekil 3.20 RF Test laboratuvarı görünümü

RF Testleri için aşağıdaki gibi ölçüm düzeneği kullanılmıştır;



Şekil 3.21 RF Test Düzeneği

Test aşamaları şu şekilde gerçekleştirilmiştir;

- Sinyal üretici 21cm için 1420.5 MHz frekansına ayarlanmıştır ve 0dBm gücünde sinyal üretmesi sağlanmıştır,
- Hem Sinyal üreticiye hem de spektrum analizörüne bilinen bir anten (monopol) bağlanarak spektrum ekranındaki ölçülen sinyal değerleri kayıt altına alınmıştır,
- Spektrum analizöre bağlı olan anten septum feed anteni ile değiştirilerek monopol anten ile septum feed anteni kazançları kıyaslanmıştır,
- Bu ölçüm yatay ve düşey polarizasyonlar için de tekrar edilmiştir,
- Septum Feed in bakış açıları değiştirilerek Flare (etek)'in kapsama alanı tespit edilmiştir.

Yapılan testler sonucunda üretilen antenin kazancının ve 1420 MHz deki VSWR değerinin beklenen değerlerle (12dBi kazanç ve 1.5'den küçük VSWR değeri) uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

RF Vektör Network Analizi ile yapılan S11 ve VSWR görünümü aşağıdaki gibidir;

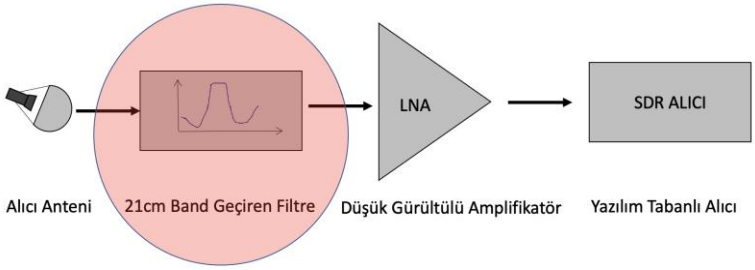


Şekil 3.22 RF Vektör Network Analizör VSWR Ölçümü

3.2.1.2 21 cm Darband RF filtre bileşeni

Alıcı anteninde pek çok frekanstaki bileşen kullanılan antenin band genişliği ve çevredeki RF kirliliği ile orantılı olarak pek çok yayını aynı anda iletim hattına aktarır. Ancak bu tez kapsamında ilgilenilen radyo frekansı sadece 21cm dalga boyuna sahip 1420.5MHz ve civarındaki sinyallerdir. Bu frekans dışındaki diğer frekanslar dinleme hassasiyetimiz üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Eğer antenden gelen sinyali doğrudan ham hali ile bir düşük gürültülü sinyal yükselticisine (LNA) girilecek olursa 21cm dalga boyundaki sinyaller dışındaki pek çok sinyali ve civardaki radyo frekans kirliliğinden kaynaklanan pek çok radyo sinyalini de güçlendirmek için LNA veriminden harcayacaktır. Bu nedenle LNA girişi öncesinde istenmeyen frekans ve çevresini geçirecek bunun dışında kalan ve istemediğimiz (belirlenen aralık dışında kalan) her türlü sinyalin geçişini engelleyecek bir "band geçiren" filtre elemanına ihtiyacımız vardır.

Şekil 3.23'de band geçiren filtrenin blok diyagramındaki yeri gösterilmiştir;



Şekil 3.23 21cm Band Geçiren Filtrenin Blok Diyagramındaki Yeri

21cm dalga boyu için kullanabileceğimiz RAHAT ürünlerden başlıcaları şunlardır;

- Minicircuits SYBP-1420+
- Minicircuits VBF-1445+
- RAS1420

Bu filtrelerin genel görünümleri Şekil 3.24'deki gibidir;

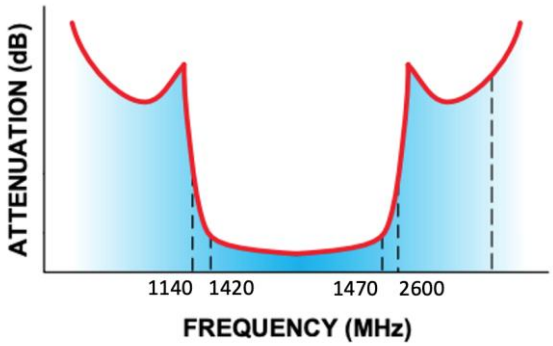


Şekil 3.24 21cm Band Geçiren Filtre Alternatifleri

SYBP-1420+ hem maliyeti çok düşük hem de 1420 MHz için oldukça başarılı band filtreleme değerlerine sahiptir ancak elektronik bir devre elemanı olarak tasarlanmış olup yapılacak yeni devre tasarımlarında (örneğin bir LNA devresi girişinde) kullanılabilir olsa da çalışmamız kapsamında kutulanması ve izolasyonu gibi problemler oluşacağı ve bu durumun maliyeti de arttıracağı sebebiyle tercih edilmemiştir. RAS1420 hem 1420MHz için başarılı band filtreleme özelliklerine hem de dış ortam kullanımı için gerekli tüm özelliklere sahip olmakla birlikte maliyeti diğer seöeneklere oranla

oldukça yüksektir. Bu nedenle filtreleme aralığı biraz daha geniş olmakla birlikte kablo tipi olması ve kolayca dış ortamda kullanılabilir olması nedeni ile VBF-1445+ kullanılması uygun görülmüştür.

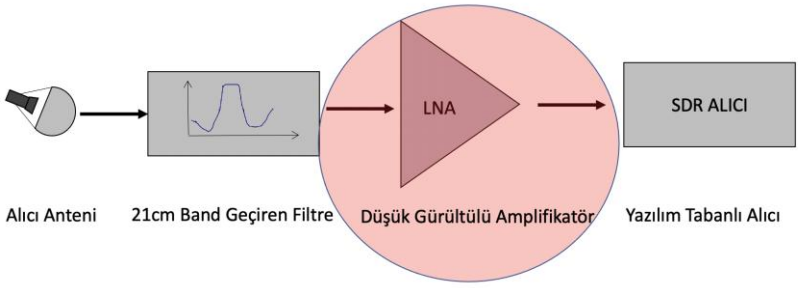
VBF-1445+ band geçiren filtresinin tipik frekans tepkisi Şekil 3.25'daki gibidir;



Şekil 3.25 VBF-1445+ Frekans Tepkisi

3.2.1.3 21 cm düşük gürültülü yükselteç bileşeni

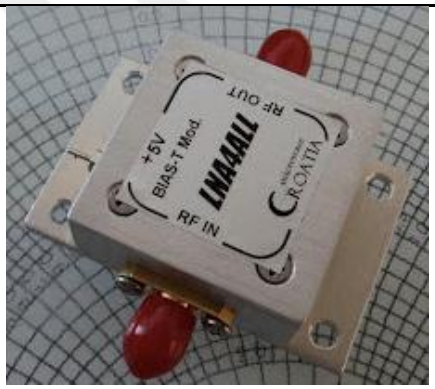
Antene ulaşan 21 cm dalga boyundaki radyo sinyalleri ve beraberindeki enterferanslar (girişimler) ve komşu frekanslardaki sinyaller Darband RF Filtre bileşeni tarafından süzülürler ve ardından Şekil 3.26'da da görüldüğü üzere Düşük Gürültülü Yükseltici'ye ulaşırlar. Düşük gürültülü yükseltici antene ve filtre devresine oldukça yakın bir noktaya yerleştirilerek antenden gelen çok zayıf radyo sinyallerinin yüzlerce kat yükseltilmesini sağlarlar. Yükseltici hem hedeflenen sinyalleri hem de gürültüyü aynı anda yükselttiği için yükselticinin çok düşük gürültülü olması ve sinyal gürültü oranını yüksek tutarak yükseltme işlemi yapıyor olması önemlidir. Şekil 3.30'da yükselticinin sistem blok diyagramındaki yeri gösterilmiştir;



Şekil 3.26 Düşük Gürültülü Yükseltici'nin Blok Diyagramındaki Yeri

Düşük gürültülü yükselteç olarak Çizelge 6'daki ürünler değerlendirilmiştir;

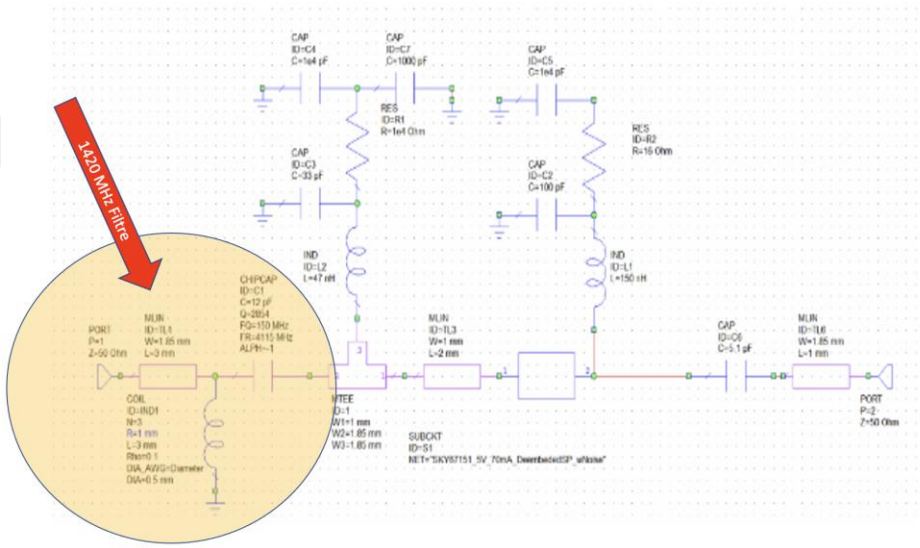
Çizelge 3.6 Düşük Gürültülü Yükseltici Alternatifleri

Marka/Model	**Kazanç / Noise Figure @1420MHz**	**Görünüm**
LNA4ALL	16 dB / 0.98	
RAS-1420UHP	45 dB / 0.29	
VHF Design	32 dB / 0.35	

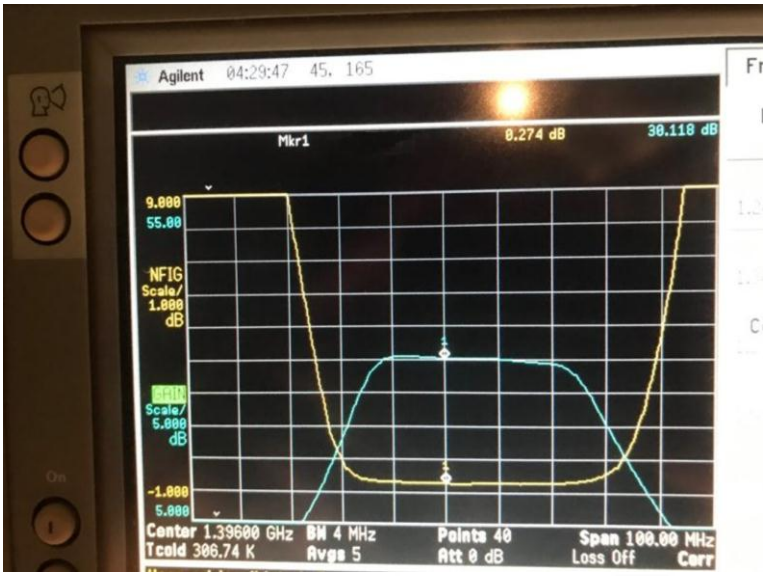
LNA4ALL çok geniş bandlı olduğu ve 1420 MHz için filtrelere sahip olmadığı için (genel amaçlı yükselteç olduğu için) fiyatı çok uygun olmasına rağmen tercih edilmedi, öte yandan çok iyi bir dar bandlı 1420 MHz filtre kullanılıyor olması durumunda tercih edilebilecek bir alternatiftir.

Radio Astronomy Supplies'ın RAS-1420UHP hem fiyat hem de performans açısından birinci olarak tercih edilebilecek ürün olduğu değerlendirilmiştir.

Hem barındırdığı filtrelerinin başarımı (detay için Şekil 3.27'deki şema detayları ve spektrum ekran görüntülerine bakınız) hem de kazanç ve gürültü seviyesi nedeni ile (hali hazırda elimde mevcut olduğu için) radyo teleskobumuzda Vhf Design firmasının 1420 MHz'lik düşük gürültülü yükselticisi kullanılmıştır.

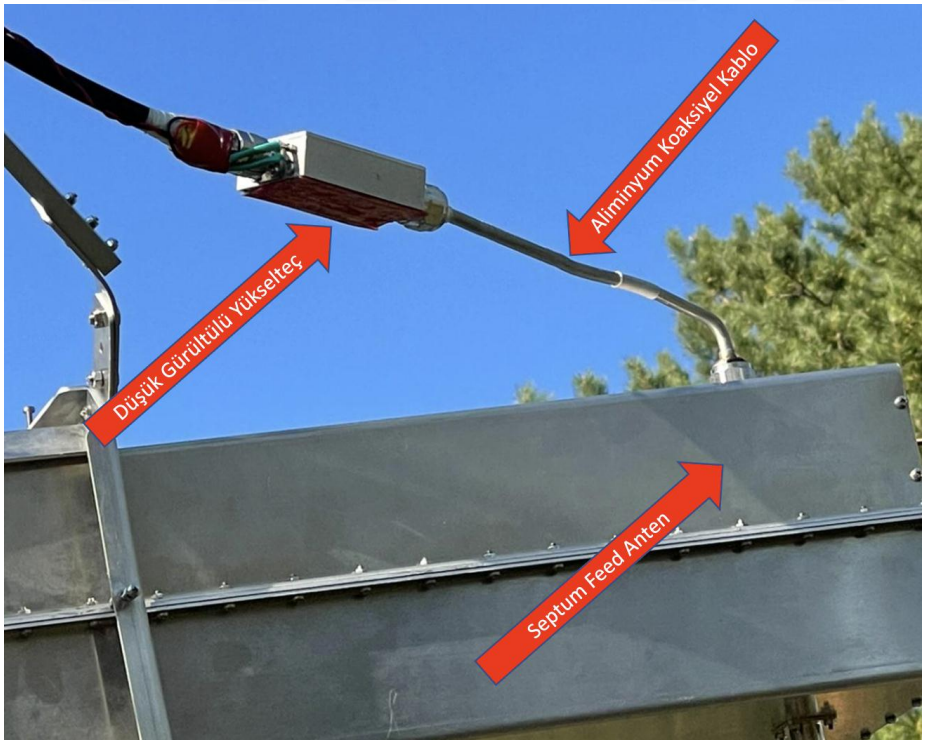


Şekil 3.27 VHF Design 1420 MHz düşük gürültülü yükselteç şeması



Şekil 3.28 VHF Design 1420 MHz Spektrum Ölçümü

Şekli 3.29'da da gösterildiği gibi düşük gürültülü amplifikatör alıcı antenine olabildiğince yakın bir noktaya çok düşük kayıplı bir aluminyum koaksiyel iletim hattı ile bağlanarak maksimum verim elde edilmeye çalışılmıştır;



Şekil 3.29 Antene Yakın Olarak Yerleştirilmiş LNA Görünümü

3.2.1.4 3SDR alıcı bileşeni

Alıcı bileşeni, radyo teleskobun en büyük ayırt ediciliğini sağlayacak olan bileşendir. Geçmiş dönemlere ait radyo teleskoplar temel olarak Süper Heterodin radyo tekniğini kullanmakta idi. Yani asıl algılanmaya çalışan yüksek frekans bir mikser (karıştırıcı) ile çarpılarak daha düşük frekanslı bir ara frekansa (IF, Intermediate Frequency) indiriliyor ve bu ara frekans için ayarlanmış filtreler ve yükselteçlerle çözülmeye çalışılıyordu. Ancak gelişen analog-sayısal çeviricilerin çok yüksek hızlara çıkabiliyor olması ve yazılım tabanlı radyo (SDR) teknolojisinin hızlı gelişimi sayesinde -120dBm civarında olan alıcı hassasiyetleri -140 dBm'lere kadar artmış aynı zamanda örneklenen band genişlikleri de oldukça yükselmiştir.

Radyo teleskobumuzun en önemli bileşeni SDR alıcı için belirlenen kriterler doğrultusunda çok sayıda cihaz örneği temin edilmiş ve bunlar laboratuvar ortamında 1420 MHz (21cm dalga boyu) alıcısı için kıyaslanmıştır, bu kıyaslamaların sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

SDR Alıcı seçiminde kıyaslanan özellikler temel olarak şunlardır;

- Alıcı hassasiyeti
- Sinyal gürültü çözünürlüğü
- Band genişliği
- Isıl kararlılığı
- Harici referans osilatörü girişi
- Maliyet

RTL SDR: Realtek firmasının ürettiği RTL2832U SDR alıcı çipi kullanılarak DVB-T sayısal televizyon yayınlarını almak üzere tasarlanmış bir USB Televizyon alıcısıdır. Ancak Linux işletim sistemi için sürücüleri geliştirilirken 70 MHz ile 2.4 GHz aralığındaki sinyalleri sayısal olarak sunabildiği farkedilmiş ve geliştirilen yazılımlarla bir SDR radyo alıcısına dönüştürülmüştür. Fiyatı çok çok düşük olmasına karşın alıcı

performansı oldukça etkileyicidir. 2 MHz'e kadar band genişliğine çıkabilmekte olup radyo teleskobumuzun ihtiyaç duyduğu 1420 MHz sinyallerinin algılanması konusunda başarılı olmakla birlikte; frekans kararlılığı, ısıl faktörlerden etkilenme oranı, alıcı hassasiyeti açısından aşağıda kıyaslanacak rakiplerine göre ancak son sırayı alabilmektedir. Kullanılacak band filtreleri ve ön yükselteçlerin başarımı ile orantılı olarak radyo astronomi çalışmaları için tercih edilebilecek bir SDR alıcısıdır. 2021 yılı için yaklaşık maliyeti 15 dolar civarındadır.

Şekil 3.30'da aynı çipi kullanan ancak farklı tasarımcılar tarafından üretilmiş RTL SDR Alıcı örnekleri görülmektedir;



Şekil 3.30 RTL SDR Alıcı Örnekleri

ADALM Pluto: ADALM (Analog Devices Active Learning Module), Analog Devices firmasının SDR üretmekte olduğu alıcı ve verici çiplerinden AD9363'ün öğrenciler tarafından pratik kullanımını özendirmek için piyasaya sürdüğü bir eğitim kitidir. Üzerinde barındırdığı XILINX firmasına ait Zynq Z-7010 FPGA çipi sayesinde (içinde iki adet ARM işlemci çekirdeği barındırır) Linux işletim sistemi kurulabilecek bir bilgisayar birimini de üzerinde barındırmaktadır.

AD9363 çipi 20MHz band genişliğinde sinyal üretebilen ve çözümleyebilen 2 adet alıcı verici birimine sahiptir ve 70 MHz'den 6 GHz'e kadar olan frekanslarda çalışabilmektedir. Tez çalışması testlerinde Revision A modeli kullanılmış olup daha sonra piyasaya çıkartılan Revision D modelinde harici referans osilatörü girişine olanak sağlayan konnektörlere de yer verilmiştir. Revision A üzerinde bulunan lokal osilatörü (TCXO)'nun başarımı çok yüksek olmayıp ortam ısısından oldukça etkilenmektedir. Bu

durum Revision D üretiminde düzeltilmiş olup 6GHz'e kadar olan dalga boylarında radyo astronomi çalışmaları için -130 dBm'e varan alıcı hassasiyeti ile tercih edilebilecek uygun maliyetli bir çözümdür. 2021 yılı yaklaşık maliyeti 150 dolar civarındadır. Revision A'da bulunan eksiklikler nedeni ile mevcut radyo teleskop çalışmasında tercih edilmemiş olup, anten yönelimi ve sinyal algılama işlemlerini üzerinde barındırdığı mikrobilgisayar ile gerçekleştirebileceği düşünüldüğünde portatif bir radyo astronomi teleskobu için tercih edilebilecek uygun maliyetli ve yüksek başarımlı bir SDR alıcı/vericisidir.



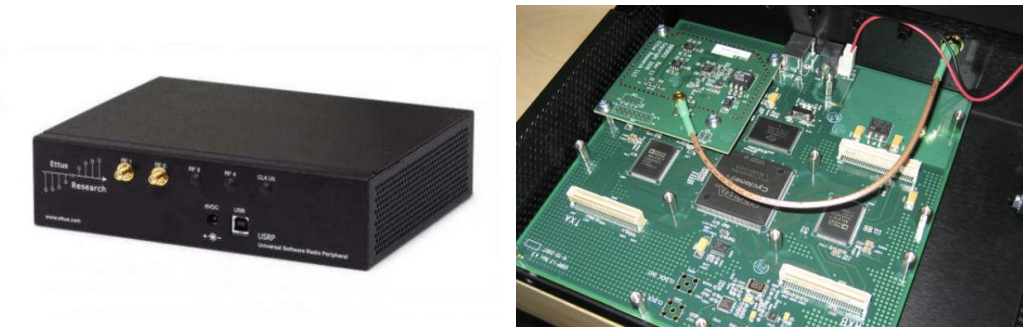
Şekil 3.31 ADALM Pluto SDR Cihazı

ETTUS USRP2 (N210): ETTUS Research firmasının ürettiği Ethernet arayüzü sayesinde uzak mesafeden de kullanılabilen N210 modeli üzerine takılabilen farklı özelliklere sahip RF kartları sayesinde 10 GHz'e kadar farklı frekanslarda 50MHz'e kadar band genişliğinde çalışabilmektedir. Radyo teleskop çalışmalarımızda cihaz üzerinde WBX, CBX ve SBX modülleri ile testler yapılmıştır. Bu modüller istenilen 1420 MHz frekansında 40 MHz band genişliğinde ve -140dBm duyarlılığa kadar RF algılaması yapabilme özelliğine sahiptir. 2021 yılı yaklaşık maliyeti (RF modülü ile birlikte) 2500 dolar civarındadır. Teknik özellikleri oldukça yüksek olmasına karşın dış ortama yerleştirileceği ve aşağıda belirtilen uygun maliyetli alternatifi ile aynı performansın yakalanabileceği değerlendirildiği için radyo teleskop çalışması kapsamında birincil çözüm olarak tercih edilmemiştir. N210 harici referans girişi özelliğine sahip olduğu gibi GPSDO (GPS Disciplined Oscillator) opsiyonu ile de satılmaktadır.



Şekil 3.32 ETTUS USRP2 N210 Genel Görünümü

ETTUS USRP1: Yukarıdaki bölümde teknik özellikleri verilen ETTUS firmasının N210 ürünü ile (Ethernet bağlantı özelliği dışında) aynı teknik özelliklere sahip olan ve hatta aynı RF kartlarını kullanabilen USRP1 modeli oldukça uygun maliyette aynı teknik şartları sağlayabilmektedir. 2021 yılı için yaklaşık maliyeti 300 dolar civarında olan USRP'in USB bağlantı arayüzü bir mikrobilgisayar üzerinde çalıştırılan SDR yazılımı ile irtibatlandırılabilmektedir. Alıcı hassasiyeti, frekans kararlılığı, band genişliği ve GPSDO özellikleri göz önünde bulundurularak bu tez çalışması kapsamında oluşturulan radyo teleskop çözümünde USRP1 SDR cihazı kullanılmıştır. RF kartı olarak ise DBSDX2 (800-2300 MHZ çalışma aralığı ve 60 MHz band genişliği) kullanılmıştır.



Şekil 3.33 ETTUS USRP1 ve DBSRX2 Genel Görünümü

3.2.1.5 SDR Alıcı Yazılımı

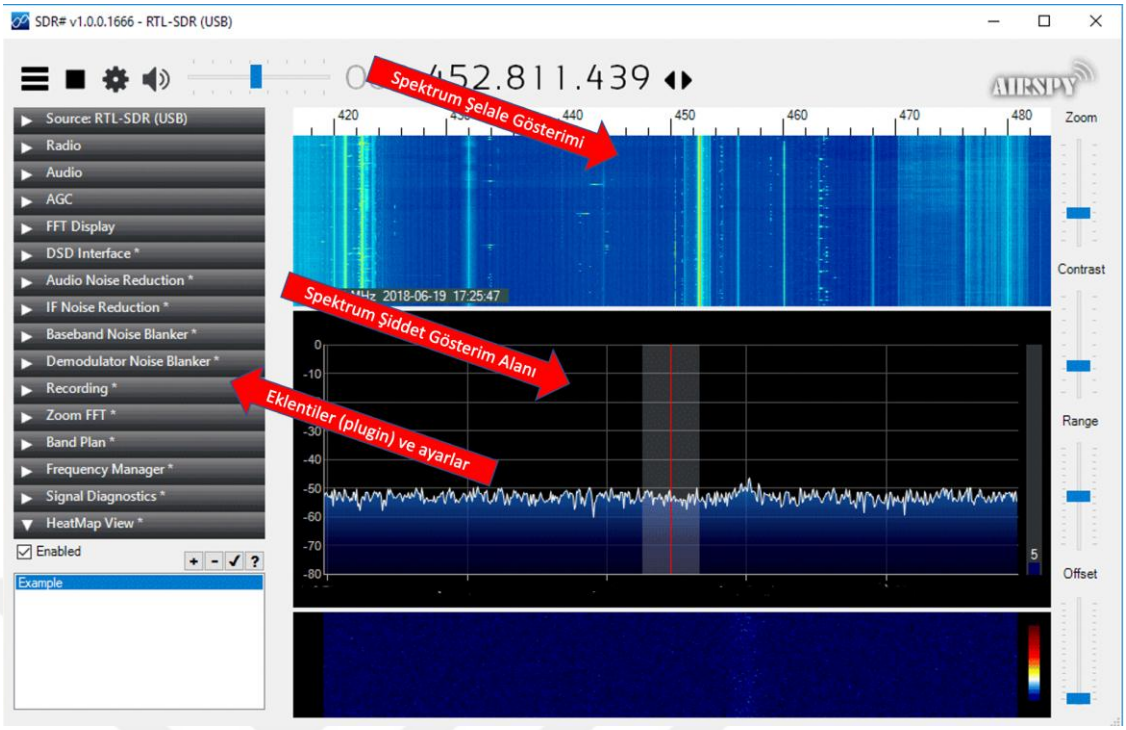
SDR donanımları ile birlikte bilgisayar ortamında çalıştırılan yazılım bileşenlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde işletim sistemleri üzerinde çalıştırılan ve SDR donanımları ile birlikte oluşturulacak çözümlerde dış bileşenler ile entegrasyon yapılmaya uygun olan bazı SDR yazılımlarının temel özelliklerinden bahsedilerek radyo teleskop tasarımı kapsamında kullanılan GNURadio yazılımı ve bunun kullanım avantajlarından söz edildi.

SDR donanımları ile birlikte kullanılan başlıca SDR Yazılımları aşağıdaki gibidir;

- SDR Sharp
- GQRX
- HDSDR
- SDRAngel
- GNURadio

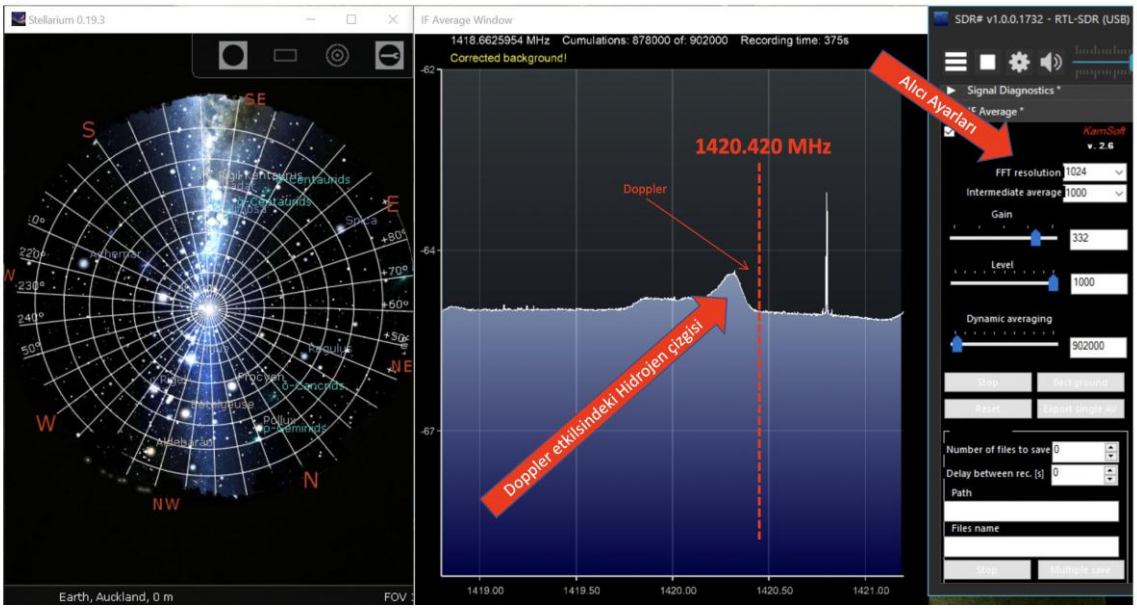
SDR Sharp: SDR Sharp (SDR#) yazılımı Microsoft Windows ortamında en yaygın olarak kullanılan SDR alıcı yazılımlarının başında gelmektedir. Özellikle yaygın eklenti seçenekleri ile pek çok alanda olduğu gibi radyo astronomi alanında da (özellikle Sky Pipe yazılımı ile entegre olarak) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Şekil 3.34'de SDR Sharp yazılımı ekranının genel bir görünümü görülmektedir;



Şekil 3.34 SDR Sharp Ekranı Genel Görünümü

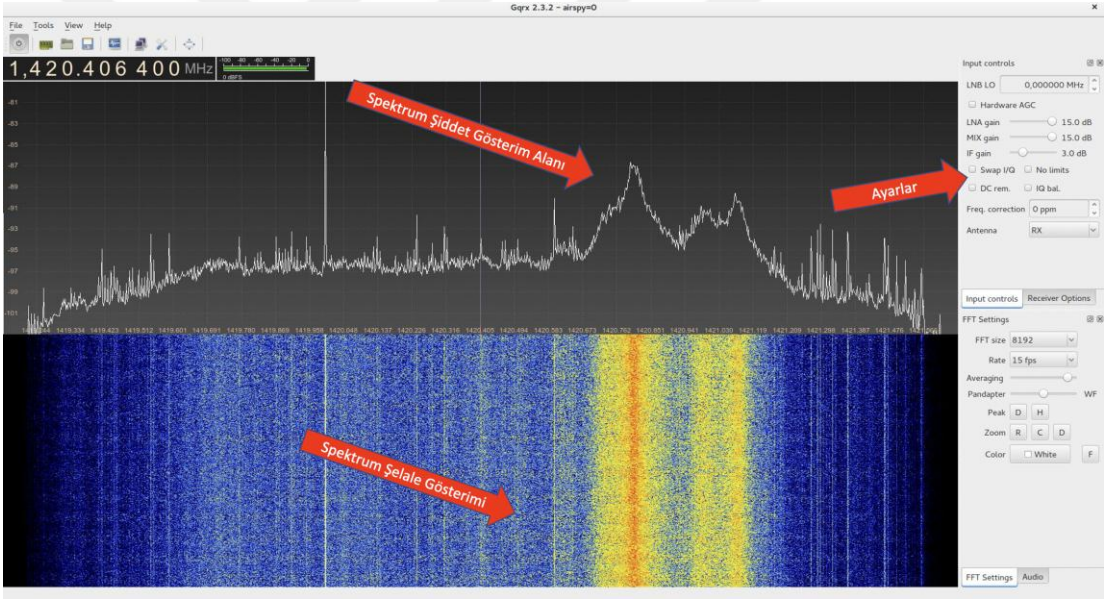
Şekil 3.35'deki ekran görünümünde ise Stellarium yazılımı ile takip edilen gökyüzündeki samanyolu kollarına karşılık gelen hidrojen çizgileri ve üzerindeki doppler etkileri görülmektedir;



Şekil 3.35 Samanyolu Galaksisinin Hidrojen Çizgilerinin Görünümü

Hidrojen çizgilerinin durumu antenin yöneldiği doğrultudan gelen sinyallerin yoğunluğu ile orantılıdır. Sinyaller çok zayıf olduğu için anlık olarak hidrojen yoğunluğunu gözlemek ilk etapta kolay olmayabilir. Bu amaçla gelen radyo dalgalarının genliklerinin belirli ortalamalarla üst üste toplanmasına yardımcı olacak (Şekil 3.39'da gösterilen ekranın sağ tarafında gösterilen) ayarlamalar (intermediate average = 1000, Dynamic Averaging = 902000, vb.) hidrojen çizgisinin çok daha belirgin gözlenmesini sağlayacaktır.

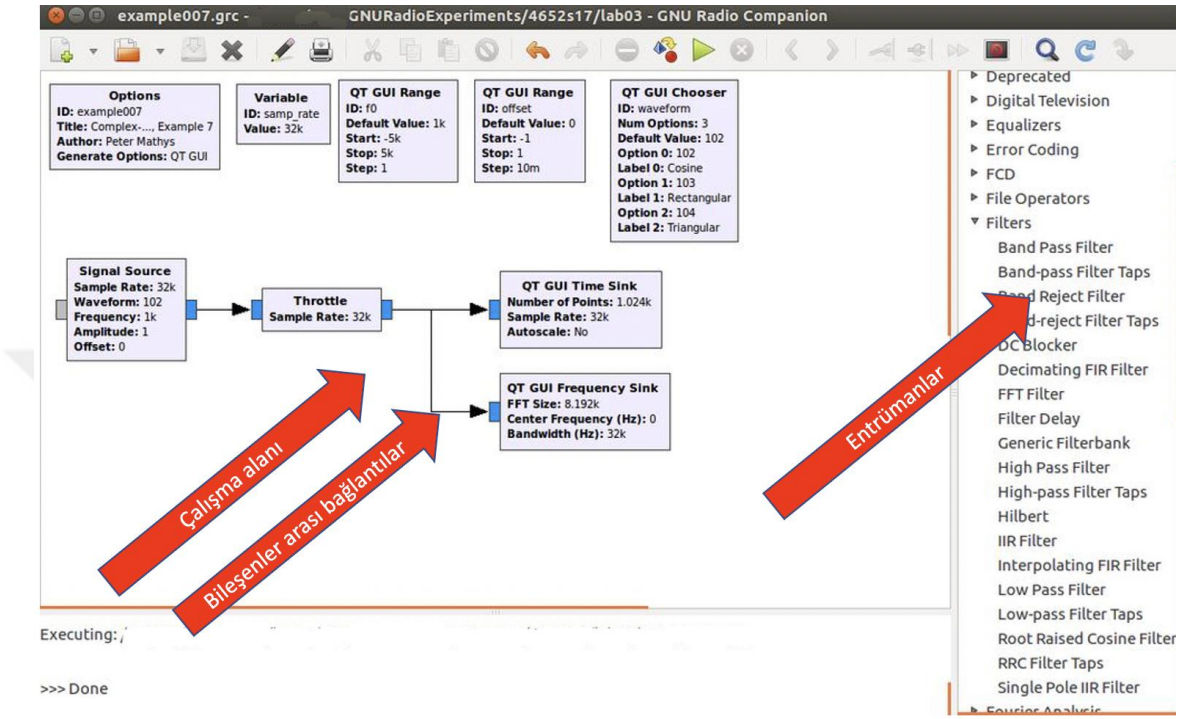
GQRX: GQRX yazılımı hem Microsoft Windows hem de Linux/MAC OS işletim sistemlerinde çalışabilen açık kaynak kodlu bir SDR alıcı yazılımıdır. Genel kullanımı SDR Sharp yazılımı ile benzer olup genel görünümü Şekil 3.36'daki gibidir;



Şekil 3.36 GQRX Ekranı Genel Görünümü

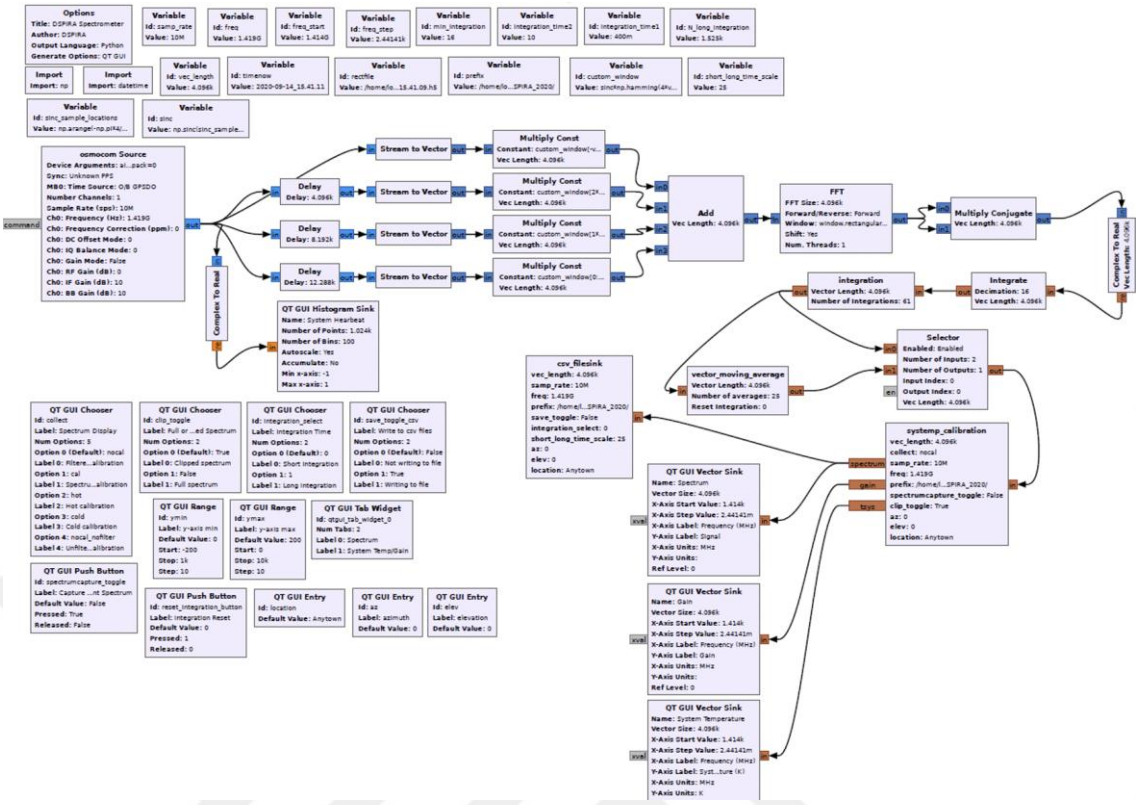
GNURadio: GNURadio yazılımı yukarıda belirtilen alıcı yazılımlarından özellikleri bakımından oldukça farklı bir yazılımdır. GNURadio bir alıcı yazılımından daha çok bir alıcının ve sinyal işleme bileşenlerinin grafiksel bir arayüzde programlanmasını sağlayan bir çalışma ortamıdır. GNURadio kullanarak radyo teleskobumuzun detay sinyal işleme aşamalarını tanımlayabilmek için ihtiyaç duyulacak pek çok bileşen (sinyal ortalaması almak, filtrelemek, doppler hesabı yapmak, ham data kayıtları

oluşturmak, vb.). İhtiyaç duyulacak bileşenlerin mevcut olmaması durumunda Python veya C/C++ programlama dili ve GNURadio kütüphanelerini kullanarak bu enstrümanı da GNURadio içerisindeki çalışma ortamına dahil etmek mümkündür.



Şekil 3.37 GNURadio Ekranı Genel Görünümü

Örneğin Şekil 3.38'deki ekranda 21cm hidrojen çizgisini gözlemek için gerekli sinyal işleme algoritmalarını çalıştırmak ve sonucu grafik olarak göstermek üzere düzenlenmiş örnek bir çalışma ortamı görülmektedir;



Şekil 3.38 GNURadio 21cm Gözlem Örneği

GNURadio'nun bir başka önemli özelliği de bu etkileşimli tasarım ortamında blokları birbirlerine bağlayarak oluşturulan SDR alıcı ve sinyal işleme yapısını Python kodu olarak çıkartabilmesidir. Daha sonra bu Python kodunu GNURadio arayüzünden bağımsız olarak işletim sistemi betiği olarak çalıştırabilmek mümkün olabilmektedir.

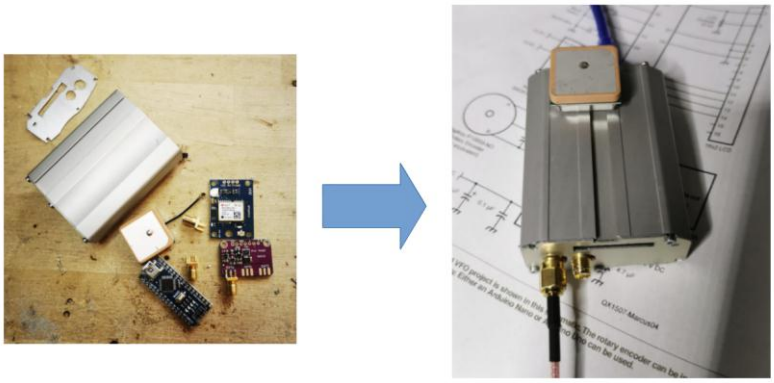
Radyo teleskobumuz için hazırlanan GNURadio bloklarının detayları ve oluşturulan Python kodunun çalıştırılacağı ARM işlemcili raspberry pi ortamı ile ilgili bilgiler "Alıcı ve Yönelim Kontrol Bilgisayarı" başlığı altında anlatılmaktadır.

3.2.1.6 GPS ile disipline edilmiş osilatör birimi

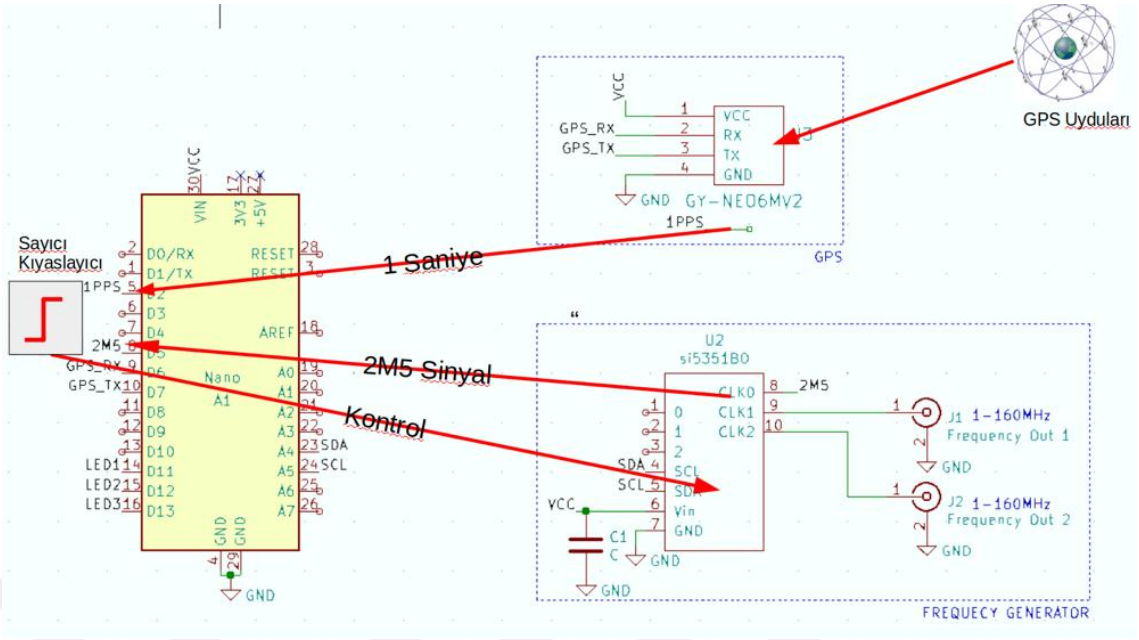
SDR alıcıları ile çalışırken ihtiyaç duyulan frekans kararlılığını sağlamak amacıyla aşağıdaki çözümler tercih edilmektedir;

- Yüksek kararlılıklı bir kristal osilatör (Rubidium osilatör),
- Termal kontrollü kristal osilatör (TCXO),
- Sabit sıcaklıkta tutulan kristaller (crystal oven),
- GPS Sinyali ile disipline edilmiş osilatör (GPSDO)

Bu tez çalışması kapsamında ihtiyaç duyulacak GPSDO (GPS Disciplinned Oscillator) devresi tasarımı 2020 yılında kararlılık (stabilite) ve sıcaklık dayanımı testleri 2020 yılında tamamlandı. Konu ile ilgili olarak detaylı bilgilere https://www.barisdinc.com.tr/2020/08/30/gpsdo-gps-ile-disipline-edilmis-osilator/ adresindeki açıklamalardan ulaşılabilir. Piyasada kolayca temin edilebilen GPS Alıcısı, mikrodenetleyici ve osilatör bileşenlerinden oluşan GPSO çözümünün şeması ve genel görünümü Şekil 3.39'duki gibidir;



Şekil 3.39 GPSDO Bileşenleri ve Genel Görünümü



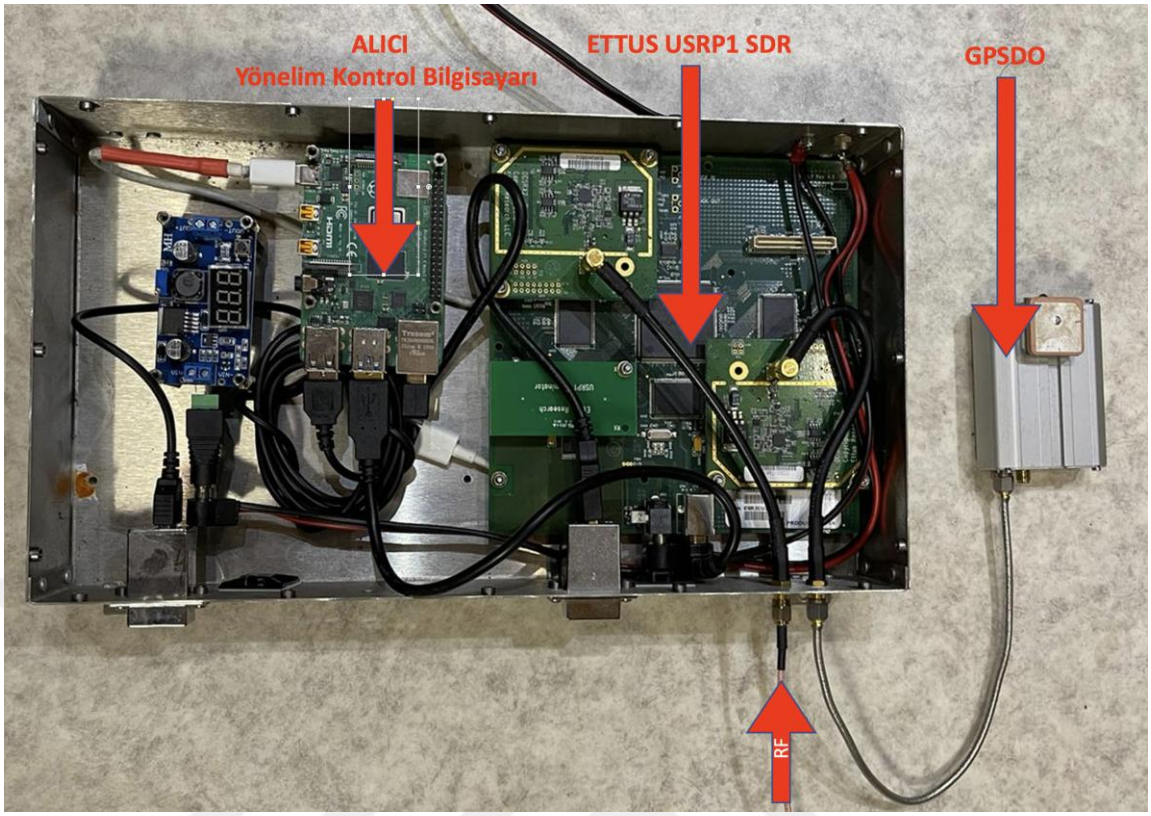
Şekil 3.40 GPSDO Şeması

3.2.1.7 Alıcı ve yönelim kontrol bilgisayarı bileşeni

Alıcı ve yönelim kontrol bilgisayarı olarak ARM işlemcili Raspberry Pi 4 mikrobilgisayarı ve üzerinde Raspbian Linux işletim sistemi kullanılmıştır.

Bu mikrobilgisayar Stellarium yazılımdan aldığı gökyüzü yönelim koordinatını anten kontrol birimine yatay ve düşey açıları olarak saniyede bir USB arayüzü üzerinden aktaracaktır. Aynı zamanda USB portu üzerinden bağlı olduğu USRP1 SDR alıcı cihazının frekansının ayarlanması ve gelen sayısal I-Q (In-phase ve Quadrature-phase) verilerinin işlenerek spektum bilgisinin oluşturulmasını sağlayacaktır.

Radyoteleskobun elektronik dış birimlerinin genel bir görünümü Şekil 3.41'deki gibidir;



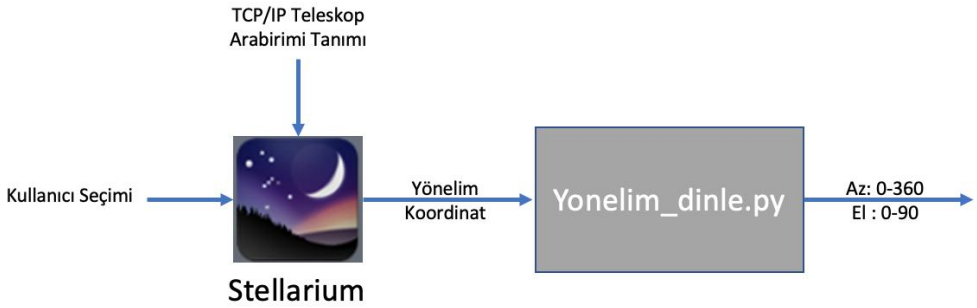
Şekil 3.41 Radyo Teleskop Dış Birim

Bu mikrobilgisayar üzerinde çalıştırılacak yazılımlar aşağıdaki gibidir;

- Gökyüzü yönelim UDP dinleyicisi “yönelim_dinle.py”
- Anten yönlendiricisine yönelim bilgisi gönderen “Rotctrld”
- SDR alıcıyı yöneten ve IQ verisinin UDP olarak çıkışını sağlayan “NiLescope.py”
- UDP IQ verisinin sinyal işleme işlemlerini yaparak spektrum görünümünü oluşturan “spektrum_cizdir.py”

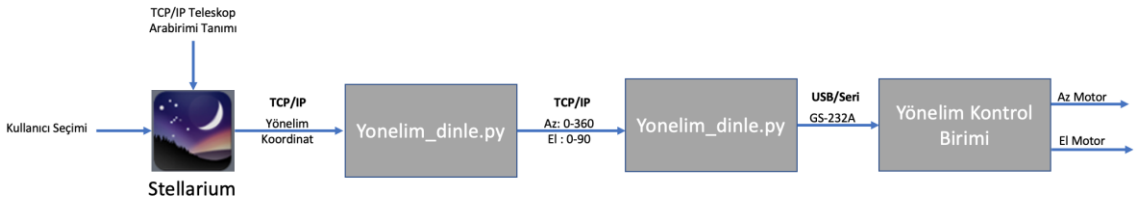
Yönelim_dinle.py:Görev Kontrol ve Yönetim Bilgisayarı üzerinde çalışan Stellarium yazılımına nasıl teleskop eklendiği ve bunun uzak bir birimi nasıl komuta ettiği ilgili bölümde anlatılmaktadır.

Stellarium yazılımından gelen koordinat yönelim bilgileri bu betik sayesinde öncelikle anten yönlendirme arabiriminin anlayabildiği Azimut 0-360 derece ve Elevasyon () 0-90 derece değerlerine çevrilmelidir;



Şekil 3.42 Koordinat Çevrimi

Rotctrld: Rotctrld yazılımı Linux işletim sistemi içerisinde HAMLIB yazılım paketi ile birlikte gelmekte ve pek çok marka/model anten rotor birimini kontrol edebilmektedir. Rotctld bir daemon (arabirim) olarak çalışıp TCP/IP üzerinden aldığı 0-360 derece azimut ve 0-90 derece elevasyon yönelim bilgisini ilgili rotor kontrol protokolüne çevirerek USB/Seri iletişim arayüzünden yönelim kontrol birimine ulaştırmaktadır, bu yapı Şekil 3.43'de gösterilmiştir.



Şekil 3.43 Motor Kontrol Arayüzü

NiLescope.py: GNURadio blokları ile oluşturulan yazılımın Python'a çevrilmiş halidir. SDR Alıcı'dan IQ verisini almak ve işlemek bu betiğin görevidir. Betik içerisinde başlıca şu sinyal işleme adımları gerçekleştirilmektedir;

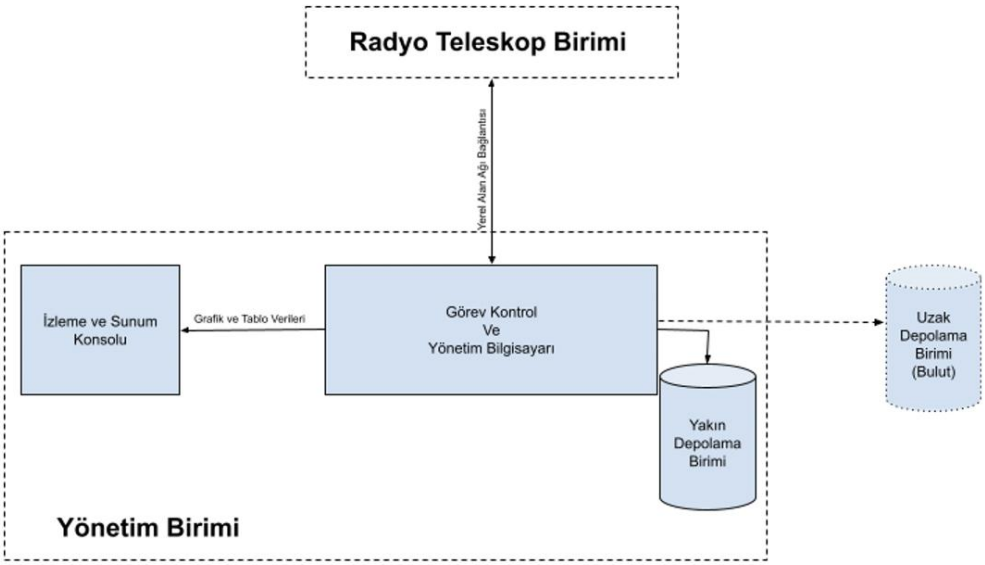
- Alıcı'dan gelen IQ verisi frekansının 21cm'e ayarlanması,
- 21cm için sayısal ön filtreleme işlemlerini yapmak,
- Dizi şeklinde gelen IQ verisini bir vektör yapısına çevirmek ve FFT (Fast Fourier Transform) yardımıyla frekans karşılığını oluşturmak,
- Sinyal üzerinde sürekli bir bölümünün ortalamasını almak (ortalama genlik değerini bulmak),
- Arkaplan için gürültü temizliği yapmak ve kalibrasyon döngüsünü çalıştırmak,
- Sonuçları belirli aralıklarla resim dosyalarına ve işlenmiş sayısal veri dosyalarına çevirmek.

3.2.2 Yönetim birimi

Yönetim Birimi'nin görevi radyo teleskobun uzaktan yönetim ve görüntüleme faaliyetlerini gerçekleştirmektir. Kullanıcının gözlem yapılacak bölgeyi seçimine olanak sağlayan grafik kullanıcı arayüzleri, eğer sisteme bağlı birden fazla radyo teleskop mevcut ise görevin hangi radyo teleskoba gönderileceği, radyo teleskopta oluşturulan ham ve işlenmiş gözlem sonuçlarının toplanarak depolama birimlerine yönlendirilmesi ve daha ilerde tasarlanabilecek bir eş zamanlı gözlem (interferometre) yapısı için merkezi birim görevini üstlenmektir. Yönetim birimi kapsamında başlıca aşağıdaki bileşenler yer almaktadır;

- Görev Kontrol ve Yönetim Bileşeni,
- İzleme ve Sunum Konsolu,
- Depolama Birimleri

Bu bileşenlerin birbirleri ile ilşkileri Şekil 3.44'de gösterilmiştir.



Şekil 3.44 Radyo Teleskop Yönetim Birimi Blok Şeması

3.2.2.1 Görev kontrol ve yönetim bilgisayarı bileşeni

Görev Kontrol ve Yönerim Bilgisayarı Linux işletim sistemi çalıştıran standard bir bilgisayar bileşenidir. Üzerinde çalıştırdığı "Stellarium" isimli program sayesinde operatöre gökyüzünün mevcut görünümünü ve istenilen bir zamandaki görünümünü göstererek gözlem planlaması yapmasına olanak sağlar.

Operatörün gözlem yapılacak nesneyi seçmesinin ardından bu bilgi dış birim üzerinde bulunan Yönelim Kontrol Bilgisayarı'na görev olarak (nesnenin ufuk üzerinde kaldığı tüm toplam süre için) gönderilir. Stelarium'a yazılabilecek eklentiler (ing. plugin) kaynak koduna yapılabilecek eklemelerle kullanıcı arayüzüne ekstra butonlar ve seçenekler eklenerek kullanıcının gözlem aralığını seçmesi ve bunları sıraya koyması gibi özellikler düşünülmüş ancak tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen radyo teleskop sistemi için hayata geçirilmemiştir.

Radyo teleskop tarafından gözlem gerçekleştirildikten sonra oluşan ham ve işlenmiş veriler Yönetim Bilgisayarı üzerinde bulunan InfluxDB No-SQL veritabanına

kaydedilir. Bu veritabanı dış paylaşımlar için harici bir veritabanı ile senkronize edilecek şekilde de ayarlanabilir.

Proje kapsamında Görev Kontrol ve Yönetim Bilgisayarı olarak “Lenovo M700” kişisel bilgisayarı ve Ubuntu 19.04 işletim sistemi kullanılmıştır. M700 bilgisayarı hem küçük ve portatif hem de çok sayıda monitör desteği nedeni ile tercih edilmiştir.



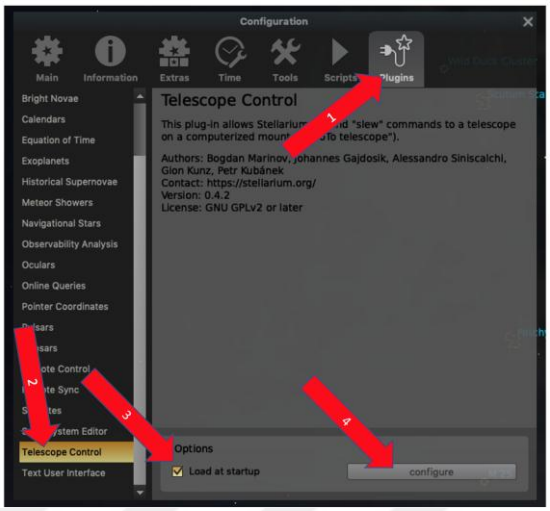
Şekil 3.45 Lenovo M700 Genel Görünümü

Bilgisayar üzerinde çalıştırılan bir web sunucusu ve Grafana grafik arayüz (dashboard) yazılımı ile oluşturulan görsel gözlem sonuçlarının herhangi bir internet tarayıcısı ile (örneğin izleme konsolu yerine kullanılacak cep telefonu, tablet veya akıllı televizyon gibi cihazlarla) izlenebilmesi sağlanmıştır.

Stellarium yazılımı gökyüzü nesnelerinin gözlem zamanlarının hesaplanması, ilgili zaman için gözlem seçiminin yapılması, teleskop yönlendirme hesaplarının yapılması ve otomatik olarak radyo teleskoba aktarılması amacıyla kullanılacaktır. Oldukça detaylı bir astronomi yazılımı olan Stellarium yazılımı hakkındaki detaylara https://stellarium.org/ adresinden ulaşılabilir (Stanimirovic 2014).

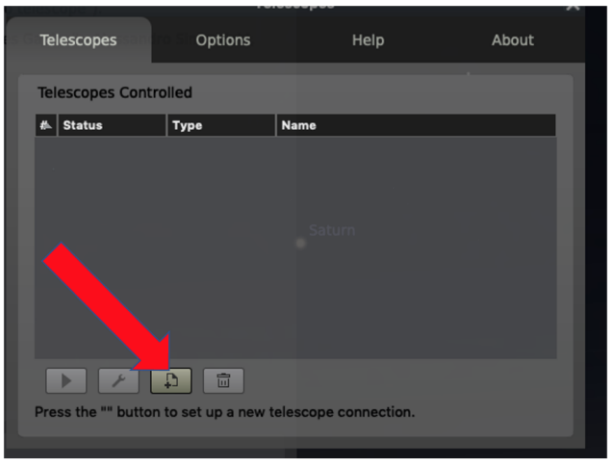
Temel olarak konum tanımlaması yapıldıktan sonra ayarlar menüsünde bulunan eklentiler (plug-ins) bölümünden teleskop kontrol eklentisini aktif etmek gerekmektedir. Bunun için ekranın sol alt bölümünde bulunan ayarlar ikonundan eklentiler (plugins) bölümünü seçip listenin en alt kısmında yer alan “Telescope Control” butonuna basılmalıdır. Sağ tarafta açılan seçeneklerden “Load at startup” seçeneğini seçtikten sonra “configure” butonuna basarak detay ayarlara girebilirsiniz. Ancak eklenti ilk kez

seçildiğinde “configure” butonu aktif olmayacaktır. Bu nedenle programı kapatıp açmak ve bu ekrana tekrar gelerek “configure” butonuna basmak gerekmektedir;



Şekil 3.46 Stellarium Teleskop Kontrol Eklentisi Ekranı

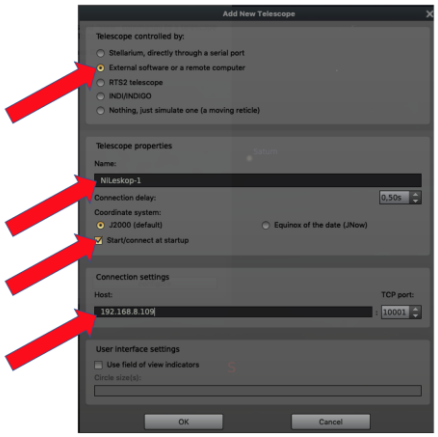
Configure” ekranı açıldığında alt bölümde bulunan “add new telescope” butonuna basılmalıdır;



Şekil 3.47 Stellarium Teleskop Kontrol Ayar Ekranı

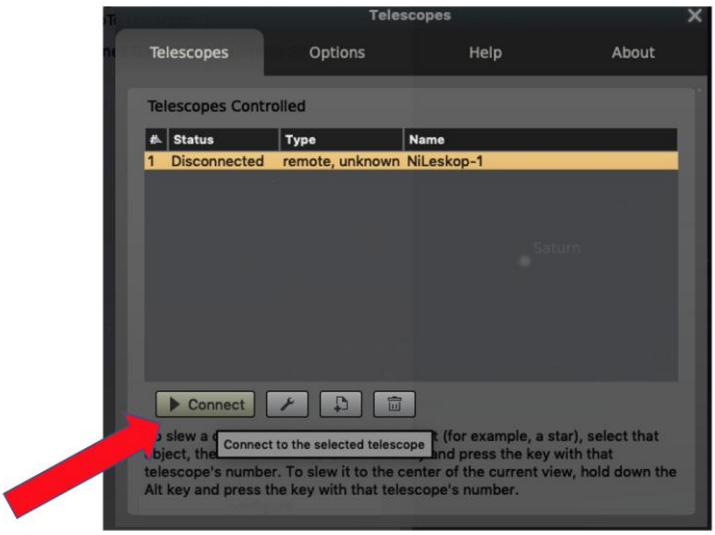
Yeni bir teleskop ekleme ekranında öncelikle “External software or a remote computer” seçeneği seçilerek anten yönelimini başka bir yazılımın yapacağı belirtmeli ve ardından teleskoba bir isim verilerek (örn: NiLescope) “start/connect at startup” seçeneğini

işaretlemelidir. Host bölümüne yönelim kontrol bilgisayarının IP adresini ve TCP port kısmına ise yönelim_dinle.py programı içinde tanımlı olan port bilgisi girilmelidir;



Şekil 3.48 Stellarium Yeni Teleskop Kontrol Tanım Ekranı

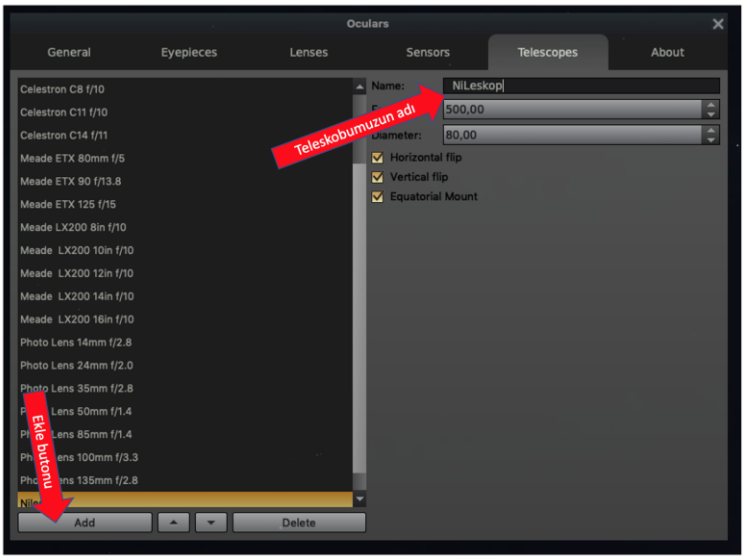
Daha sonra gelen ekranda “connect” butonuna basarak radyo teleskobun anten yönelim sistemi ile bağlantısı yapılır.



Şekil 3.49 Stellarium Teleskop Yönelim Kontrol Bağlantı Ekranı

Ekran üzerinde radyo teleskop yönlendirme ikonlarının çıkabilmesi için sağ üst bölümünde bulunan ayar ikonunu seçtikten sonra gelen ekranda “Telescopes” başlığına

basılmalıdır. Bu bölümde sol altta bulunan “Add” butonuna basarak yeni bir teleskop ekleyiniz. Sağ bölümde teleskop adı yazınız (Örn: NiLescope). Diğer bilgilerin radyo teleskop için şimdilik bir önemi yoktur.



Şekil 3.50 Stellarium Teleskop Tanımlama Ekranı

Bu işlemleri yaptığımızda Stellarium yazılımı ile radyo teleskobun yönelim kontrol birimlerini birbiri ile ilişkilendirilmiş olur.

Stellarium yazılımının web ortamına çalışan versiyonu (https://stellarium-web.org/) da artık mevcut olup ileride uzaktan yönetimi kolaylaştırmak amacı ile bu web ortamı ile entegrasyon yapılabilmesi de değerlendirilmelidir.

3.2.2.2 İzleme ve sunum konsolu

Tez kapsamında oluşturulan 21cm Hidrojen Çizgisi Gözlem Sistemi’nde İzleme ve Sunum Konsolu olarak 70” ekran büyüklüğüne sahip bir PHILIPS 70PUS7505 Televizyon tercih edilmiştir. Televizyon üzerinde ağ bağlantısı özelliği ve internet tarayıcısı bulunması dışında herhangi bir özelliğe ihtiyaç duyulmamaktadır.



Şekil 3.51 İzleme ve Sunum Konsolu Genel Görünümü

3.2.2.3 Yakın depolama birimi

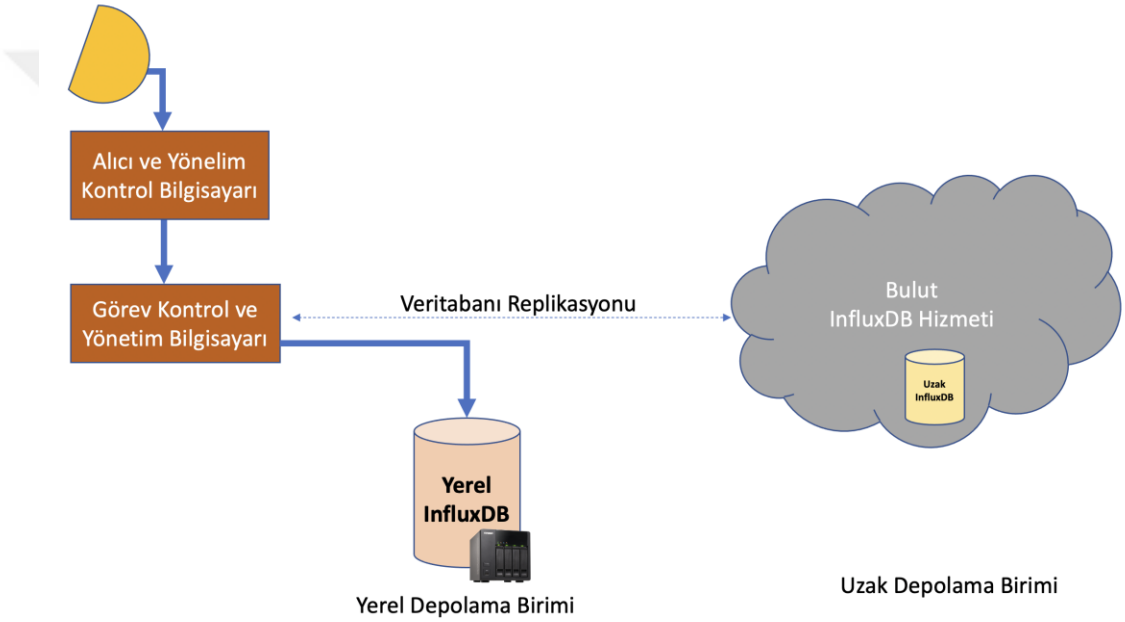
Yakın depolama birimi olarak ağ üzerinden bağlanılarak "Görev Kontrol ve Yönetim Bilgisayarı'na disk olarak eklenebilen mevcut QNAP TS-420 NAS (Network Accesed Storage) cihazı kullanılması tercih edilmiştir.



Şekil 3.52 QNAP TS-420 Depolama Birimi Genel Görünümü

3.2.2.4 Uzak depolama birimi

Mevcut çalışma kapsamında uzak depolama birimi kullanılmamıştır. Uzak depolama birimi olarak bulut üzerindeki herhangi bir depolama alanı (GoogleDrive, OneDrive, vb.) kullanılabilecek olup sadece disk alanı aktarımı yerine bulut üzerindeki bir veritabanına (GoogleCloud, AmazonCloud, AzureCloud üzerinde InfluxDB, vb.) yedekleme yapılmasının ileride bulut üzerinden de hizmet verilebilmesi için kolaylık sağlayacağı değerlendirilmelidir.



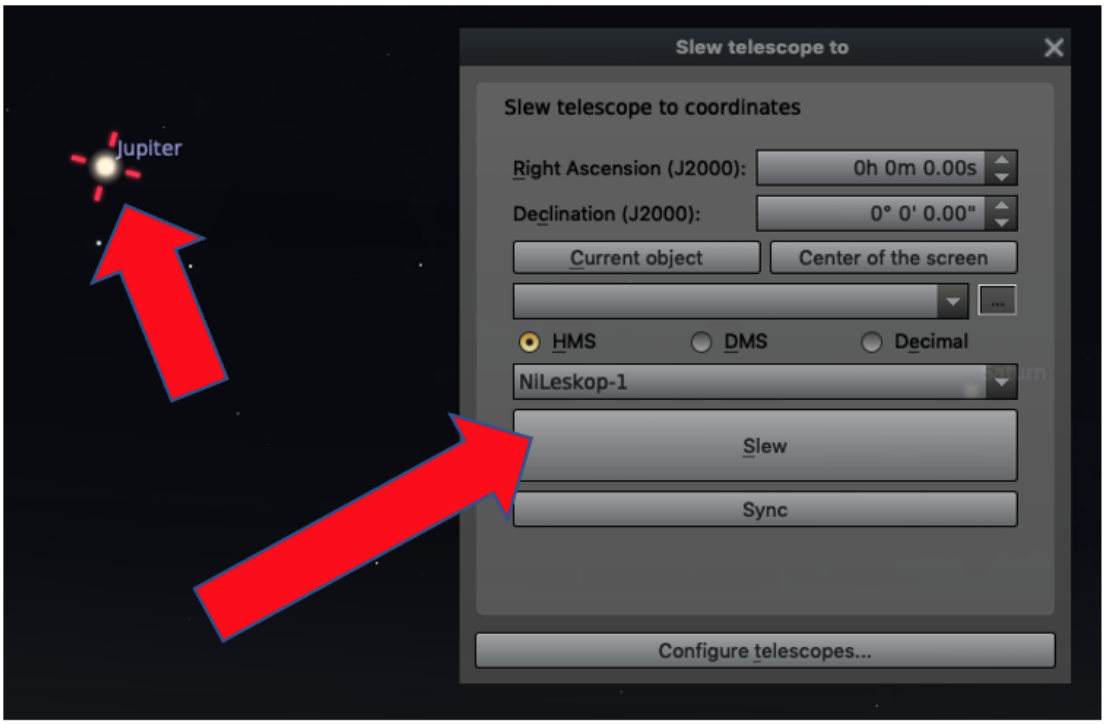
Şekil 3.53 Uzak Veri Depolama Mimarisi

3.3 Radyo Teleskop İşletme Adımları

Bu bölümde radyo teleskop kullanarak bir gözlemin nasıl yapılacağı ve sonuçlarının nasıl toplanacağı anlatılmıştır.

Öncelikle sistem yönetim bilgisayarında Stellarium yazılımı çalıştırılır. Gözlemlemek istenilen nesneleri ya da bölgeyi belirleyerek ve gözlem zamanını da dikkate alarak ön hazırlıklar tamamlanır.

Yönelendirme yapılacak objeyi ya da bölgeyi seçtikten sonra CTRL-1 tuşuna basılır, ekranda Şekil 3.54'deki ekran görünecek ve "slew" tuşu kullanılarak antene yönelim komutu gönderilmeye başlanacaktır;



Şekil 3.54 Stellarium İçinden Radyo Teleskoba Yönelim Gönderilmesi

Bu işlem aynı zamanda arka planda bir dizi otomatik işlemi tetiklemiş olacaktır. Bu işlemler sırasıyla şunlardır;

- Stellarium yazılımı TCP/IP bağlantısı üzerinden sürekli olarak anten kontrol sisteminde çalışan yönelim_dinle.py programına koordinat bilgisi gönderilir,
- Yonelim_dinle.py yazılımı koordinat bilgisini azimut 0-360 derece, elevasyon 0-90 derece aralığına çevirerek "rotctrld" rotor kontrol yazılıma TCP/IP üzerinden gönderilir,
- "rotctrld" yazılımı bu yönelim bilgisini YAESU GS-232A protokolünde komut cümlelerine (örn: W 120 30) çevirerek seri port üzerinden anten yönelim kontrol birimlerine gönderilir,

- Anten yönelim kontrol birimleri anten motorlarını çalıştırarak antenlerin belirlenen açıya dönüşünü başlatılır ve yönelim sensörlerinden okudukları veriler doğrultusunda doğru açıya yöneldiğinde motorları durdurarak antenin hareketini tamamlar, bu yönelim döngüsü her yeni koordinat bilgisi için yeniden otomatik olarak tekrarlanır,
- Yönelim_dinle.py yazılımı anten hareketlerini başlatırken bir yandan da Nilescope.py gözlem yazılımını tetikler,
- NiLescope.py yazılımı SDR alıcı'dan gelen veri üzerinde sinyal işlemlerini gerçekleştirip sonuçlarını hem dosyalar (resim ve veri dosyası) olarak hazırlayacak hem de InfluxDB veritabanına işleyecektir,
- InfluxDB'ye işlenen tüm veriler izleme konsollarında açık olan Grafana Dashboard panellerinde 5 saniyede bir güncellenerek verilerin son halleri görselleştirir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında uygun maliyetli ancak yüksek performanslı bir radyo teleskobun tüm tasarım aşamaları ve kritik tasarım kararları anlatılmış ve benzerleri ile farklı olan özellikleri vurgulanmıştır. Günümüzde SDR donanım ve yazılımlarının yaygınlaşması ile birlikte pek çok amatör radyo astronomi çözümü oluşturulmaya başlanmış olmakla birlikte bu tez kapsamında oluşturulan çalışma;

- Septum Feed alıcı anten mimarisi avantajları,
- Yönelim sisteminin otomasyonu,
- Parabolik yansıtıcı yüzey kullanımı,
- Alıcı frekans kararlılığı ve hassasiyeti,
- GPS zaman eşlemesi,
- Analog RF filtreleri ve yükselteçleri yanı sıra SDR yazılımı içerisindeki sinyal işleme yaklaşımı

bakımından yaklaşık maliyetlerdeki sistemlere üstünlük sağlayarak profesyonel sayılabilecek bir hassasiyette 21cm hidrojen çizgisi gözlemi radyo astronomi çalışmaları yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Sistem mimarisinin genişleyebilir yapısı, ileride benzer anten sistemlerinin birbirleri ile entegre edilerek bir veya birden fazla merkezden ve ağ üzerinden eş zamanlı olarak kontrol edilebilmesine ve interferometre çalışmaları yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Ülkemizdeki 21 cm Hidrojen gözlemlerinin yaygınlaşmasında katkısı olacağını değerlendirdiğimiz bu çalışmanın farklı dalga boyunda yapılacak radyo teleskop tasarım çalışmaları için de mimari bir örnek teşkil edeceği değerlendirilmelidir. Sistemin dağıtık mimaride ve bağımsız birimlerden oluşması, her bileşenin farklı bileşenlerle yer

değiştirebilir (modüler) olması da sistemin genişlemeye açık ve gelecek nesil radyo gözlem sistemlerinin mimari temellerini tanımlaması öngörülmüştür.

Ülkemizde yavaş yavaş gelişmekte olan radyo gözlemlerine faydası dokunması amacıyla kullanılan tüm yazılımların açık kaynak kodlu veya ticari/akademik kısıtı olmayan yazılımlardan seçilmesine özen gösterilmiş olup bu tez kapsamında geliştirilen tüm bileşenler de açık kaynak kodlu olarak bilim dünyasının kullanımına açılmıştır.

KAYNAKLAR

Anonymous. 2001. Web Sitesi : http://www.wordnet.net "More Information About Radio Astronomy"

Condon, James J., and Scott M. Ransom. Essential Radio Astronomy. Vol. 2. Princeton University Press, 2016. (Full text) Ch.3. on Antennae, Radiometers/Spectrometers and Ch.7 on Hydrogen Line are particularly helpful.

Küçük, İ,, Yusifov, İ., Özel, ME,, Mete, M., (2002), "Erciyes Üniversitesi ERT-5 Radyo Teleskopu Çalışmaları", Union Radio Science İnternational (URSI) Türkiye 2002 Bilimsel Kongresi Bildiri Kitapçığı, İstanbul. s 415-419,

Küçük, İ., Yusifov, İ., (2002) "The Turkish Radio Telescope Project for Neutral Hydrogen Observations in Galaxy", The Magnetized Interstellar Medium, Antalya

N. A. Patel, R. N. Patel, R. S. Kimberk, A. Krolewski, J. Ryan, K. S. Karkare, J. M. Kovac, T. M. Dame. "A low-cost 21 cm horn-antenna radio telescope for education and outreach", Center for Astrophysics, Harvard University, Massachusetts Institute of Technology

Nıkolova, Natalia K. 2018. Antenna Engineering Lecture Notes for the course ECE753 Department of Electrical and Computer Engineering McMaster University

Özel M.E, Yusifov LM., Karelin Y., Demircan O., Gözel 1., Adigüzel T., Bayer G., DemirelB., (1997), "Calibration Of 2m. Size Marmara Radio Telescope", 10. Ulusal Astronomi Kongresi Bildiri Kitapçığı, İstanbul ÜniversitesiYayınları, İstanbul.

Polard, Jean Marie 2016 Amateur Radio Astronomy How to start.

Samek, Zdenek Jaroslav. 2002. "Feed for Parabolic Dish with Circular Polarization", 10th International EME Conference 2002, Prague, 2002

Samek, Zdenek Jaroslav. 2021.Web Sitesi: http://www.ok1dfc.com/eme/Technic Erişim Tarihi: 02.05.2021

Stanımırovıc , Snezana. 2014. ASTRONOMY 460 Lecture Notes "Project Intro - Galactic Rotation Curve", October 6, 2014

Wade, Paul, W1GHZ, The W1GHZ Online Microwave Antenna Handbook, Bölüm 6.5.3, http://www.w1ghz.org/antbook

EKLER

EK 1 NiLescope.py

EK 2 NiLescope_rapor.py

EK 1 NiLescope.py

Açıklama : yonelim_dinle.py tarafından çağırılır ve gözlemi başlatır

```
#!/usr/bin/env python2
# -*- coding: utf-8 -*-
##################################################
# GNU Radio Python Flow Graph
# Title: NiLescope
# Generated: June 18 14:23:35 2021
##################################################


from gnuradio import blocks
from gnuradio import eng_notation
from gnuradio import fft
from gnuradio import gr
from gnuradio.eng_option import eng_option
from gnuradio.fft import window
from gnuradio.filter import firdes
from optparse import OptionParser
import numpy as np
import osmosdr
import time


class top_block(gr.top_block):

    def __init__(self, c_freq=1420000000, nbin=1000, nchan=1024,
obs_time=60, samp_rate=2400000):
        gr.top_block.__init__(self, "NiLescope")

        ##################################################
        # Parameters
        ##################################################
        self.c_freq = c_freq
        self.nbin = nbin
        self.nchan = nchan
        self.obs_time = obs_time
        self.samp_rate = samp_rate

        ##################################################
        # Variables
        ##################################################
        self.sinc_sample_locations = sinc_sample_locations =
np.arange(-np.pi*4/2.0, np.pi*4/2.0, np.pi/nchan)
        self.sinc = sinc = np.sinc(sinc_sample_locations/np.pi)
        self.custom_window = custom_window = sinc*np.hamming(4*nchan)

        ##################################################
        # Blocks
        ##################################################
        self.fft_vxx_0 = fft.fft_vcc(nchan, True, (win-
dow.blackmanharris(nchan)), True, 1)
        self.blocks_stream_to_vector_0_2 =
blocks.stream_to_vector(gr.sizeof_gr_complex*1, nchan)
```

```
        self.blocks_stream_to_vector_0_1 =
blocks.stream_to_vector(gr.sizeof_gr_complex*1, nchan)
        self.blocks_stream_to_vector_0_0 =
blocks.stream_to_vector(gr.sizeof_gr_complex*1, nchan)
        self.blocks_stream_to_vector_0 =
blocks.stream_to_vector(gr.sizeof_gr_complex*1, nchan)
        self.blocks_multiply_const_vxx_0_0_0_0 =
blocks.multiply_const_vcc((custom_window[0:nchan]))
        self.blocks_multiply_const_vxx_0_0_0 =
blocks.multiply_const_vcc((custom_window[nchan:2*nchan]))
        self.blocks_multiply_const_vxx_0_0 =
blocks.multiply_const_vcc((custom_window[2*nchan:3*nchan]))
        self.blocks_multiply_const_vxx_0 =
blocks.multiply_const_vcc((custom_window[-nchan:]))
        self.blocks_integrate_xx_0 = blocks.integrate_ff(nbin, nchan)
        self.blocks_head_0 = blocks.head(gr.sizeof_gr_complex*1,
int(obs_time*samp_rate))
        self.blocks_file_sink_0 =
blocks.file_sink(gr.sizeof_float*nchan, 'gozlem.dat', True)
        self.blocks_file_sink_0.set_unbuffered(False)
        self.blocks_delay_0_1 = blocks.delay(gr.sizeof_gr_complex*1,
nchan)
        self.blocks_delay_0_0 = blocks.delay(gr.sizeof_gr_complex*1,
nchan*2)
        self.blocks_delay_0 = blocks.delay(gr.sizeof_gr_complex*1,
nchan*3)
        self.blocks_complex_to_mag_squared_0 =
blocks.complex_to_mag_squared(nchan)
        self.blocks_add_xx_0 = blocks.add_vcc(nchan)
        self.USRP1 = osmosdr.source( args="numchan=" + str(1) + " " +
'' )
        self.USRP1.set_sample_rate(samp_rate)
        self.USRP1.set_center_freq(c_freq, 0)
        self.USRP1.set_freq_corr(0, 0)
        self.USRP1.set_dc_offset_mode(0, 0)
        self.USRP1.set_iq_balance_mode(0, 0)
        self.USRP1.set_gain_mode(False, 0)
        self.USRP1.set_gain(30, 0)
        self.USRP1.set_if_gain(30, 0)
        self.USRP1.set_bb_gain(30, 0)
        self.USRP1.set_antenna('', 0)
        self.USRP1.set_bandwidth(0, 0)


        ##################################################
        # Connections
        ##################################################
        self.connect((self.USRP1, 0), (self.blocks_head_0, 0))
        self.connect((self.blocks_add_xx_0, 0), (self.fft_vxx_0, 0))
        self.connect((self.blocks_complex_to_mag_squared_0, 0),
(self.blocks_integrate_xx_0, 0))
        self.connect((self.blocks_delay_0, 0),
(self.blocks_stream_to_vector_0_2, 0))
        self.connect((self.blocks_delay_0_0, 0),
(self.blocks_stream_to_vector_0_0, 0))
        self.connect((self.blocks_delay_0_1, 0),
(self.blocks_stream_to_vector_0_1, 0))
        self.connect((self.blocks_head_0, 0), (self.blocks_delay_0,
0))
```

```
        self.connect((self.blocks_head_0, 0), (self.blocks_delay_0_0,
0))
        self.connect((self.blocks_head_0, 0), (self.blocks_delay_0_1,
0))
        self.connect((self.blocks_head_0, 0),
(self.blocks_stream_to_vector_0, 0))
        self.connect((self.blocks_integrate_xx_0, 0),
(self.blocks_file_sink_0, 0))
        self.connect((self.blocks_multiply_const_vxx_0, 0),
(self.blocks_add_xx_0, 0))
        self.connect((self.blocks_multiply_const_vxx_0_0, 0),
(self.blocks_add_xx_0, 1))
        self.connect((self.blocks_multiply_const_vxx_0_0_0, 0),
(self.blocks_add_xx_0, 2))
        self.connect((self.blocks_multiply_const_vxx_0_0_0_0, 0),
(self.blocks_add_xx_0, 3))
        self.connect((self.blocks_stream_to_vector_0, 0),
(self.blocks_multiply_const_vxx_0, 0))
        self.connect((self.blocks_stream_to_vector_0_0, 0),
(self.blocks_multiply_const_vxx_0_0_0, 0))
        self.connect((self.blocks_stream_to_vector_0_1, 0),
(self.blocks_multiply_const_vxx_0_0, 0))
        self.connect((self.blocks_stream_to_vector_0_2, 0),
(self.blocks_multiply_const_vxx_0_0_0_0, 0))
        self.connect((self.fft_vxx_0, 0),
(self.blocks_complex_to_mag_squared_0, 0))

    def get_c_freq(self):
        return self.c_freq

    def set_c_freq(self, c_freq):
        self.c_freq = c_freq
        self.USRP1.set_center_freq(self.c_freq, 0)

    def get_nbin(self):
        return self.nbin

    def set_nbin(self, nbin):
        self.nbin = nbin

    def get_nchan(self):
        return self.nchan

    def set_nchan(self, nchan):
        self.nchan = nchan
        self.set_custom_window(self.sinc*np.hamming(4*self.nchan))
        self.set_sinc_sample_locations(np.arange(-np.pi*4/2.0,
np.pi*4/2.0, np.pi/self.nchan))

self.blocks_multiply_const_vxx_0_0_0_0.set_k((self.custom_window[0:sel
f.nchan]))

self.blocks_multiply_const_vxx_0_0_0.set_k((self.custom_window[self.nc
han:2*self.nchan]))

self.blocks_multiply_const_vxx_0_0.set_k((self.custom_window[2*self.nc
han:3*self.nchan]))
        self.blocks_multiply_const_vxx_0.set_k((self.custom_window[-
self.nchan:]))
```

```
        self.blocks_delay_0_1.set_dly(self.nchan)
        self.blocks_delay_0_0.set_dly(self.nchan*2)
        self.blocks_delay_0.set_dly(self.nchan*3)

    def get_obs_time(self):
        return self.obs_time

    def set_obs_time(self, obs_time):
        self.obs_time = obs_time

self.blocks_head_0.set_length(int(self.obs_time*self.samp_rate))

    def get_samp_rate(self):
        return self.samp_rate

    def set_samp_rate(self, samp_rate):
        self.samp_rate = samp_rate

self.blocks_head_0.set_length(int(self.obs_time*self.samp_rate))
        self.USRP1.set_sample_rate(self.samp_rate)

    def get_sinc_sample_locations(self):
        return self.sinc_sample_locations

    def set_sinc_sample_locations(self, sinc_sample_locations):
        self.sinc_sample_locations = sinc_sample_locations
        self.set_sinc(np.sinc(self.sinc_sample_locations/np.pi))

    def get_sinc(self):
        return self.sinc

    def set_sinc(self, sinc):
        self.sinc = sinc
        self.set_custom_window(self.sinc*np.hamming(4*self.nchan))
        self.set_sinc(np.sinc(self.sinc_sample_locations/np.pi))

    def get_custom_window(self):
        return self.custom_window

    def set_custom_window(self, custom_window):
        self.custom_window = custom_window

self.blocks_multiply_const_vxx_0_0_0_0.set_k((self.custom_window[0:sel
f.nchan]))

self.blocks_multiply_const_vxx_0_0_0.set_k((self.custom_window[self.nc
han:2*self.nchan]))

self.blocks_multiply_const_vxx_0_0.set_k((self.custom_window[2*self.nc
han:3*self.nchan]))
        self.blocks_multiply_const_vxx_0.set_k((self.custom_window[-
self.nchan:]))


def argument_parser():
    parser = OptionParser(usage="%prog: [options]", op-
tion_class=eng_option)
    parser.add_option(
```

```
        "", "--c-freq", dest="c_freq", type="eng_float", defa-
ult=eng_notation.num_to_str(1420000000),
        help="Set c_freq [default=%default]")
    parser.add_option(
        "", "--nbin", dest="nbin", type="intx", default=1000,
        help="Set nbin [default=%default]")
    parser.add_option(
        "", "--nchan", dest="nchan", type="intx", default=1024,
        help="Set nchan [default=%default]")
    parser.add_option(
        "", "--obs-time", dest="obs_time", type="eng_float", defa-
ult=eng_notation.num_to_str(60),
        help="Set obs_time [default=%default]")
    parser.add_option(
        "", "--samp-rate", dest="samp_rate", type="eng_float", defa-
ult=eng_notation.num_to_str(2400000),
        help="Set samp_rate [default=%default]")
    return parser


def main(top_block_cls=top_block, options=None):
    if options is None:
        options, _ = argument_parser().parse_args()

    tb = top_block_cls(c_freq=options.c_freq, nbin=options.nbin,
nchan=options.nchan, obs_time=options.obs_time,
samp_rate=options.samp_rate)
    tb.start()
    tb.wait()


if __name__ == '__main__':
    main()
```

EK 2 NiLescope_rapor.py

Açıklama : Gözlem sonuçlarına ait dosyaların oluşturulmasını sağlar, NiLeskop.py içerisinden çağırılır

```
import requests
import smtplib
import os
import sys
import datetime
import virgo
from email.mime.multipart import MIMEMultipart
from email.mime.text import MIMEText
from email.mime.base import MIMEBase
from email import encoders
from shutil import copy2
from time import sleep

while True:
    while True:
        sleep(10)
        try:
            response =
requests.get('https://192.168.8.109/gozlemler.txt')
            if response.status_code == 200:
                exec(response.content)
                print(response.status_code)
        except Exception as e:
            print(e)
            pass
    f_center = str(float(f_center)*10**6)
    if bandwidth == '500khz':
        bandwidth = '500000'
    elif bandwidth == '1mhz':
        bandwidth = '1000000'
    elif bandwidth == '2mhz':
        bandwidth = '2000000'
    elif bandwidth == '2.4mhz':
        bandwidth = '2400000'
    elif bandwidth == '3.2mhz':
        bandwidth = '3200000'
    try:
        os.remove('gozlem.dat')
        os.remove('gozlem.png')
        os.remove('gozlem.csv')
        os.remove('kayitlar.csv')
    except OSError:
        pass
    try:
        currentDT = datetime.datetime.now()
        obsDT = currentDT.strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
        obsDTfile = currentDT.strftime("%Y%m%d%H%M%S")
        t_sample = int(nbins)*int(channels)/float(bandwidth)
        observation = {
    'dev_args': '',
    'rf_gain': 30,
```

```
    'if_gain': 30,
    'bb_gain': 30,
    'frequency': float(f_center),
    'bandwidth': float(bandwidth),
    'channels': int(channels),
    't_sample': t_sample,
    'duration': float(duration)
        }
        virgo.observe(obs_parameters=observation, spectrometer='wola',
obs_file='gozlem.dat')
        copy2('gozlem.dat', ''+str(obsDTfile)+'.dat')
        if f_center == '1420000000.0' and (bandwidth == '2400000' or
bandwidth == '3200000') and (channels == '1024' or channels ==
'2048'):
                if channels == '1024' and bandwidth == '2400000':
                        cal_file = 'off1024.dat'
                elif channels == '2048' and bandwidth == '2400000':
                        cal_file = 'off2048.dat'
                elif channels == '2048' and bandwidth == '3200000':
                        cal_file = 'off2048_3_2.dat'
                else:
                        cal_file = ''
        else:
                cal_file = ''
        virgo.plot(obs_parameters=observation, n=20, m=20,
f_rest=1420.4057517667e6,
                   obs_file='gozlem.dat', cal_file=cal_file,
                   spectra_csv='gozlem.csv', power_csv='kayitlar.csv',
plot_file='gozlem.png')
        with open('gozlem.txt', 'a') as id_logfile:
            id_logfile.write(id+'\n')
        if obs_name == 'off1024':
            copy2('gozlem.dat', 'off1024.dat')
        elif obs_name == 'off2048':
            copy2('gozlem.dat', 'off2048.dat')
        fromaddr = 'nileskop@gmail.com'
        toaddr = email
        msg = MIMEMultipart()
        msg['From'] = fromaddr
        msg['To'] = toaddr
        msg['Subject'] = '['+id+'] Gözlem Sonucu'
        body = '''
Gozlem Adı: '''+obs_name+'''
Gozlem Zamanı: '''+obsDT+''' (UTC+2)
Merkez Frekans: '''+f_center+''' Hz
Band Genişliği: '''+bandwidth+''' Hz
Örnekleme: '''+bandwidth+''' örnek/saniye
Kanal Sayısı: '''+channels+'''
Bin sayısı: '''+nbins+'''
Gözlem Süresi: '''+duration+''' saniye
ID: '''+id+'''
.'''

        msg.attach(MIMEText(body, 'plain'))
        filename1 = 'gozlem.png'
        attachment1 = open(""+filename1, 'rb')
        p1 = MIMEBase('application', 'octet-stream')
        p1.set_payload((attachment1).read())
        encoders.encode_base64(p1)
```

```
        p1.add_header('Content-Disposition', 'attachment; filename=
%s' % filename1)
        msg.attach(p1)
        if (raw_data == '1'):
            filename2 = 'gozlem.csv'
            attachment2 = open(""+filename2, 'rb')
            p2 = MIMEBase('application', 'octet-stream')
            p2.set_payload((attachment2).read())
            encoders.encode_base64(p2)
            p2.add_header('Content-Disposition', 'attachment; filena-
me= %s' % filename2)
            msg.attach(p2)
            filename3 = 'kayitlar.csv'
            attachment3 = open(""+filename3, 'rb')
            p3 = MIMEBase('application', 'octet-stream')
            p3.set_payload((attachment3).read())
            encoders.encode_base64(p3)
            p3.add_header('Content-Disposition', 'attachment; filena-
me= %s' % filename3)
            msg.attach(p3)
        s = smtplib.SMTP('smtp.gmail.com', 587)
        s.starttls()
        s.login(fromaddr, 'password')
        text = msg.as_string()
        s.sendmail(fromaddr, toaddr, text)
        s.quit()
        fromaddr = 'nilescope@gmail.com'
        toaddr = fromaddr
        msg = MIMEMultipart()
        msg['From'] = fromaddr
        msg['To'] = toaddr
        msg['Subject'] = '['+id+'] Gözlem Verisi'
        body = '''
Gozlem Adı: '''+obs_name+'''
Gozlem Zamanı: '''+obsDT+''' (UTC+2)
Merkez Frekans: '''+f_center+''' Hz
Band Genişliği: '''+bandwidth+''' Hz
Örnekleme: '''+bandwidth+''' örnek/saniye
Kanal Sayısı: '''+channels+'''
Bin sayısı: '''+nbins+'''
Gözlem Süresi: '''+duration+''' saniye
ID: '''+id+'''
        msg.attach(MIMEText(body, 'plain'))
        filename1 = 'observation.dat'
        attachment1 = open(""+filename1, 'rb')
        p1 = MIMEBase('application', 'octet-stream')
        p1.set_payload((attachment1).read())
        encoders.encode_base64(p1)
        p1.add_header('Content-Disposition', 'attachment; filename=
%s' % filename1)
        msg.attach(p1)
        filename2 = 'spectrum.csv'
        attachment2 = open(""+filename2, 'rb')
        p2 = MIMEBase('application', 'octet-stream')
        p2.set_payload((attachment2).read())
        encoders.encode_base64(p2)
        p2.add_header('Content-Disposition', 'attachment; filename=
%s' % filename2)
        msg.attach(p2)
```

```
        filename3 = 'time_series.csv'
        attachment3 = open(""+filename3, 'rb')
        p3 = MIMEBase('application', 'octet-stream')
        p3.set_payload((attachment2).read())
        encoders.encode_base64(p3)
        p3.add_header('Content-Disposition', 'attachment; filename=
%s' % filename3)
        msg.attach(p3)
        s = smtplib.SMTP('smtp.gmail.com', 587)
        s.starttls()
        s.login(fromaddr, 'password')
        text = msg.as_string()
        s.sendmail(fromaddr, toaddr, text)
        s.quit()
    except Exception as e:
        print(e)
        pass
```