



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ  
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING  
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

## 1420 MHZ RADYO TELESKOP UYGULAMALARI İÇİN MİKROŞERİT BASAMAK EMPEDANS REZONATÖRLÜ BANT GEÇİREN FİLTRE TASARIMI

### SIR MICROSTRIP BAND-PASS FILTER DESIGN FOR 1420 MHZ RADIO TELESCOPE APPLICATIONS

Yazarlar (Authors): Bilge Şenel 

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Şenel B., “1420 Mhz Radyo Teleskop Uygulamaları İçin Mikroşerit Basamak Empedans Rezonatörlü Bant Geçiren Filtre Tasarımı” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 7(1): 9-17, (2023).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1137571

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

# 1420 MHZ RADYO TELESKOP UYGULAMALARI İÇİN MİKROŞERİT BASAMAK EMPEDANS REZONATÖRLÜ BANT GEÇİREN FİLTRE TASARIMI

Bilge Şenel<sup>a</sup> 

<sup>a</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

\* Sorumlu Yazar: [bilgeturkel@sdu.edu.tr](mailto:bilgeturkel@sdu.edu.tr)

(Received: 29.06.2022; Revised: 18.10.2022; Accepted: 04.04.2023)

## ÖZ

Radyo teleskoplar, gökbilimcilere, görsel veya optik bölgenin çok ötesine uzanan erişilebilir elektromanyetik spektrumun tamamında gözlem yapma imkânı sunarlar. Her frekans aralığı kendi içgörülerini sağlar ve genellikle kendi teleskop ve dedektör çeşitlerini gerektirir. Radyo astronomlar, 13 MHz ile 2000 GHz aralığında frekanslarda enerji yayan veya emen nesnelere incelerler ve atmosferin şeffaf olduğu her frekans değerinde çalışmalar yapılır. 1420 MHz radyo astronomik ölçümlerin yapıldığı frekans değerlerinden birisidir. Yaklaşık 1420 MHz'de 21 cm'lik bir dalga boyuna sahip olan nötr hidrojen (HI) emisyonları, galaksideki uzak yerlerden ve yönlerden kaynaklanır, yıldızlararası bulutlardan geçer ve Doppler kaydırılmış frekanslarda yer tabanlı radyo teleskop gözlemlerinde ortaya çıkar. HI emisyonlarından yapılan haritalar, Samanyolu Galaksisi'nin sarmal yapısını ortaya çıkarır. Ölçümler radyo teleskop sistemlerinin RF bloğu ile gerçekleştirilir. Bant geçiren filtreler bu RF bloğun çok önemli bileşenlerindedir. Bu çalışmada 1420 MHz radyo teleskop uygulamaları için Basamak Empedans Rezonatör yapısı kullanılarak mikroşerit bant geçiren filtre tasarımı yapılmıştır. Tasarımda basamak empedans rezonatörü ile paralel kuplajlı hat yapısı beraber kullanılmıştır. Filtre Keysight ADS simülatörü ile tasarlanmış ve istenen tasarım kriterlerine ulaşmak için paralel kuplajlı hat uzunlukları optimize edilmiştir. Yapılan simülasyonlar neticesinde tasarlanan filtrenin 3dB bant genişliği 130 MHz, ekleme kaybı ( $S_{21}$ ) -0.152 dB, giriş yansıma katsayısı ( $S_{11}$ ) -38.018 dB olarak bulunmuştur. Çalışmada tasarlanan filtre 1420 MHz radyo teleskoplarının RF alıcı bloğunda kullanılacak kriterlere sahiptir. Ayrıca filtre eğitim ve deney amaçlı radyo teleskop sistemlerinde kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Radyo Teleskop, 1420 MHz Nötr Hidrojen (HI) Emisyonu, Mikroşerit Bant Geçiren Filtre, Basamak Empedans Rezonatör.

## SIR MICROSTRIP BAND-PASS FILTER DESIGN FOR 1420 MHZ RADIO TELESCOPE APPLICATIONS

### ABSTRACT

Radio telescopes allow astronomers to observe across the entire accessible electromagnetic spectrum that extends far beyond the visual or "optical" region. Each frequency range provides its own insights and often requires its own variety of telescopes and detectors. Radio astronomers research objects which emit or absorb energy from 13 MHz to 2000 GHz and studies are carried out at every frequency where the atmosphere is transparent. 1420 MHz is one of the frequency values where radio astronomical measurements are carried out. Neutral hydrogen (HI) emissions, with a wavelength of 21 cm at about 1420 MHz, originate from distant places and directions in the galaxy, pass through interstellar clouds and occur in ground-based radio telescope observations at Doppler shifted frequencies. Maps made from HI emissions reveal the spiral structure of the Milky Way Galaxy. Measurements are carried out with the RF block of radio telescope systems. Bandpass filters are one of the most important components of this RF block. In this study, a microstrip bandpass filter was designed for 1420 MHz radio telescopes using the Stepped Impedance Resonator (SIR). In the design, parallel coupled lines are used together

with the stepped impedance resonator. The filter was designed with the Keysight ADS and lengths of parallel coupled lines were optimized to achieve the desired design criteria. As a result of the simulations, the 3dB bandwidth of the designed filter was found to be 130 MHz, the insertion loss ( $S_{21}$ ) was -0.152 dB, and the input reflection coefficient ( $S_{11}$ ) was -38.018 dB. The designed filter has the criteria to be used in the RF receiver block of 1420 MHz radio telescopes. The filter designed in the study can be used in radio telescope systems for educational and experimental purposes

**Keywords:** Radio Telescope, 1420 MHz Neutral Hydrogen (HI) Emission, Microstrip Bandpass Filter, Stepped Impedance Resonator.

## 1. GİRİŞ

Güneşin de içinde bulunduğu Samanyolu Galaksisi 100.000 ışık yılı çapa sahiptir. Çubuklu sarmal bir yapıda olup, içerisinde zayıf bir şekilde her yana dağılmış yaklaşık 200 milyar yıldız kümesi bulunduğu tahmin edilmektedir. Yıldızlararası ortam denilen toz ve gaz bulutları yıldızların doğumları ve ölümleri ile meydana gelmektedir. Yıldızlararası ortamı oluşturan maddenin %99'u gazlardan %1'i ise tozlardan oluşur. Gazlar atom, molekül, iyon ve elektronlardan; tozlar ise gezegen, asteroit, kuyruklu yıldız, manyetik alanlar ve kozmik ışıklardan meydana gelmektedir. Yıldızlararası ortamda gazların %90'nını hidrojen, %10'nunu ise helyum oluşturmaktadır. Hidrojen, atomik yapıda-nötr hidrojen H(I), iyonik yapıda H(III) ve moleküler yapıda ( $H_2$ ) şeklinde bulunur. Gözlemler, yıldızlararası ortamı oluşturan maddeye bakılarak yapıldığından gök bilimciler açısından yıldızlararası ortamın önemi çok büyüktür. Atomik hidrojenin yarısı, moleküler hidrojenin ise tamamı yıldızlararası ortamdaki bulut adı verilen yüksek yoğunluklu, düşük sıcaklıklı bölgede yer almaktadır. Atomik yapıdaki hidrojen (H(I)-nötr hidrojen) bulutlarının özellikleri radyo gözlemleriyle 1420 MHz'de ( $\lambda = 21cm$ -bu ışınım 21cm dalga boyuna sahiptir) saptanmaktadır. Yıldızlararası bölgenin radyo dalgaları ile gözlemlenmesi ile gökadamdaki atomik hidrojenin sütun yoğunluğu hesaplanmaktadır. Ayrıca 1420 MHz'de emisyon (yayımlama) ve soğurma çizgisine bakılarak HI bulutlarının sıcaklığı ve yoğunluğu hakkında bilgiler elde edilmektedir. 21 cm dalga boyuna sahip 1420 MHz'deki bu emisyon radyo teleskoplar vasıtasıyla gözlemlenmektedir. Radyo teleskoplarda, yansıtıcı 'çanak' tarafından alınan sinyal daha sonra alt reflektöre yansıtılır ve sonrasında odak noktasına gider. Antenden sonra, verilerin monitör ekranında görüntülenebilmesi için sinyali elektronik bir sinyale dönüştüren bir

işleme cihazı vardır. Özet olarak, radyo teleskopların RF bloğu anten, yükselteç, bant geçiren filtre, mikser, detektörler ve yazılım biriminden meydana gelmektedir [1]. Blok elemanları tasarıma göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu çalışmada 1420 MHz radyo teleskop sistemleri RF bloğunda istihdam edilmek üzere mikroşerit formda bant geçiren filtre tasarımı yapılmıştır. Filtre tasarımında Basamak Empedans Rezonatör (BER-Stepped Impedance Rezonator-SIR) yapısı ile paralel kuplajlı hat yapısı kullanılmıştır. Filtre Keysight ADS simülatörü kullanılarak pasif devre tasarım rehberi yardımıyla tasarlanmıştır. Pasif devre tasarım rehberi yardımıyla, istenilen merkez frekansı ( $f_c$ ), Bant Genişliği (BG), geçiş bandı dalgalanması, durdurma bandı zayıflatması gibi optimizasyon hedeflerine göre paralel kuplajlı hat uzunlukları optimize edilmiştir. Tasarımda istenen sonuçlar elde edilmiştir ve tasarlanan filtre 1420 MHz radyo teleskop uygulamaları için gerekli isteri sağlamaktadır.

Literatürde, radyo teleskop uygulamaları için mikroşerit yapıda filtre tasarımları mevcuttur [2–7]. Rajendran ve arkadaşları çalışmalarında yazılım tabanlı radyo teleskoplar için 1.42 GHz merkez frekansında, paralel kuplajlı mikroşerit bant geçiren filtre tasarımı yapmışlardır. Filtre Chebyshev genlik tepkisine göre tasarlanmıştır [4]. Pandian ve arkadaşları ise eğitim amaçlı kullanmak üzere düşük maliyetli 1420 MHz (21cm) radyo teleskop tasarımı yapmışlardır. Sistemin RF bloğunun bir parçası olarak ise 1420 MHz merkez frekansında, 110MHz bant genişliğine sahip bir mikroşerit filtre tasarımı yapmışlardır. Çalışmada tasarlanan filtre Chebyshev genlik tepkisine sahiptir [3]. Zhang ve arkadaşları çalışmalarında C-bant alıcılar için (6 GHz merkez frekansında) radyo astronomi uygulamalarında kullanılmak üzere geniş bant mikroşerit bant geçiren filtre tasarımı yapmışlardır [2]. Liu ve arkadaşları

çalışmalarında radyo astronomi uygulamaları için paralel hatlı basamak empedans rezonatörlü yüksek dereceli dengeli süper iletken bant geçiren filtre tasarımı çalışmışlardır. Filtreyi S-bandı radyoastronomi uygulamaları için Chebyshev genlik tepkisine göre tasarlamışlardır [5]. Mundia ve Stander ise çalışmalarında 18- 45 GHz arasında çalışan bir radyo astronomi alıcısı tasarımı yapmışlardır. Analog yan bant kalibrasyonu ile RF laminat üzerinde çoklu çip modülü (MCM) olarak gerçekleştirilmiştir. Üzerinde LNA, mikser, dörtlü hibrit yapı, güç bölücü, dijital zayıflatıcı, balun gibi yapılar bulunmaktadır. Bunlara ek olarak çalışmada 4-11GHz bandında çalışan orta frekans bant geçiren filtre tasarımı da yapılmıştır. Filtre mikroşerit formda tasarlanmıştır. Basamak empedans rezonatörlü alçak geçiren bir filtre ile kısa devre çeyrek dalga saplamalı yüksek geçiren filtre kaskad bağlanarak bant geçiren formu elde edilmiştir [7].

Radyo teleskop ve radyo astronomi uygulamaları haricinde mikroşerit filtreler literatürde çok yaygın ve güncel kullanım alanlarına sahiptir [8].

Bu çalışmadaki filtre eğitim amaçlı kullanılabilir yazılım tabanlı radyo teleskopların RF bloğunda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Filtre üretildikten sonra, karasal radyo parazitini filtrelemek için yazılım tabanlı radyo teleskobunun radyo alıcısında kullanılabilir. Dünyanın birçok ülkesinde var olan devasa boyutlardaki radyo teleskoplar ile rutin olarak 21cm'lik gözlemler yapılmaktadır [9,10]. Bu devasa boyutlu radyo teleskoplar çok hassas ve karmaşık gözlem görevlerini yerine getirme yeteneğine sahipken, literatürde eğitim ve deney amaçlı basit radyo teleskop çalışmalarına da rastlamak mümkündür [2-4]. Eğitim ve deney amaçlı bu tür teleskopları inşa etmek, evrenin sırlarına perde aralarken aynı zamanda elektronik, antenler, sinyal işleme, programlama ve astronomi gibi çeşitli disiplinler arası alanlarda eğitim fırsatları sağlar.

Makalenin geri kalanı ise şu şekilde organize edilmiştir. 2.bölümde radyo teleskoplardan, hidrojen emisyon ölçümlerinin öneminden, radyo teleskopların RF bloğundan bahsedilmiştir. 2.bölümde aynı zamanda çalışmada seçilen mikroşerit BER filtre tasarımı ve performans parametrelerinden de bahsedilmiştir. 3.bölümde ise deneysel

bulgulara yer verilmiştir. Makale 4. Bölüm olan Sonuçlar bölümü ile sonlandırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada radyo teleskopları RF bloğunun önemli bileşenlerinden olan bant geçiren filtre tasarımı yapılmıştır. Çalışma frekansı olarak 1420 MHz olarak tercih edilmiştir. Atomik yapıdaki hidrojen 1420 MHz frekansında radyo dalgaları yaymaktadır. Hidrojen emisyon ölçümleri radyo astronomide yıldızlararası ortam hakkında bilgi verdiği için büyük öneme sahiptir. Çalışmanın bu bölümünde radyo astronomi, radyo teleskoplar, 1420 MHz ve radyo astronomide nötr hidrojen emisyonunun önemi başlıkları detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Tasarlanan filtre mikroşerit Basamak Empedans Dönüştürücü (BER-SIR) yapısı kullanılarak tasarlanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde ayrıca yazılım tabanlı radyo teleskopların RF bloğu, BER (SIR) filtreler hakkında teorik bilgilere de yer verilmiştir.

### 2.1. Radyo astronomi ve Radyo Teleskoplar

1931'den önce astronomi çalışmak, gece gökyüzünde görünen nesnelere incelemek anlamına geliyordu. O zamanlar evreni atmosferimizin ötesinde gözlemlemenin başka bir yolu olduğuna dair hiçbir fikrimiz yoktu. Görünür ışığın yalnızca küçük bir dalga boyu aralığı ve enerji frekansları içerdiği biliniyordu. Ayrıca elektromanyetik spektrumda görünür ışıktan başka radyo dalgaları, kızılötesi, X ışınları ve Gama ışınlarının da yer aldığı bilinen bir gerçektir. Ancak 1931'de hiç kimse RF radyasyonunun milyarlarca dünya dışı kaynaktan da yayıldığını ve bu frekansların bazılarının Dünya atmosferinden doğrudan yerdeki alanımıza geçtiğini bilmiyordu. Bu radyasyonu saptamak için ihtiyacımız olan tek şey yeni bir tür "göz"dü. Aynı yıl Bell Laboratuvarında radyo mühendisi olarak çalışan Karl G. Jansky okyanus boyunca radyo-telefon sinyalleri gönderilirken (özellikle gök gürültüsü ve fırtınalı havalarda) statığı en aza indirecek bir anten tasarlamakla görevlendirildi. Gözlemediği statığın bir kısmını yakınındaki gök gürültüsü ve fırtınalara bir kısmını ise uzağındaki gök gürültüsü ve fırtınalara bağladı. Ancak kaynağını bulamadığı statiklerde vardı. Statığın kaynağının öncelikle güneş olduğunu düşündü. Bununla birlikte, radyasyonun her gün yaklaşık 4 dakika önce zirveye ulaştığını gözlemledi. Dünya'nın yıldızlara göre dönüş süresi (astronomlar tarafından yıldız günü

olarak bilinir) bir güneş gününden (Dünya'nın güneşe göre dönüş süresi) yaklaşık 4 dakika daha kısadır. Jansky bu nedenle bu radyasyonun kaynağının güneşten çok daha uzakta olması gerektiği sonucuna vardı. Daha fazla araştırma ile bu ışımanın kaynağını Samanyolu Galaksisi olarak belirledi ve 1933'te bulgularını yayınladı. İlk yıllarda Jansky'nin çalışmaları çok dikkat çekmedi. Fakat 1937 yılında Grote Reber, Jansky'nin çalışmalarını da dikkate alarak evinin bahçesinde ilk modern radyo teleskop prototipini oluşturdu. Reber, 40'lı yılların başında araştırmalarına devam etti ve 1944'te ilk radyo frekansı gökyüzü haritalarını yayınladı. Reber, II. Dünya Savaşı'nın sonuna kadar dünyadaki tek radyo astronomdu. Bu arada, savaş sırasında İngiliz radar operatörleri, Güneş'ten gelen radyo emisyonlarını tespit etmişti. Savaştan sonra radyo astronomi hızla gelişti ve evreni gözlemlememizde ve incelememizde hayati bir önem kazandı. Dünya atmosferine nüfuz edebilen RF dalgaları, birkaç milimetrelilik dalga boylarından yaklaşık 100 metreye kadar değişir. Bu dalga boylarının insan gözü veya fotoğraf plakaları üzerinde fark edilebilir bir etkisi olmamasına rağmen, anten gibi bir iletkende çok zayıf bir elektrik akımı indüklerler. Çoğu radyo teleskop anteni, gökyüzünün herhangi bir yerine doğru yönlendirilebilen parabolik (çanak şeklinde) yansıtıcılarıdır. Radyasyonu toplarlar ve radyasyonun yoğunlaştığı merkezi bir odağa yansıtırlar. Odadaki zayıf akım daha sonra bir radyo alıcısı tarafından yükseltilebilir, böylece ölçmek ve kaydetmek için yeterince güçlü hale gelirler. Alıcıdaki elektronik filtreler, bir seferde bir frekans aralığını (veya "bant") yükseltmek için ayarlanabilir veya karmaşık veri işleme teknikleri kullanılarak binlerce ayrı dar frekans bandı tespit edilebilir. Böylece, RF radyasyonunda hangi frekansların bulunduğunu ve bunların göreceli güçlerinin ne olduğunu öğrenebiliriz. Elde edilen RF radyasyonunun frekans ve polarizasyonu incelendiği zaman RF kaynakları hakkında bize birçok ipucu vermektedir. Dünya'ya ulaşan RF enerjisinin yoğunluğu (veya gücü), görünür aralıkta alınan radyasyonla karşılaştırıldığında küçüktür. Bu nedenle, bir radyo teleskopunun kullanışlı olması için geniş bir "toplama alanı" veya anteni olmalıdır [11]. Bilinen devasa boyutlu radyo teleskoplarla sürekli olarak gözlem yapılmakta ve Evrenin bilinmeyen yönleri keşfedilmeye çalışılmaktadır. Bunun yanında daha küçük boyutlarla ve küçük ölçekli, eğitim

amaçlı inşa edilen radyo teleskoplar da mevcuttur [2-4]. Bu çalışmada eğitim amaçlı kullanılacak yazılım tabanlı radyo teleskopların RF bloğunda kullanılmak üzere mikroşerit bant geçiren filtre tasarımı yapılmıştır.

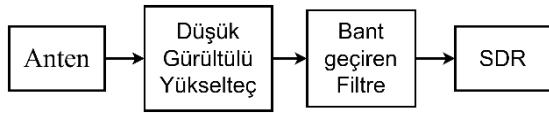
## 2.2. 1420 MHz ve Radyo Astronomide Nötr Hidrojen (neutral hydrogen-HI) Emisyonunun Önemi

Evrenin bazı bileşenleri yalnızca radyo frekansı imzaları aracılığıyla incelenebilir. Bu durum özellikle, yalnızca 1420 MHz (21cm) spektral hattı aracılığıyla tespit edilen, en bol malzeme bileşeni olan nötr hidrojen (*neutral hydrogen – HI*) için geçerlidir. Yaklaşık 1420 MHz'de 21 cm'lik bir dalga boyuna sahip olan *HI* emisyonları, bir galaksideki uzak yerlerden ve yönlerden kaynaklanır, yıldızlar arası bulutlar arasında seyahat eder ve Doppler kaydırmalı frekanslarda yer tabanlı radyo teleskop gözlemler ile ortaya çıkar [12]. Bu frekans kaymasına ilişkin araştırmalar, emisyon bölgesinin düzeninin ve bağlı hızlarının ayrıntılarını verir. Bu *HI* emisyonlarından yapılan haritalar, Samanyolu'nun sarmal yapısını ortaya çıkarmıştır. Bugün Hindistan'daki Pune yakınlarındaki "*Giant Metrewave*" Radyo Teleskobu, Avustralya'daki "*Parkes*" Radyo Teleskobu, ABD'deki "*Greenbank*" teleskobu ve İngiltere'deki "*Jodrellbank*" teleskobu gibi birçok radyo teleskopu rutin olarak 21cm'lik gözlemler yapmaktadır. Bu dev teleskoplar çok hassas ve karmaşık gözlem görevlerini yerine getirme yeteneğine sahipken, insanlar eğitim ve deney amaçlı basit radyo teleskoplar da inşa etmektedirler. Bu tür teleskopları inşa etmek, elektronik, antenler, sinyal işleme, programlama ve astronomi gibi çeşitli disiplinler arası alanlarda eğitim fırsatları sağlar [9,10]. Bu çalışmada eğitim amaçlı inşa edilmesi planlanan radyo teleskopların alıcı bloğunda kullanılmak üzere mikroşerit bant geçiren filtre tasarımı yapılmıştır.

## 2.3. Radyo teleskopların RF bloğu ve Bant Geçiren Filtrelerin Radyo Teleskoplar Açısından Önemi

Yıldızlar, galaksiler, kuasarlar ve diğer astronomik nesnelerin tümü kozmik radyo kaynaklarıdır. Bu kozmik sinyalleri incelemek için radyo teleskoplar kullanılır. Yazılım tabanlı basit bir radyo teleskop sistemi bir radyo anteni,

bir düşük gürültülü yükselteç, bir bant geçiren filtre ve bir yazılım biriminden (yazılım tabanlı radyo) oluşur. Eğitim ve deneysel amaçlı da kullanılabilir basit bir radyo teleskop RF alıcı bloğu Şekil 1’de gösterilmiştir. Alınan kozmik sinyaller zayıftır ve karasal radyo parazitleri tarafından bozulmaya açıktır. Yazılım tanımlı radyo teleskop, düşük maliyetli bir teleskoptur ve eğitim amaçlı kullanılabilir [4]. Kozmik sinyaller farklı bozulmalara da maruz kalabilir. Bu sebeple radyo alıcısındaki gürültünün ve istenmeyen diğer sinyallerin bir Bant Geçiren Filtre (BGF) kullanılarak filtrelenmesi gerekir.



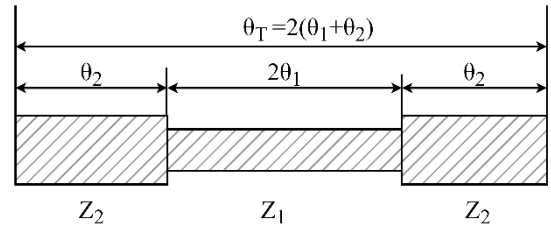
Şekil 1. Radyo teleskop RF alıcı bloğu.

Bu çalışmada yazılım tabanlı radyo teleskopların RF bloğunda kullanılmak üzere mikroşerit BGF tasarımı yapılmıştır. Şekil 1’de de gösterildiği gibi radyo teleskopların alıcı bloğunda anten, düşük gürültülü yükselteç, BGF ve sinyal işlemci bloğu yer almaktadır. Kozmik sinyaller çok zayıftır ve bu sinyaller karasal radyo parazitleri tarafından da bozulurlar. Radyo alıcısındaki gürültünün BGF kullanılarak filtrelenmesi gerekir. Radyo teleskopların RF bloğundaki her bir eleman ayrı ayrı tasarlanabileceği gibi ticari olarak da satın alınabilirler.

Filtreler frekans tepkisine göre alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren, bant durduran olmak üzere 4’ e ayrılırlar. Genlik tepkisine göre filtreler ise binomial (Butterworth), Chebyshev, elliptic (Cauer) ve Bessel olarak 4’ e ayrılır. Alçak geçiren filtre, temel filtre türüdür. Alçak geçiren filtrenin frekans dönüşümü ile yüksek geçiren, bant geçiren ve bant durduran filtreler tasarlanabilirler. Chebyshev filtresinin zayıflaması, makul dalgalanma sınırları içerisinde, genlik-frekans eğrisinde daha diktir ve dolayısıyla talep edilen aynı zayıflama için diğer filtre türlerine göre daha az aşama gerektirir [13]. Gereksinimlere ve kullanım yerlerine bağlı olarak, RF/mikrodalga filtreler, toplu elemanlı veya dağılmış elemanlı devre yapılarında tasarlanabilir; dalga kılavuzu, koaksiyel hat ve mikroşerit gibi çeşitli iletim hattı yapılarında gerçekleştirilebilirler [14]. Toplu elemanlar kullanmanın avantajı küçük

boyutlarındadır, ancak Q-faktörleri, dağılmış elemanlardan daha düşüktür, bu da filtre uygulamaları için daha yüksek ekleme kaybına neden olur. Dağılmış elemanların dezavantajı ise devre içerisinde daha fazla yer kaplamasıdır.

Mikroşerit yapılar, dielektrik bir alt tabaka üzerinde metalik iletim hatlarından meydana gelir. Basitlikleri ve düzlemsel yapıları nedeniyle katı-hal radyo sistemlerinde sıklıkla kullanılan mikrodalga ve milimetre dalga hibrit entegre devreler için çok kullanışlıdır [15]. Geleneksel mikroşerit alçak geçiren veya bant geçiren formlarda tasarlanabilen basamak empedans rezonatörlü filtreler çok yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Basamak empedans rezonatörleri, farklı karakteristik empedanslara sahip iki iletim hattından oluşur ve kompakt bant geçiren filtrelerin tasarımı için oldukça kullanışlıdır. Genel bir BER yapısı Şekil 2’de gösterilmiştir [16]. BER yapısında  $Z_1$  ve  $Z_2$  empedansları iletim hattı genişliklerine ( $W_1$  ve  $W_2$ ) bağlıdır [17].  $W_1 > W_2$  olabileceği gibi  $W_1 < W_2$ ’de olabilir. BER yapısı simetriktr.  $Z_1$  ve  $Z_2$  değerlerinde iki karakteristik empedansa ve  $Y_1$  ve  $Y_2$  değerlerinde karakteristik admitansa sahiptir.



Şekil 2. Basamak Empedans Rezonatör yapısı.

$$Y_i = jY_2 * \frac{2(K \tan \theta_1 + \tan \theta_2) * (K - \tan \theta_1 * \tan \theta_2)}{K(1 - \tan^2 \theta_2) - 2(1 + K^2) * \tan \theta_1 * \tan \theta_2} \quad (1)$$

Burada  $K$  empedans oranıdır ve şu formülle ifade edilir;

$$K = \text{empedans oranı} = Z_2 / Z_1 \quad (2)$$

$Y_i = 0$  ise rezonans durumu elde edilir. Şekil 2’deki BER yapısı için (3) ve (4) eşitlikleri geçerlidir [18].

$$K = Z_2 / Z_1 < 1 \quad (3)$$

$$\theta_T < \pi \quad (4)$$

Filtre tasarımında çeşitli ödünleşimler vardır. Fakat tasarımda genel olarak sayacağımız parametreler önemli rol oynamaktadır; Ekleme Kaybı ( $EK$ ), dalgalanma (*ripple*), bant genişliği ( $BG$ ), kesirsel bant genişliği ( $KBG$ ) bunlardan bazılarıdır.

**Ekleme Kaybı ( $EK-S_{21}$ ):** Bir RF devre yoluna eklenen ideal bir filtre, geçiş bandında hiçbir kayba sebep olmaz. Fakat pratikte mutlaka filtre kaynaklı bir zayıflama meydana gelecektir. Filtrenin eklendiği sistemde meydana getirdiği zayıflama ekleme kaybı olarak adlandırılır.

$$EK = 10 \log \frac{P_{giris}}{P_{yük}} \quad (5)$$

$$EK = -10 \log (1 - |\Gamma_{giris}|^2) \quad (6)$$

Denklem (1) ve Denklem (2) ile tanımlanan  $EK$  formülünde;  $P_{yük}$ , yüke aktarılan gücü,  $P_{giris}$  ise kaynaktan girişe gelen gücü tanımlar.  $|\Gamma_{giris}|$  ise filtre girişindeki yansıma katsayısıdır.

**Dalgalanma:** Geçirme bandındaki sinyalin düzlüğü dalgalanmayı tanımlamak için sayısallaştırılabilir. Dalgalanma maksimum ve minimum genlik tepkisi arasındaki  $dB$  olarak dalgalanmayı ifade eder. Chebyshev filtreleri tasarımcıya dalgalanmayı kontrol imkânı sağlarlar.

**Bant genişliği ( $BG^{3dB}$ ):** Denklem 3'te gösterildiği gibi Geçiş bandında  $3dB$  zayıflama noktalarındaki alt kesim ve üst kesim frekans farkı ile tanımlanır.

$$BG^{3dB} = f_{üst}^{3dB} - f_{alt}^{3dB} \quad (7)$$

**Kesirsel Bant Genişliği ( $KBG$ ):**  $3dB$  bant genişliğinin, filtrenin merkez frekansına oranı olarak tanımlanır. Matematiksel olarak Denklem 4 ile ifade edilir.

$$KBG = \frac{BG^{3dB}}{f_0} \quad (8)$$

### 3. DENEYSEL BULGULAR

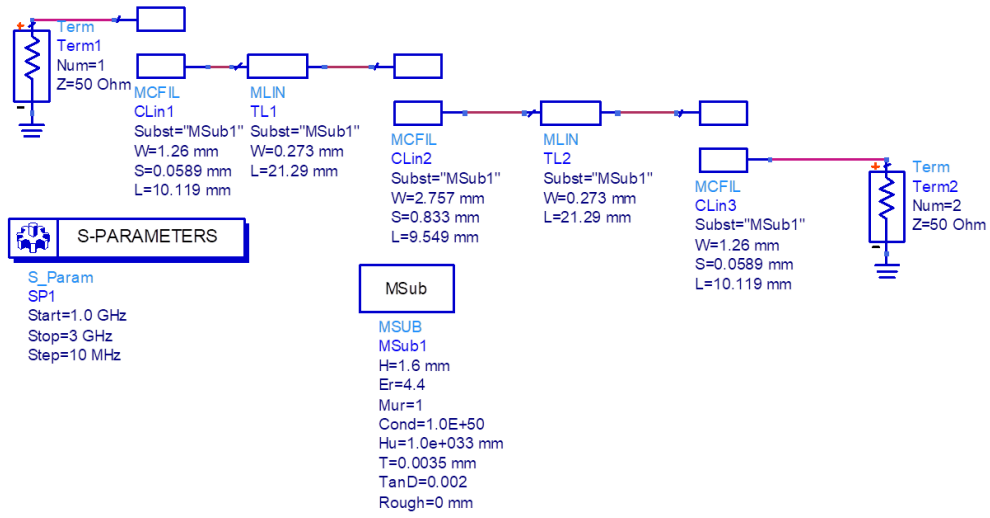
#### 3.1. Mikroşerit BER Bant Geçiren Filtre Tasarımı

Çalışmada radyo teleskop uygulamalarında kullanılmak üzere  $1420$  MHz merkez frekanslı mikroşerit BER filtre tasarımı yapılmıştır. Filtre ADS Pasif Devre Simülasyon Asistanı

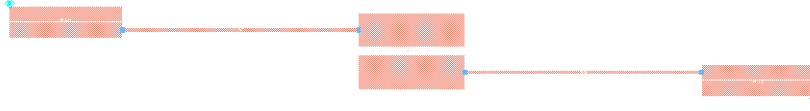
kullanılarak tasarlanmıştır. Pasif devre tasarım rehberi yardımıyla, istenilen merkez frekansı ( $f_c$ ), bant genişliği ( $BG$ ), geçiş bandı dalgalanması, durdurma bandı zayıflatması gibi optimizasyon hedeflerine göre paralel kuplajlı hat uzunlukları optimize edilmiştir. Optimizasyon ile tasarım hedeflerine ulaşılmış ve istenen sonuçlar elde edilmiştir. Filtre  $1420$  MHz radyo teleskop uygulamaları için gerekli kriterleri sağlamaktadır. Çalışmada tasarlanan filtre BER mikroşerit yapıdadır. Ucuz ve kolay bulunabilir olduğu için taban malzeme olarak  $FR_4$  ( $\epsilon_r = 4.4$ ,  $\tan\delta = 0.002$ ,  $h = 1.6mm$ ,  $T = 0.0035mm$ ) tercih edilmiştir. Filtre ADS modeli ve baskı devre modelleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.

Filtre  $72mm \times 7.5mm$  boyutlarındadır. Filtre gerçekleştirilebilir uzunluktadır. Tasarımı yapılan filtrenin  $S_{21}$  ve  $S_{11}$  grafikleri Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.  $1420$  MHz frekansında  $S_{21}$  ve  $S_{11}$  sırasıyla  $-0.152dB$  ve  $-38dB$  bulunmuştur. Şekil 6'da gösterildiği gibi Filtre  $BG^{3dB}$  değeri yaklaşık  $130$  MHz'dir. Şekil 5'te genişletilmiş frekans ekseninde gösterildiği gibi filtre empedans bant genişliği ise yaklaşık  $90$  MHz'dir. Filtre faz cevabı ise Şekil 7'de gösterilmiştir. Filtre lineer bir faz cevabına sahiptir. Çalışmada tasarlanan filtrenin genel özellikleri ve simülasyon sonuçları Çizelge 1'de özetlenmiştir. Çizelgede de özetlendiği gibi filtre Chebyshev genlik tepkisine ve yaklaşık %6  $KBG$ 'ye sahiptir.

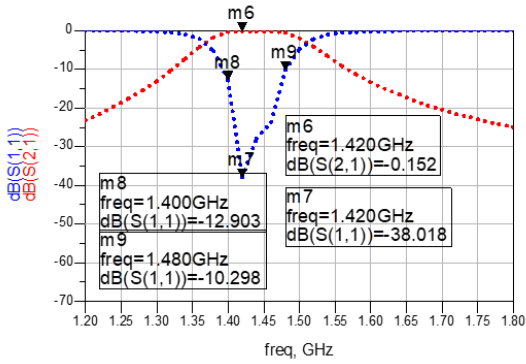
Çalışmada tasarlanan filtre literatürde bulunan radyo teleskop uygulamaları için tasarlanmış diğer bazı filtrelerle Çizelge 2'de karşılaştırılmıştır. Çalışmada tasarlanan filtre literatürde radyo teleskop uygulamaları için tasarlanmış diğer filtrelerle mukayese edildiğinde; merkez frekansında ekleme kaybı ( $S_{21}$ ) ve giriş yansıma katsayısının ( $S_{11}$ ) diğer tasarımlara göre en iyi değerlere sahip olduğu görülmüştür. Filtre  $3dB$  ve  $10dB$  bant genişlikleri de uygulama için yeterli seviyelerdedir.



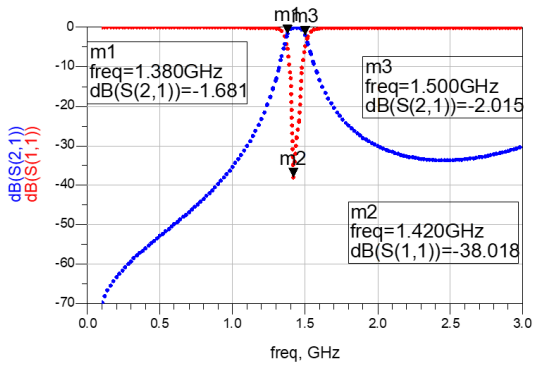
Şekil 3. Filtre ADS Modeli.



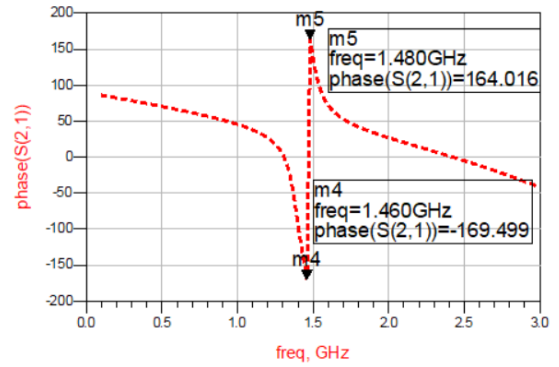
Şekil 4. Filtre baskı devre modeli.



Şekil 5.  $S_{21}$  ve  $S_{11}$  sonuçları.



Şekil 6.  $S_{21}$  ve  $S_{11}$  sonuçları.



Şekil 7. Filtrenin faz cevabı.

Çizelge 1. Tasarlanan filtrenin özellikleri

| Filtre Türü           | Microstrip BER |
|-----------------------|----------------|
| $f_0$                 | 1420 MHz       |
| $S_{21} (@f_0)$       | -0.152 dB      |
| $S_{11} (@f_0)$       | -38.018 dB     |
| $BG^{3dB}$            | ~130MHz        |
| $KBG$                 | % 5.63         |
| Filtre genlik tepkisi | Chebyshev      |



**Çizelge 2.** Çalışmada tasarlanan filtrenin literatürdeki diğer filtrelerle karşılaştırması.

|            | <b>Filtre Teknolojisi</b> | <b>Uygulama</b> | <b>Filtre Türü</b> | <b><math>f_0</math> (GHz)</b> | <b>Dalgalanma (dB)</b> | <b>EK (dB)</b> | <b><math>S_{11}</math> (dB)</b> | <b><math>BG^{3dB}</math> (MHz)</b> |
|------------|---------------------------|-----------------|--------------------|-------------------------------|------------------------|----------------|---------------------------------|------------------------------------|
| [2]        | Mikroşerit Interdigital   | Radyo Teleskop  | NA                 | 6                             | NA                     | >-0.6          | <-20                            | 3960                               |
| [3]        | Mikroşerit Interdigital   | Radyo Teleskop  | Chebyshev          | 1.42                          | 0.01                   | >-3            | <-10                            | 110                                |
| [4]        | Mikroşerit kuplajlı hat   | Radyo Teleskop  | Chebyshev          | 1.42                          | 0.5                    | -2.806         | <-10                            | 300                                |
| Bu çalışma | Mikroşerit BER            | Radyo Teleskop  | Chebyshev          | 1.42                          | <0.1                   | -0.152         | -38                             | 130                                |

#### 4. SONUÇLAR

Çalışmada 1420 MHz radyo teleskop uygulamaları için mikroşerit BGF tasarımı yapılmıştır. 1420 MHz atomik yapıdaki nötr hidrojen emisyon ölçümleri yıldızlararası ortam hakkında bilgi verdiği için oldukça önemlidir. Çalışmada radyo teleskopların RF bloğunda istihdam edilmek üzere paralel kuplajlı hatlar kullanılarak BER yapısında mikroşerit bant geçiren filtre tasarımı yapılmıştır. Filtre Chebyshev genlik tepkisine göre tasarlanmıştır. Tasarlanan filtrenin ekleme kaybı ( $S_{21}$ ) -0.152 dB, yansıma katsayısı ( $S_{11}$ ) -38 dB, 3dB bant genişliği ( $BG_{3dB}$ ) 130 MHz, empedans bant genişliği ( $BG_{10dB}$ ) ise yaklaşık 90 MHz değerlerindedir. Filtre kesirsel bant genişliği ( $KBG$ ) ise %5.63 olarak hesaplanmıştır. Düşük yansıma katsayısı ve ekleme katsayısı değerleri ile çalışmada tasarlanan filtre radyo teleskop RF bloğu için gerekli şartları sağlamaktadır. Ayrıca elde edilen diğer sonuçlar filtrenin 1420 MHz radyo teleskopların RF bloğu için gerekli şartları sağladığını göstermektedir. Filtre baskı devre haline getirildikten sonra geçirme bandı dışında istemeyen sinyalleri filtreleyecektir. İlerleyen çalışmalarda hidrojen emisyon ölçümleri için eğitim amaçlı bir radyo teleskop inşa edilmesi planlanmaktadır. Bu çalışmada tasarlanan bant geçiren filtre gerçekleştirilerek bu sisteme entegre edilecektir.

#### KAYNAKLAR

- Sobirin FF, Nugraha S, Haz F, Sitompul P. "Study of Cassegrain-type antenna for radio telescope", Journal of Physics: Conference Series, Vol. 2214, Pages 1–9, 2022.
- Zhang G, Lancaster MJ, Huang F, Pan Y, Roddis N. "Wideband microstrip bandpass filters for radio astronomy applications", 2006 European Microwave Conference, Pages 661–663, 2006.
- Pandian BA, Ganesh L, Inbanathan SSR, Ragavendra KB, Somashekar R, Prabu T. "Galaxy rotation curve measurements with low cost 21 cm radio telescope", Sādhanā, Vol. 47, Pages 1–13, 2022.
- Rajendran J, Peter R, Soman KP. "Design and Optimization of Band Pass Filter for SoftwareDefined Radio Telescope", International Journal of Information and Electronics Engineering, Vol. 2, Pages 649–651, 2012.
- Liu H, Xu Y, Liu F, Wang Y, Song Y. "High-Order Balanced Superconducting Filter with High Selectivity, Low Insertion Loss, and Wide Stopband Range for Radio Astronomy", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 67, Pages 2720–2729, 2019.
- Tang J, Liu H, Yang Y. "Balanced Dual-Band Superconducting Filter Using Stepped-Impedance Resonators with High Band-to-Band Isolation and Wide Stopband", IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, Vol. 68, Pages 131–135, 2021.
- Mundia S, Stander T. "Detailed Design of an 18-45 GHz Multi-Purpose Radio Astronomy Receiver", 2022 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), Pages 220–224, 2022.
- Şenel B, Şenel FA. "Bandpass Filter Design Using Deep Neural Network and Differential Evolution Algorithm", Arabian Journal for Science and Engineering, Pages 1–12, 2022.
- Johnson D, Rogers AE. "Developing a New Generation Small Radio Telescope", American Astronomical Society Meeting Abstracts 221, Vol. 221, Pages 210–255, 2013.

10. Patel NA, Patel RN, Kimberk RS, Test JH, Krolewski A, Ryan J, et al. "A low-cost 21 cm horn-antenna radio telescope for education and outreach", American Astronomical Society Meeting Abstracts 224, Vol. 224, Pages 401–415, 2014.
11. Valley G-A, Telescope R. "Basics of Radio Astronomy", 1998.
12. Kulkarni SR, Heiles C. "Neutral hydrogen and the diffuse interstellar medium", Galactic and extragalactic radio astronomy, Springer, Pages 95–153, 1988.
13. Li RC-H. "RF circuit design", Wiley; 2009.
14. Hong J-S, Lancaster MJ. "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications", John Wiley & Sons, 2001.
15. Schneider M V. "Microstrip lines for microwave integrated circuits", Bell System Technical Journal, Vol. 48, Pages 1421–1444, 1969
16. Makimoto M, Yamashita S. "Compact bandpass filters using stepped impedance resonators", Proceedings of the IEEE, Vol. 67, Pages 16–19, 1979
17. Gonzalez G. "Microwave transistor amplifiers analysis and design", Prentice-Hall, Inc.; 1996.
18. Makimoto M, Yamashita S. "Bandpass Filters Using Parallel Coupled Stripline Stepped Impedance Resonators", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 28, Pages 1413–1417, 1980