

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**GENİŞ BANTLI MİKROŞERİT FİLTRE TASARIMI İÇİN
SÜPER-FORMÜL İLE OLUŞTURULAN TABAN İLETKENİ
KUSURLU YAPILARIN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

İrem DAĞLI

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Cemile BARDAK**



MANİSA-2020

İrem
DAĞLI

GENİŞ BANTLI MİKROŞERİT FİLTRE TASARIMI İÇİN SÜPER-FORMÜL
İLE OLUŞTURULAN TABAN İLETKENİ KUSURLU YAPILARIN
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

2020

TEZ ONAYI

İrem DAĞLI tarafından hazırlanan " **GENİŞ BANTLI MİKROŞERİT FİLTRE TASARIMI İÇİN SÜPER-FORMÜL İLE OLUŞTURULAN TABAN İLETKENİ KUSURLU YAPILARIN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ** "adlı tez çalışması 09/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri **Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Cemile BARDAK
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Yücel KOÇYİĞİT
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Merih PALANDÖKEN
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

İrem DAĞLI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	III
TABLO DİZİNİ	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	7
2.1. Frekans Bantları	8
2.2. Mikrodalga Filtre Çeşitleri	9
2.3. Filtre Tasarım Yöntemleri	10
2.3.1. Görüntü Parametreleri Yöntemi	10
2.3.2. Araya Giriş Kaybı Yöntemi.....	11
2.3.2.1. En Düz Filtre Prototipi	13
2.3.2.2. En Düz Filtre Prototipi	14
2.3.2.3. Eliptik Filtre Prototipi.....	14
2.4. Araya Giriş Kaybı Yöntemi ile Filtre Gerçekleştirimi	15
2.4.1. Empedans ve Frekans Ölçeklendirme	15
2.4.2. Richard's Dönüşümü	16
2.4.3. Kuroda Özdeşlikleri.....	17
2.4.4. Bant Geçiren Filtre Tasarımı	19
2.5. Mikroşerit İletim Hatları	21
2.5.1. Mikroşerit İletim Hatlarında Kullanılan Taban Malzeme	22
2.5.2. Taban İletkeni Kusurlu Yapılar	24
2.6. Süper-Formül.....	27
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	30

3.1. Filtre Tasarımı ve Benzetimi.....	30
3.2. Pasif Devre Elemanları ile Filtrenin Devre Topolojisi.....	31
3.2.1. Bant Geçiren Filtre Tasarımı	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	34
4.1. AWR Programı ile Mikroşerit Filtre Tasarım ve Analizi.....	34
4.2. HFSS Programı ile Mikroşerit Filtre Tasarım ve Analizi	39
4.3. Süper-Formül ile DGS Tasarımı ve Analizi.....	40
4.3.1. Taban İletkeni Kusuru için Süper-Formül ile Model Tasarımı	40
4.3.2. Taban İletkeni Kusurlu Bant Geçiren Fitre Analizi.....	42
4.4. Filtrenin Üretimi ve Testi	47
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	64



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AGF	Alçak Geçiren Filtre
BGF	Bant Geçiren Filtre
BDF	Bant Durduran Filtre
DGS	Defected Ground Structure (Taban İletkeni Kusurlu)
EM	Elektromanyetik Alanlar
IL	Araya Girme Kaybı
NB	Dar Bant
PLR	Güç Kaybı Oranı
RF	Radyo Frekans
SSBP	Shunt Stub Band Pass Filter (Paralel Saptamalı Bant Geçiren Filtre)
UWB	Ultra Geniş Bant
YGF	Yüksek Geçiren Filtre

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Sinyal Karmaşası	1
Şekil 1.2. Filtre Devresinin İşlevi	1
Şekil 1.3. Elektronik Filtre Çeşitleri	2
Şekil 2.1. Elektromanyetik Frekans Tayf	7
Şekil 2.2. NE ve UWB Karşılaştırma	8
Şekil 2.3. Sinyal Karmaşası	9
Şekil 2.4. Filtrenin Frekans Tepkisi	10
Şekil 2.5. Görüntü Parametreleri Yöntemi ile Kaskat Filtre Yapısı	11
Şekil 2.6. Araya Girme Kaybı Yöntemi ile Filtre Tasarımı	12
Şekil 2.7. Araya Girme Kaybı Yönteminde PLR ve Araya Girme Kaybı (S21) Bağlantısı	13
Şekil 2.8. Chebshev ve Butterworth Yaklaşımlarının Karşılaştırılması	14
Şekil 2.9. Eliptik Yaklaşımın Gösterimi	15
Şekil 2.10. a) Endüktör İçin Kısa Devre İletim Hattı Richard's Dönüşümü b) Kondansatör İçin Açık Devre İletim Hattı Richard's Dönüşümü	17
Şekil 2.11. Kuroda Özdeşlikleri	18
Şekil 2.12. Kuroda Özdeşliği (b) Şıkkının Eşdeğer Devresi	18
Şekil 2.13. Filtre Tasarım Aşamaları	19
Şekil 2.14. a) Bant Geçiren Filtre b) Bant Durduran Filtre	19
Şekil 2.15. Düzlemsel İletim Hattı Temel Yapısı	22
Şekil 2.16. Farklı ϵ_r Değerleri İçin W/h Oranı	24
Şekil 2.17. Çeşitli DGS Geometrilere	25
Şekil 2.18. Halter Biçimli DGS Yapısının Geometrisi	26
Şekil 2.19. Kare Kusurların a ve b Değerlerinin Farklı Uzunluk Değeri İçin Oluşan Frekans Cevabı	26
Şekil 2.20. Kare Kusurların Arasındaki g Kusur Yolu Uzunluk Değeri İçin Oluşan Frekans Cevabı	27
Şekil 2.21. Gielis Formülü ile Açıklanan Doğal Şekiller	28
Şekil 2.22. Süper-Formül Parametrelerinin Değişiminin Etkisinin Sonuçları....	29
Şekil 3.1. Filtre Tipi Belirlenmesi	30
Şekil 3.2. Filtre Yaklaşım Çeşitleri	31
Şekil 3.3. Pasif Devre Elemanları Kullanılarak Merkez Frekansı 8 GHz Olan UWB 5.Dereceden BGF'nin AWR Programında Devre Modeli	32
Şekil 3.4. Merkez Frekansı 8 GHz Olan UWB, 5. Dereceden BGF İçin Araya Girme Kaybı (S21) ve Geriye Dönüş Kaybı Grafikleri (S11).	33
Şekil 4.1. AWR Programında BGF Mikroşerit Tasarımı İçin Chebyshev Yaklaşımı ve SSBP Modeliyle BGF'nin AWR Programındaki Devre Modeli	36
Şekil 4.2. AWR Programında BGF Mikroşerit Tasarımı İçin Chebyshev Yaklaşımı SSBP Modeliyle BGF'nin 2-Boyuttaki Mikroşerit Yapısı	37
Şekil 4.3. Mikroşerit Bant Geçiren Filtre dielektrik malzemesi RO3035, AWR Programındaki Araya Girme Kaybı (S21) ve Geriye Dönüş Kaybı Sonuçları (S11) Pembe Çizgi- S21(dB), Mavi Çizgi- S11(dB) Değerlerini Göstermektedir.	38
Şekil 4.4. Mikroşerit BGF Dielektrik Malzemesi FR4, AWR Programındaki Araya Girme Kaybı (S21) ve Geriye Dönüş Kaybı Sonuçları (S11) Pembe Çizgi-S21(dB), Mavi Çizgi-S11(dB) Değerlerini Göstermektedir.....	38
Şekil 4.5. Bant Geçiren Filtrenin HFSS Programında Modellenmesi	39
Şekil 4.6. RO3035 ve FR4 dielektrik malzemeleri kullanılarak oluşturulan BGF'nin HFSS programında Araya Girme Kaybı (S21) ve Geriye Dönüş Kaybı (S11)	

grafikleri. RO3035 için yeşil çizgi-S21(dB), mavi çizgi-S11(dB) değerlerini ve FR4 için mor çizgi-S21(dB), kırmızı çizgi-S11(dB) göstermektedir.	40
Şekil 4.7. Süper-Formül İle Benzetimi Yapılan İpomea (Kahkaha Çiçeği)	41
Şekil 4.8. MATLAB da Gielis'in Süper-Formülü	41
Şekil 4.9.a) Bakır Yüzey Üzerine Düzenli Şekilde Dağıtılmış Kusurlar b)15 Adet Kusur İle Yeniden Tasarlanmış Mikroşerit BGF	42
Şekil 4.10. RO3035 Dielektrik Malzemesi Kullanılan BGF Taban İletkeni Kusurlu ve Kusursuz Karşılaştırılması	43
Şekil 4.11. FR4 Dielektrik Malzemesi Kullanılan BGF Taban İletkeni Kusurlu ve Kusursuz Karşılaştırılması	43
Şekil 4.12. 25 Adet Kusur ile Yeniden Tasarlanmış Mikroşerit BGF	44
Şekil 4.13. RO3035 Dielektrik Malzemesi Kullanılan BGF Yapısının Kusursuz Yapının S11(dB)-Kırmızı, S21(dB)-Mor / 15 Adet Kusurlu Yapının S11(dB)-Mavi, S21(dB)-Yeşil/25 Adet Kusurlu Yapının S11(dB)-Mor, S21(dB)-Sarı.....	45
Şekil 4.14. FR4 Dielektrik Malzemesi Kullanılan BGF Yapısının Kusursuz Yapının S11(dB)-Kırmızı, S21(dB)-Mor/15 Adet Kusurlu Yapının S11(dB)-Mavi, S21(dB)-Yeşil/25 Adet Kusurlu Yapının S11(dB)-Mor, S21(dB)-Sarı	46
Şekil 4.15. ANRITSU MS2721B Spektrum Analizör Cihazı ile S21 Değerleri Filtre Ölçümü.....	48
Şekil 4.16. S11 Değerleri Filtre Ölçümü	48
Şekil 4.17. BGF Fiziksel Boyutlarının 1 TL İle Karşılaştırılması	49
Şekil 4.18. Mikroşerit BGF Taban İletkeni Kusursuz Yapıdaki Filtrenin Üst Yüzeyindeki Tasarım.	49
Şekil 4.19. Mikroşerit BGF Taban İletkeni Kusursuz Yapıdaki Filtrenin Alt Yüzeyindeki Tasarım	50
Şekil 4.20. Mikroşerit BGF Taban İletkeni 15 Adet Kusurlu Yapıdaki Filtrenin Üst Yüzeyindeki Tasarım.....	50
Şekil 4.21. Mikroşerit BGF Taban İletkeni 15 Adet Kusurlu Yapıdaki Filtrenin Alt Yüzeyindeki Tasarım.	51
Şekil 4.22. Mikroşerit BGF Taban İletkeni 25 Adet Kusurlu Yapıdaki Filtrenin Üst Yüzeyindeki Tasarım.....	51
Şekil 4.23. Mikroşerit BGF Taban İletkeni 25 Adet Kusurlu Yapıdaki Filtrenin Alt Yüzeyindeki Tasarım.	52
Şekil 4.24. Tasarlanan BGF'nin AWR ve HFSS Programı Teorik Test Sonuçlarının Karşılaştırılması	53
Şekil 4.25. Tasarlanan Taban İletkeni Kusursuz BGF'nin AWR, HFSS Programı ve Üretimi Tamamlanan Filtrenin S11 Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	54
Şekil 4.26. Tasarlanan Taban İletkeni Kusursuz BGF'nin AWR, HFSS Programı ve Üretimi Tamamlanan Filtrenin S21 Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.27. Üretimi Tamamlanan Taban İletkeni Kusursuz, Taban İletkeni 15 Kusurlu ve Taban İletkeni 25 Kusurlu 3 Adet Filtrenin S11 DeneySEL Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	56
Şekil 4.28. Üretimi Tamamlanan Taban İletkeni Kusursuz, Taban İletkeni 15 Kusurlu ve Taban İletkeni 25 Kusurlu 3 Adet Filtrenin S11 DeneySEL Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	56
Şekil 4.29. 15 Adet DGS Yapısına Sahip Filtrenin DeneySEL ve HFSS Programı Teorik S11-S21 Sonuçları.....	57
Şekil 4.30. 15 Adet DGS Yapısına Sahip Filtrenin DeneySEL ve HFSS Programı Teorik S11-S21 Sonuçları.....	58

	Sayfa
Tablo 2.1. Prototip Filtre Dönüşümü.....	21
Tablo 2.2. Mikrodalga Taban Malzemeleri.....	23
Tablo 3.1. Pasif Devre Elemanları Kullanılarak Merkez Frekansı 8GHz Olan UWB, 5.Dereceden Bant Geçiren Filtre Değerleri	32
Tablo 4.1. Dereceden Chebshev Modeliyle Bant Geçiren Filtrenin Şeritlerinin Fiziksel Boyutları	34
Tablo 4.2. Dielektrik Malzeme Özelliği.....	35
Tablo 4.3. Dielektrik Malzemelerin Etkisine Göre Modellerin Karşılaştırma Tablosu.....	47



TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimden itibaren bana elektromanyetiği sevdiren, bu çalışmanın her bölümünde sabır ve özveriyle desteklerini esirgemeyen, kıymetli bilgileri ile yolumu aydınlatan, tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cemile Bardak Hocama teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel ölçüm desteği sağlayan, Kâtip Çelebi Üniversitesi Sayın Doç. Dr. Merih PALANDÖKEN Hocam ve Cem Göçen Hocama teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitim sürecimde tüm imkânı sağlayan İŞBİR Elektrik Sanayii A.Ş. Genel Müdürü Burhan ÖZGÜR'e, Teknik Direktörü İzzet YIRGAL'a, ARGE Müdürü Alper AKÇA ve İŞBİR Elektrik Sanayi A.Ş. mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca ve özellikle yüksek lisans eğitimim sürecimde maddi, manevi desteklerini ve anlayışlarını esirgemeyen sevgili annem Hanife DAĞLI, babam Bayram DAĞLI, ablam Ezgi YEŞİLÖZ ve moral kaynağı olarak yeğenim Elif Duru YEŞİLÖZ'e şükran ve minnetlerimi sunarım.

Yüksek Lisans Tez çalışmamın tamamlanması için her konuda yardımlarını esirgemeyen, isimlerini paylaşmadığım tüm arkadaşlarıma teşekkür etmeyi borç bilirim.

İrem DAĞLI
Manisa, 2020

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GENİŞ BANTLI MİKROŞERİT FİLTRE TASARIMI İÇİN SÜPER-FORMÜL İLE OLUŞTURULAN TABAN İLETKENİ KUSURLU YAPILARIN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

İrem DAĞLI

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Cemile BARDAK

İletişim araçlarımız hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline geldi ve yaşamımızda birçok alanda önem arz etmektedir. Bu kapsamda mobil teknolojiler, kullanıcılarına her yıl biraz daha hızlı ve daha nitelikli bir deneyimi sunmak durumundadır. Deneyimlerin şu anki durağı ise 5G'dir ve yüksek hız vaat eden bu teknoloji için bir bant genişliği ihtiyacı doğmuştur. Bu tez kapsamında 5G teknolojisi için ultra geniş bantlı, bant geçiren filtre tasarımı yapılmıştır. İlk olarak genel filtre bilgisi ve tasarım yöntemleri anlatılmış daha sonra AWR programı ile filtre tasarımı için Chebyshev prototipi kullanılarak beşinci dereceden bant geçiren filtre benzetimleri yapılmıştır. AWR programında oluşturulan model HFSS programına aktararak teorik analizleri tamamlanmıştır. Bant genişliğini arttırmak için ise Gielis'in önerdiği süper-formül ile doğadan ilham alınarak taban iletkenine kusurlar (Defected Ground Structure- DGS) açılmıştır. Mikroşerit filtre tasarımında araya giriş kaybı yöntemi ile filtre tasarlanmış, DGS yöntemi ile tasarım geliştirilmiştir. Filtrelerin PCB üretimi tamamlanıp, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi " RF Elektroniği ve Haberleşme Laboratuvarında" deneysel ölçümleri tamamlanmıştır. Bilgisayar destekli analizlerin büyük ölçüde birbirini desteklediğini görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mikroşerit filtre, Filtre tasarımı, Chebyshev Filtre, UWB, Süper-Formül, Gielis, DGS, 5G

2020, 64 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE STUDY OF ULTRA WIDE BAND MICROSTRIP FILTER DESIGN WITH THE DEFECTED GROUND STRUCTURE OBTAINED BY THE SUPERFORMULA

İrem DAĞLI

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cemile BARDAK

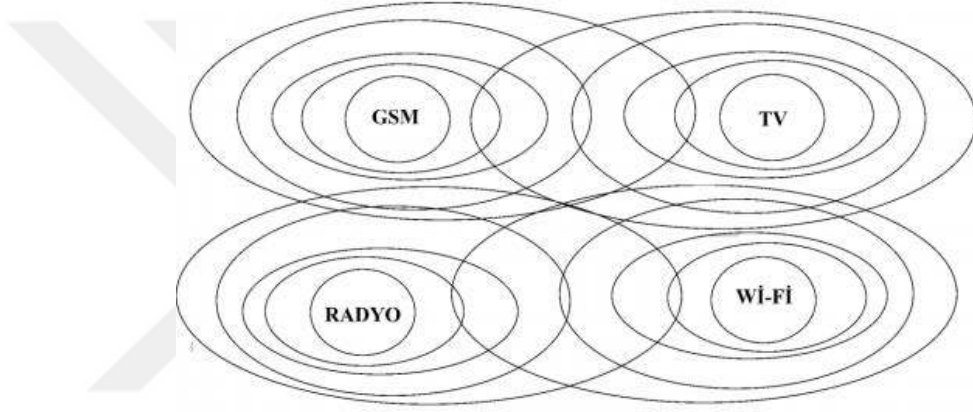
Communication technologies have become indispensable tools in our lives, and they are of great importance in many aspects. In this manner, mobile technologies are expected to give their users faster and qualified experience each year. The latest experience in this field is 5G. This technology, which promises high speeds requires a new bandwidth. The scope of this thesis is the ultra-wideband bandpass filter design for 5G technology. The general filter information and design methods are explained. The filter designs are based on the 5th-degree Chebyshev method. Models have been analyzed on AWR and HFSS software. By using Gielis's Superformula and getting inspired by nature, defects have been added to the base conductor. The designed microstrip filters by using the insertion loss method have been improved with superformula shaped defects. After PCB production of filters has been done, experimental measurements have been completed at "The RF Electronics and Communication Laboratory" of İzmir Katip Çelebi University. It was seen that computer-aided analysis supported each other to a great extent.

**Keywords: Microstrip, Filter design, Chebyshev Filter, UWB, Superformula ,
Giels, DGS, 5G**

2020, 64 pages

1. GİRİŞ

İnsan zihni aynı anda yalnız bir duruma yoğunlaşabilir. Çevresinde milyonlarca uyarıcı etkisi altında olduğu durumlarda bile sadece bir noktaya dikkatini verebilmektedir. Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi elektronik cihazların çevresinde de çok fazla sinyal vardır. Bu durum sinyal karmaşasına sebep olmaktadır. Elektronik cihazlarda insanlar gibi çevredeki tüm sinyallerin algılamakta ancak sadece çalışmasına uygun olan sinyal ile çalışmaktadır. Buradaki belirli bir sinyali geçirip diğer; parazit, gürültü, başka sistem sinyallerini durdurma işlemine filtreleme denilmektedir.



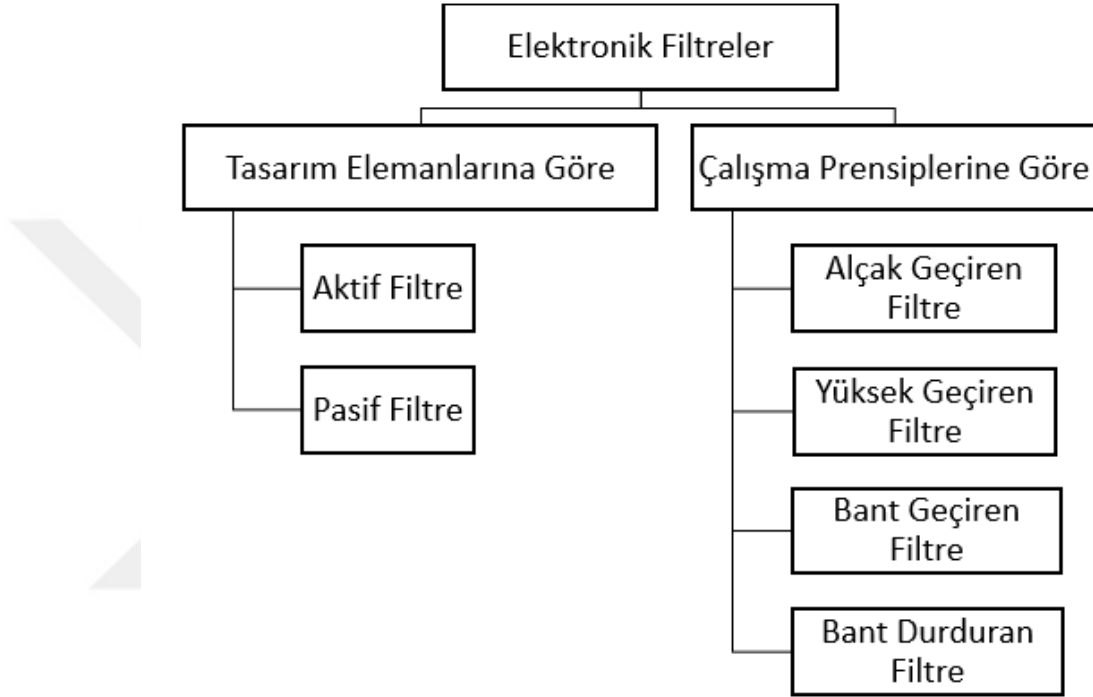
Şekil 1.1. Sinyal Karmaşası

Filtreleme işlemi temel olarak ifade edersek Şekil 1.2. antenden gelen sinyallerin tümü filtre devresine girer. Filtre devresi yalnızca gerekli olan sinyalleri geçirir ve ardından bunu sisteme iletir ve sistem bu iletilen sinyale göre işlevini yerine getirir.



Şekil 1.2. Filtre Devresinin İşlevi

Filtreler Şekil 1.3. de gösterildiği gibi tasarım şekillerine veya çalışma prensiplerine göre ikiye ayrılır. Tasarım şekillerine göre ise aktif ve pasif filtreler olarak ayrılabilir. R, L, C elemanları ile tasarlanan filtreler pasif filtreler, transistor veya op-amplarla tasarlanan filtreler ise aktif filtrelerdir. Çalışma prensiplerine göre ise dörde ayrılır. Burada ilgili frekans bölgesinin alçak frekanslarını, yüksek frekanslarını geçiren ya da bant durduran, bant geçiren olarak sınıflanır.



Şekil 1.3. Elektronik Filtre Çeşitleri

Filtrelerin tarihini incelediğimizde ilk çalışmalar II. Dünya Savaşı öncesine dayanmaktadır. Önemli çalışmalardan ilki 1937 tarihli W.P Mason ve R.A. Sykes tarafından ABCD parametreleri kullanılarak yapılan çalışmada elde ettikleri çeşitli filtre yapıları için empedans, faz ve zayıflama fonksiyonlarını hesaplamışlardır [1]. II. Dünya Savaşı süresince Amerika M.I.T Radiation, the Harvard Radio Research Bell gibi birçok laboratuvarda bu çalışmaya dayalı uygulamalar yapıldı. Yine II. Dünya Savaşında, askeri uygulamalar ve radarın icadıyla radar sistemlerinde kullanılmak üzere dar-bandlı dalga kılavuzu filtreler ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır [2].

Uydu haberleşmesi ise 1960'da Intelsat I-III uyduları ile başladıktan sonra 1971'de Intelsat IV uzaya fırlatıldı. Bu uydu 500 MHz'lik yukarı-link bandında (5.925–6.425 GHz frekansları arasında) alınan işaretleri düşük gürültülü yükselteç

(low-noise amplifier-LNA) aracılığı ile yükseltip frekansı 3.7-4.2 GHz'lik aşağı banda çekiyordu. Daha sonra çoğullayıcı yardımıyla bu bant 36 MHz'lik 12 kanala ayrılıyordu. Bu durumlar yüksek performanslı filtreleri ve çoğullayıcı ihtiyacını getirdi. Bu şekilde başlayan uydu haberleşmesindeki filtre uygulamaları günümüze kadar çalışmalarını hızla sürdürerek devam etmektedir.

1970'lerin başlarında da hücresel radyo teknolojisi hız kazanmaya başladı. Mobil radyo sistemlerinin 800/900 MHz bandında makul bir fiyatla yerleşmesi için birinci kuşak hücresel sistemler gelişti. 1976 da Dünya Radyo Tahsisatı Toplantısı hücresel telefonlar için 800/900 MHz bandı frekans tahsisini onayladı, böylece hücresel sistemlerin ticari yerleşimleri için alan ayrıldı. 1980'lerin başlarında, birçok ülke, ülkelerine birinci kuşak hücresel sistemleri yerleştirdi ve bunun sonucunda frekans planlamaya ihtiyaç duyulduğu için yeni filtre tasarımları gerçekleştirildi. Askeri uygulamalar, uydu sistemleri ve hücresel radyo sistemleri filtrelerin araştırılıp geliştirilmesi için bir aracı olmuştur [3]. ABD Federal İletişim Komisyonu (FFC), 2002 yılında Ultra Geniş Bandın (UWB) yani 3.1 GHz ile 10.6 GHz frekans aralığını akademi ve endüstriyel araştırmalar için lisansız kullanımına izin vermiştir. Yıllar boyunca hız kazanarak başlayan bu çalışmaların temeli olarak Levy'nin 1970 ve 1974'teki UWB uygulamaları için çalışmaları temel olarak gösterilebilir [4,5].

2005 de UWB filtreler ile çalışmalar çoğalmaya başlamış [6], 2006 da hız kazanmıştır. Bunlardan biri Shaman ve Hong'un kısa veya açık devre hatlar ile elde edilen filtre çalışmasıdır. Burada beş kısa devre hat kullanılmış ve dokuzuncu dereceden mikroşerit bant durduran filtre tasarımı elde edilmiştir. Ancak boyutları diğer tasarımlardan çok daha büyüktür ve bundan sonra yapılan çalışmalarda boyutlarda küçülme hedeflerine gidilmiştir [7]. Akabinde 2007'de yapılan başka bir çalışmada UWB yapısı yine yan hatlar ile elde edilmiş; üç adet açık devre yan hatlar kullanılarak mikroşerit UWB-BGF yapısında Piecewise-frekans yaklaşım metodu ile büyük bir esneklik sağlamıştır. Bunun sonucunda filtrelerde boyutsal küçülme, yüksek seçicilik, düşük araya girme kaybı vb. özelliklerinden dolayı radar sistemleri ve UWB bölgesine göre yapılmıştır [8]. 2016 da UWB filtre modelinde yenilikçi çalışmalar başladı. Bunun önemli bir örneği; geniş yüzeyli çift mikroşerit paralel halkalardan oluşan bir modeldir. Burada halka tipi paralel plaka kullanılmasının sebebi ise karakteristik empedansını ve bant genişliğini değiştirmenin daha kolay olmasıydı. Analiz edilmiş ultra geniş bant BGF'nin bant genişliğinin -15dB zayıflama ile 5.3 GHz

merkez frekansındaki bandında 3.05'ten 10.3 GHz'ye uzatıldığı görülmüştür. Ayrıca filtrenin çalışması, UWB aralığının çoğunda neredeyse 2 dB'nin altına ekleme kaybı, geçiş bandı aralığında yumuşak grup gecikmesi sağlayan iç mekân haberleşme sistemleri için geniş kaplamalı UWB filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir [9]. Yine aynı yıl Xi ve Hun 3. Dereceden Chebshev cevaplı bant geçiren filtre tasarımı yapmıştır. 9 GHz merkez frekansına ve 500 MHz bant genişliğine sahip filtreleme anteni tasarımı yapılmıştır. Geleneksel filtreleme anteni ile karşılaştırıldığında hacmi bir nebze düşürülmüştür [10].

Filtre tasarımında genel olarak bilinen AWR,CST,HFSS,SONNET gibi programlar mevcuttur ancak bu programlar haricinde genel mühendislik de kullanılan LabVIEW ve OrCAD gibi programlarda da filtre tasarımı yapılabildiğini gösteren çalışmayı 2017 yılında Rodica ve Ion birlikte tamamlamışlardır. Model 5. Dereceden Chebshev bant geçiren filtredir. LabView ve OrCAD programları aracılığı ile tasarlanarak test edilmesi ile aynı sonuçlar alınabileceği gösterilmiştir [11]. Aynı yıl Tarun ve Sayanın yaptığı çalışmada, WLAN uygulamaları için % 20'lik kesirli bir bant genişliği ile 5.25 GHz'de Chebyshev BGF tasarımı sunulmuştur. Önerilen filtre yapısı, sırasıyla geleneksel ve katlanmış paralel bağlantılı hat filtrelerine kıyasla %71 ve %31 boyut küçültme ile 51dB'lik ikinci harmonik bastırma sergiledi [12]. 2018 yılında Saffirine ve arkadaşları bant genişliği ayarlanabilen, bant geçiren ve bant durduran mikroşerit filtre tasarımı yapmışlardır. Önerilen filtre, U şeklinde bir mikro şerit hattı, rezonatörü ile birleştirilmiştir. Önerilen filtre bir basit geometriye sahip bant geçiren filtre tasarımı sunar [13].

Pasif elektronik devre modellemesinde, mikrodalga frekanslarına kadar toplu parametrelili RLC elemanları kullanılır. Bununla birlikte, neredeyse tüm iletken parçalar mikrodalga frekansları söz konusu olduğunda antenler gibi davrandığından, dağıtılmış parametrelili elemanlarla analizler ve sentezler kullanılır. Dağıtılmış parametre devrelerinden bahsedildiğinde, iletim hatları, özellikle mikroşerit yapılar akla gelir. Mikroşerit yapılar, mikrodalga frekanslarında çalıştığı için çok önemli hale gelmiştir. Bu yapıların sahip olduğu model ve geometriler araştırma konusudur. Buradaki öncelik filtre modellerinin istenilen frekans cevabını verebilecek şekilde tasarımı yapılmasıdır.

1999 yılında bir grup araştırmacı, taban iletkeninden çeşitli geometrilere sahip şekilleri çıkardılar. Çıkarılan model basitçe halter biçimli bir birim hücre yapısı olup

bu yapının bir mikroşerit hat için C ve X bantlarında önemli ölçüde bant durdurucu özellik gösterdiği keşfedildi. Bu yapı "Taban İletkeni Kusurlu Yapı" (Defected Ground Structure) (DGS) olarak isimlendirildi. DGS, taban iletkeninde farklı geometrilerde kusur açılarak oluşturulur [14]. Tabana kusurlar açılmasının sonucu olarak frekans karakteri değişimi gibi çeşitli özellikleri değiştiği görülmektedir. Buradaki DGS yapısı filtrenin karakteristik değerlerinin daha düzgün, fiziksel boyutların daha küçük ve daha uygun olmasını sağlar.

DGS uygulamaları 2000 yılında halter biçimli bant geçiren model olarak tasarlanmaya başlanmıştır [15]. Aynı yıl yönlü kuplörlerde de DGS uygulanmıştır [16]. DGS'li yapılara dayanan diğer çalışmalar ise, güç bölücüler, mikroşerit antenler ve mikrodalga filtreleridir. Güç bölücülerinde taban iletkenine kusur açılması yöntemi ile devre boyutu küçültülmesi, mikroşerit antenlerde harmonik kontrolün sağlanmasında, yama antenlerin ışıma özelliklerinin kontrolün sağlanması ve iyileştirilmesinde tercih edilmiştir. Bu tarz yapılar tasarımlarda küçük boyut, keskin bant durdurma kabiliyeti, geniş durdurma bandı, çoklu bant karakteristiği elde etmek için kullanılmıştır. Rezanatörlerde yapılan DGS geometrinin boyutları değiştirilerek bu değişimlerin etkisini gösteren çalışmalar yapılmıştır [17-24].

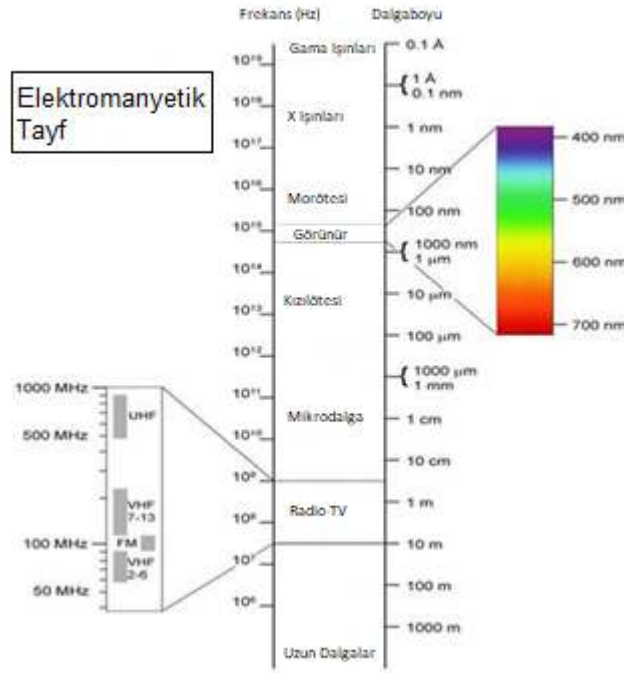
2000 yılında Johan Gielis, "Süper-Formül" yapısı açıklamıştır. Bu formül süper-ellipsin genelleştirilmiş halidir [25]. Mikroşerit yapıları araştıran araştırmacılar süper-formül yapısını tasarımlarına uygulamışlardır. 2010 yılında Simeoni ve arkadaşları UWB için anten çalışmasında süper-formül yaklaşımı kullanılmıştır. 2013 yılında ise Bia ve arkadaşları yüksek frekanslı uygulamalar için süper-formül ile tasarlanmış antenin elektromanyetik karakterini incelemişlerdir [26]. Shaimaa ve Dib 2016 yılında süper-formül yapısı ile yeni UWB mikroşerit beslemeli yama anten tasarlamışlardır [27]. 2016 yılında Omar ve arkadaşları tarafından UWB ile yama anten tasarımı yapılmıştır. Bu anten 3.1 GHz-10.6 GHz arasında çalışmaktadır. Super-Formül kapsamında Testere dişli dairesel bir form olarak tasarlandı [28]. 2018'de Seyfollah ve arkadaşları Minyatürleştirme ve olay açısı kararlılığı için bir süper formülden oluşturulan yeni eğrileri çevreleyen kare metalik halkalardan oluşan birim hücreler tarafından oluşan frekans seçici yüzey tasarlamıştır [29]. 2019 yılında ise damla şeklindeki yapılan çalışmada bir süper şekilli yama anteninin Karakteristik Mod analizini yaparak elektrik akımı ve manyetik akımı değerleri incelenmiştir [30].

Literatürde gün geçtikçe daha çok araştırma ve geliştirme konusu haline gelen konu üzerine çalışmalar günümüzde de devam etmektedir.

Tez kapsamında öncelikle filtreler genel olarak açıklanmış ardından performans odaklı, iyi tasarlanmış yapılardan yararlanarak geniş bantlı mikroşerit filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. AWR programından yararlanılarak, araya girme kaybı yöntemi kullanılarak Chebshev prototipi ile istenilen frekans bandında temel filtre modeli oluşturulmuştur. İstenilen bant frekansına birçok çalışma sonucunda ulaşılmıştır. Buradaki toplu elemanlar ile oluşturulmuş model daha sonra yine AWR programında şerit yapılara dönüştürülmüş, 2D mikroşerit filtre modeli oluşturulmuştur. Mikroşerit filtre modelinin taban iletkenine çeşitli sayıda kusurlar açılarak bu kusurların etkisi ve kusur sayısındaki artışın etkisi karşılaştırılmıştır. Taban iletkeninde açılan kusurların modeli ise Gielis tarafından formülüzasyonu çıkarılan, doğadan ilham alınarak tasarlanan süper-formül ile oluşturulmuştur. Analizleri için HFSS programından yararlanılmıştır. Kusursuz yapılar için AWR ve HFSS programı sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Araya Girme Kaybı Yöntemi ile Chebshev prototipi kullanılarak taban iletkeninde süper-formül ile taban iletkeni kusurlu mikroşerit bant geçiren filtre tasarlanmıştır. Buradaki filtre daha sonra 5G teknolojisinde kullanılmak üzere bir sistem ile bütünleştirilecektir.

2. GENEL BİLGİLER

Mikrodalga, 300 MHz den 300 GHz'e kadar uzanan frekans aralığını kapayan ve dalga boyu 1m ile 1mm arasında değişen elektromanyetik dalgalar olarak adlandırılmaktadır. Mikrodalga bölgesi birçok alanı kapsar. Bu alanlardan biri radyo-frekans (RF) bölgesidir. RF kullanımları arasında karasal radyo ve televizyon yayınlarının yanı sıra uydu yayıncılığı, kablo yayıncılığı, navigasyon gibi çeşitli alanları kapsamaktadır.



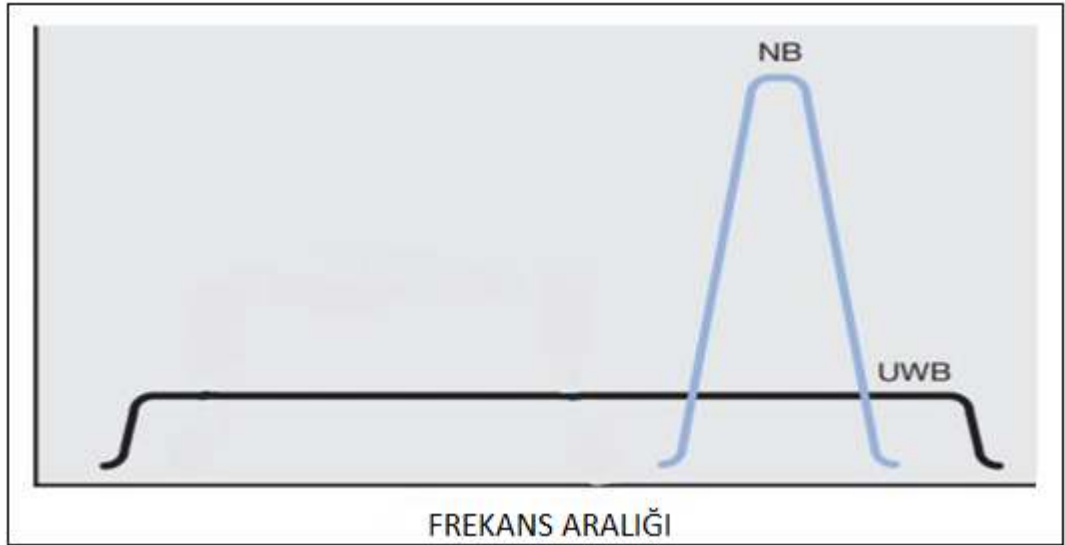
Şekil 2.1. Elektromanyetik Frekans Tayf

Filtreler RF ve mikrodalga uygulamalarında büyük bir öneme sahiptir. Farklı frekansların ayrılmasında, birleştirilmesinde ya da belirlemiş frekansların seçilmesi, sınırlı tutulmasında kullanılırlar. Bu filtreler geçirme bandı frekanslarında iletimi, söndürme bandı frekanslarında ise sönümlemeyi sağlayarak sistemin belirli bir noktasındaki frekans tepkisini kontrol eden elektronik devre yapılarıdır. Bir başka deyişle filtreler girişlerine uygulanan sinyali istenmeyen gürültülerden, harmonilerden ayırarak istenilen sinyalleri çıkışlarına aktaran istenilen özelliklere göre tasarlanabilen iki kapılı devrelerdir. Buradaki istenilen özelliklere göre bir amaç fonksiyonu belirlenerek tasarım yapılır. Amaç fonksiyonu olarak filtrenin geniş bant, dar bant, keskinlik faktörü, derecesi, durdurma ve geçirme bandı özellikleri gibi çoğaltılabilir.

2.1. Frekans Bantları

Bant genişliği, bir iletim hattının veya haberleşme kanalının kapasitesini belirlemek için kullanılır. Bir hatta taşınabilecek maksimum frekanslı sinyal, hattın bant genişliğidir. Bant genişliği arttıkça, aktarılacak veri hacmi de artar.

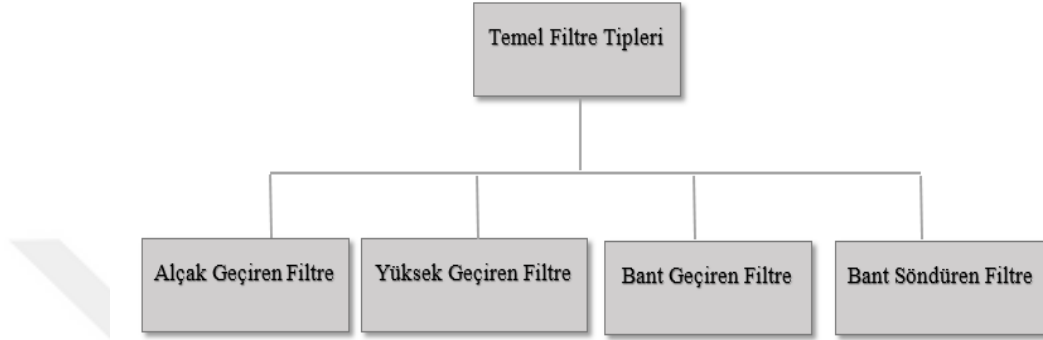
Frekans bantları genel olarak iki ana bölüme ayrılır. UWB ve dar bant (NB) olarak. NB, sinyal frekansını sadece verinin geçebileceği kadar genişlikte dar tutar [31]. UWB bant genişliği 500 MHz'den daha büyük ya da kademeli bant genişliği tüm iletilenlerden %20 daha fazla olmalıdır. UWB, düşük güç ve daha geniş frekans aralığına sahip kısa mesafelerde daha yüksek veri hızları sağlar. UWB sistemleri 3.1-10.6 GHz frekans aralığında çalışır. Bu frekans aralığı Düşük frekans (3.1-5 GHz) ve yüksek frekans (6-10.1 GHz) bandına bölünmüştür [32]. İstenilen amaca göre filtre tasarımı yapılırken NB ya da UWB çalışmasına göre tasarım adımları gerçekleştirilir. Şekil 2.2.'de NB ve UWB kavramlarının karşılaştırılması yer almaktadır.



Şekil 2.2 NB ve UWB Karşılaştırma

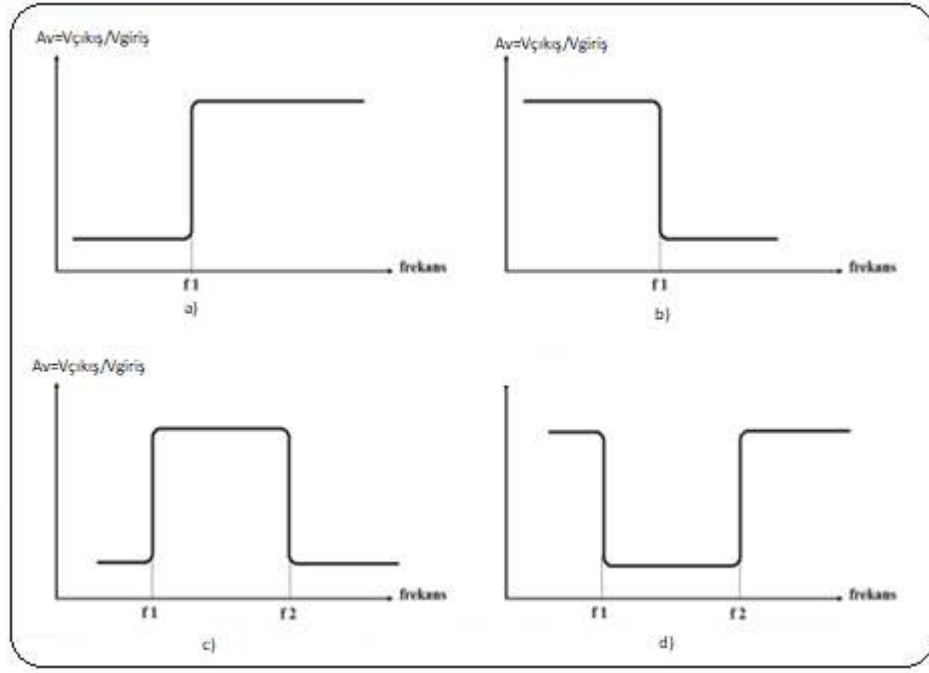
2.2 Mikrodalga Filtre Çeşitleri

Farklı mikrodalga sinyallerinin birleştirilmesinde, sınırlı tutulmasında, ayrılmasında özel olarak tasarlanırmış filtreler kullanılmaktadır. Bu filtreler genel olarak Şekil 2.3. de görüldüğü gibi frekansları alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren, bant söndüren olarak dörde ayrılır.



Şekil 2.3. Temel Filtre Tipleri

Yüksek geçiren filtreler (YGF); kesim frekansından daha yüksek frekansları geçiren, kesim frekansından daha alçak frekansları durduran filtre karakteristiğine sahiptir. Alçak geçiren Filtreler (AGF) kesim frekansından daha alçak frekansları geçiren, kesim frekansından daha yüksek frekansları durduran filtrelerdir. Belirli bir frekans aralığındaki sinyalleri geçiren filtrelere bant geçiren filtre (BGF) devresi adı verilir. Belli bir frekans aralığındaki sinyalleri zayıflatan filtrelere ise bant durduran (BDF) veya bant söndüren filtre devresi adı verilir. Şekil 2.4.'de bu filtrelerin frekans tepkileri verilmiştir.



Şekil 2.4. Filtrelerin Frekans Tepkisi

2.3. Filtre Tasarım Yöntemleri

Filtrelerden beklenen en önemli özellikler; bastırma bölgesine dik eğim, yüksek geri dönüş kaybı ve düşük araya girme kaybıdır. Ayrıca filtrelerin fiziksel boyutu, düşük maliyetli ve seri üretime uygun olmaları tasarım aşamasında göz ardı edilmemelidir.

Filtre tasarımlarında kullanılan iki temel yöntem vardır bunlar görüntü parametreleri ve araya girme kaybıdır. Her iki yöntemde toplu parametrelili devrelere dayanmaktadır. Mikrodalga uygulamaları için bu devreler iletim hattı parçalarına dönüştürülerek filtre tasarımı yapılmaktadır.

2.3.1. Görüntü Parametreleri Yöntemi

Görüntü parametreleri yöntemi; iki kapılı filtre parçaları istenilen zayıflatma karakteristiğini ve kesim frekansını vermek üzere art arda yerleştirilmiş yapılardır. Araya girme kaybı metoduna göre dezavantajı, rastgele frekans cevapları için tasarıma uygulanamaması ve çok sayıda işlem adımına ihtiyaç duymasındır. Daha basit filtre

Şekil 2.5. Görüntü Parametreleri Yöntemi ile Kaskat Filtre Yapı

Bu yöntemin daha çok yarıiletken ilerleyen dalga yükselteç ta kullanımı vardır. İstenilen frekansa göre daha kolay filtre tasarımı için ise kaybı yöntemi kullanılmaktadır.

2.3.2 Araya Giriş Kaybı Yöntemi

2.3.2.Araya Giriş Kaybı Yöntemi

Araya Girme Kaybı Yöntemiyle Filtre Tasarımı Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi geçirme ve durdurma bandının genlik ve faz özellikleri üzerinde yüksek bir denetime sahip istenilen tepkiyi oluşturmaya imkân sağlayan tasarım ve hesaplama yöntemidir. Dolayısıyla arzu edilen yanıtların alınmasında sistematik bir çözüm sunmaktadır. Bu yöntemde öncelikle çeşitli filtre prototipleri üzerinden işlem yapılır. Tasarım yapılırken amacına göre uygun filtre prototipi belirlendikten sonra değerler ölçeklendirme ve dönüştürme işlemi yapılarak tasarlanır.

$$\text{IL} = 10\log P_{\text{LR}} \quad (2.1)$$

11

Güç kaybı oranı ise;

$$P_{LR} = \frac{P_{in}}{P_{Load}} = \frac{\text{Kaynakta Bulunan Güç}}{\text{Yüke Aktarılan Güç}} = \frac{1}{1 - |\Gamma(w)|^2} \quad (2.2)$$

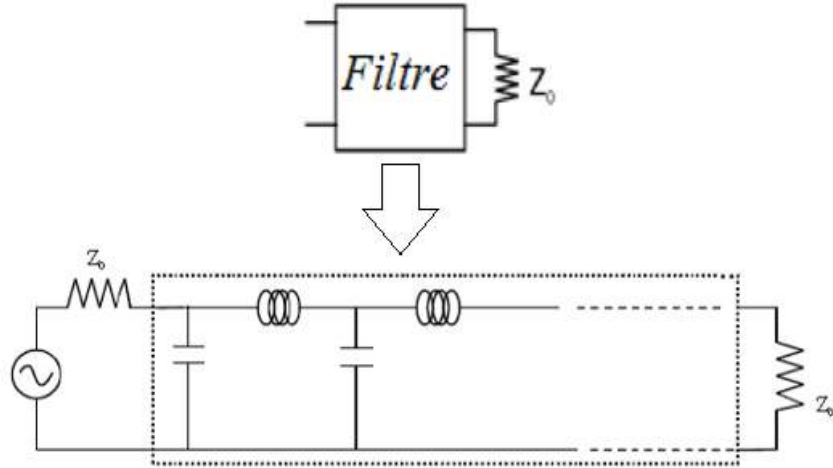
Şeklinde tanımlanır.

$$|\Gamma(w)|^2 = \frac{M(\omega^2)}{M(\omega^2) + N(\omega^2)} \quad (2.3)$$

2.3 denklemindeki $|\Gamma(w)|^2$, ω 'nın Fourier Transform'daki gerçek (real) fonksiyon değerini tanımlamaktadır. M ve N değerleri ω^2 'nin polinomları olarak gösterilmiştir ve denklem 2.2'de yerine yazılırsa;

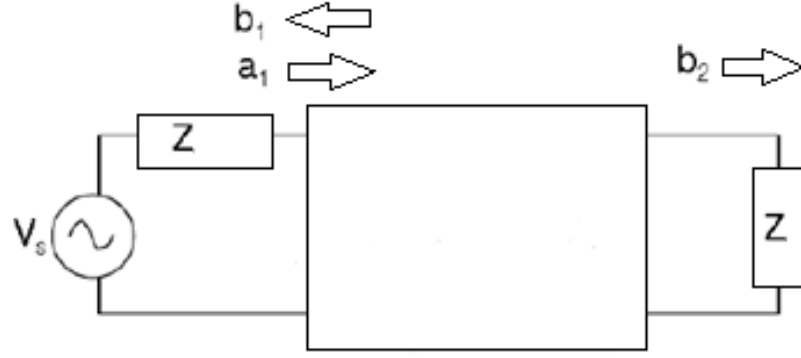
$$P_{LR} = 1 + \frac{M(\omega^2)}{N(\omega^2)} \quad (2.4)$$

Değeri elde edilir.



Şekil 2.6. Araya Girme Kaybı Yöntemiyle Filtre Tasarımı

İletilen ve yansıyan dalga bakımından, Şekil 2.7.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.7. Araya Girme Kaybı Yönteminde PLR ve Araya Girme Kaybı (S21) Bağlantısı

Güç kaybı oranı ve S parametreleri ile denklem 2.5'deki gibi ilişkilendirilebilir. Burada gösterilen a_1 iletilen dalgayı, b_2 aktarılan dalgayı ifade eder.

$$P_{LR} = \frac{P_{in}}{P_{Load}} = \frac{\frac{1}{2}|a_1|^2}{\frac{1}{2}|b_1|^2} = \left| \frac{a_1}{b_1} \right|^2 = \frac{1}{|S_{21}|^2} \quad (2.5)$$

Filtre tasarımlarında hedef ideal filtreye olabildiğince yakın olmaktır. Bunun için de farklı filtre metotları geliştirilmiştir. En yaygın kullanımı olan metotlar; En Düz, Eşit Dalgacıklı ve Eliptik yaklaşımlarıdır.

2.3.2.1. En Düz Filtre Prototipi

En düz filtre tasarımı Butterworth olarak da adlandırılır. Filtre tasarım yaklaşım metodu yavaş kesime gitmesinin karşılığında iletim bandında en düz frekans cevabını verir. Bir başka deyişle zayıflatma profilinde dalgalanma olmadığı için maksimum düzlükte filtre profili olarak kabul edilir. Butterworth alçak geçiren filtre cevabı 2.6'daki gibidir.

$$P_{LR} = 1 + k^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^{2N} \quad (2.6)$$

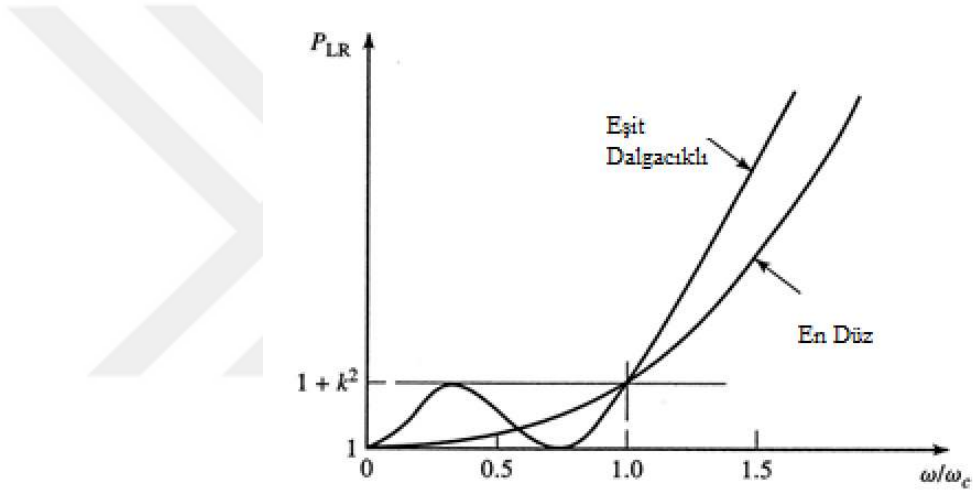
N; Filtre derecesini, ω ; Açısal frekansı, ω_c ; Kesim frekansını, $1 + k^2$; İletim bandındaki dalgalanmayı ifade eder [33].

2.3.2.2. Eşit Dalgacıklı Filtre Prototipi

Eşit Dalgacıklı, Chebshev olarak da bilinmektedir. İletim bandında dalgalanmaya durdurma bandında da azami düz bir yapıya sahiptir. N. dereceden bir Eşit Dalgacıklı filtre tasarımı yapılmak istenirse,

$$P_{LR} = 1 + k^2 T_N^2(\omega) \quad (2.7)$$

Kullanıldığında $T_N(X)$ fonksiyonu $|X^2| \leq 1$ için ± 1 aralığında salındığından geçirme bandı tepkisi Şekil 2.8.'deki gibi $1 + k^2$ genlik dalgacıklarına sahip olsa bile kesimi daha keskin olmaktadır [34].

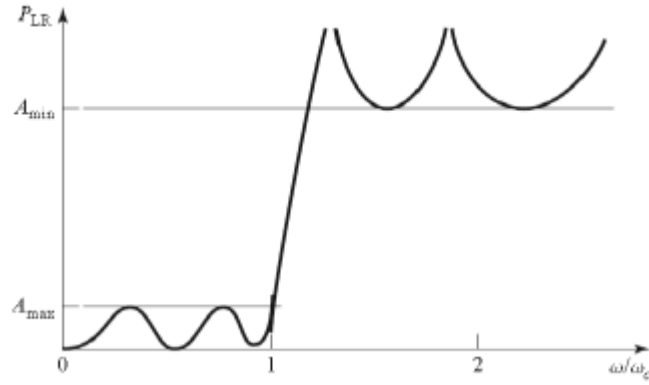


Şekil 2.8. Chebshev ve Butterworth Yaklaşımların Karşılaştırılması [34]

2.3.2.3. Eliptik Filtre Prototipi

Eliptik filtre yaklaşımı iletim bandından durdurma bandına geçişte en hızlı geçişi sağlamasının yanında iletim bandında da durdurma bandında da dalgalanma görülür. Örnek bir Eliptik yaklaşımla tasarlanmış filtrenin cevabı Şekil 2.9.'da görülmektedir. Eliptik filtre aynı zamanda geliştirilmesi en zor olan yaklaşımlardan biridir [33]. Eliptik filtre cevabı (2.7)'deki gibidir.

$$P_{LR} = \frac{k^2}{4} \left(\frac{2\omega}{\omega_c} \right)^{2N} \quad (2.8)$$



Şekil 2.9. Eliptik Yaklaşımın Gösterimi [35]

2.4. Araya Giriş Kaybı Yöntemi ile Filtre Gerçekleştirimi

Tasarımda istenilen hedeflere yakın sonuçlar elde edilebilmesi için dağılmış parametrelili elemanlar kullanılır. Bunlar açık devre ve kısa devre transmisyon hat parçaları olarak adlandırılır ve ideal toplu elemanlara yakın sonuçlar elde edilmesi için kullanılır. Richard's dönüşümü ile toplu elemanlı devrelerde yer alan her bir eleman, iletim hat parçalarına dönüştürülebilmektedir. Kuroda özdeşlikleri kullanılarak ise filtre performansını etkilemeyen ve "birim eleman" olarak belirtilen iletim hat parçaları ilgili filtreye eklenir ve kuroda dönüşümü yapılır. Bu dönüşüm ile filtre elemanları ayrıştırılabilmektedir [34].

2.4.1. Empedans ve Frekans Ölçeklendirme

Filtre tasarımlarında öncelikle tasarım için uygun prototipin seçimi yapılarak normalize eleman değerleri bulunmalıdır. Her prototip için elde edilen değerler ilgili empedansa göre normalize edilir. Bu adımdan sonra istenilen bant aralıklarında ilgili empedansa göre ölçeklendirme yapılır. Son olarak tasarımın empedans dönüşümü yapıldığında yeni filtre eleman değerleri elde edilmiş olur.

Empedans ölçekleme;

$$C = \frac{C_n}{2\pi f_c R} = \left(\frac{g_k}{w \cdot z_0} \right) \quad (2.9)$$

$$L = \frac{RL_n}{2\pi f_c} = \left(\frac{g_k \cdot z_0}{w} \right) \quad (2.10)$$

C=Kondansatör değeri

L=Endüktör değeri

R=Yük direnç değeri

f_c = Kesim frekansı

C_n, L_n = Prototip eleman değerleri

z_0 = Karakteristik empedans

g_k =Prototip eleman değerleri [2]

Prototip eleman değerlerinden ölçeklendirilmiş eleman değerleri hesaplanarak filtre tasarımı için devre ortaya çıkartılır ve filtre gerçekleştirilmesine geçilir.

2.4.2 Richard's Dönüşümü

Richard's tarafından ortaya atılan bu dönüşüm, LC devresinin açık ve kısa devre iletim hatları ile sonlandırılabilceğini ifade etmektedir. Bu dönüşüm ile açısal frekans (ω) düzleminde (Ω) düzlemine geçilir. Richard's tarafından açık ve kapalı devre iletim hattı saptamalar kullanılan LC devrelerini sentezlemek için tanıtılmıştır. Filtre karakteristiği $\frac{\omega l}{V_p} = 2\pi$ periyodunu tekrar eder [2].

$$\Omega = \tan \beta l = \frac{\omega l}{V_p} \quad (2.11)$$

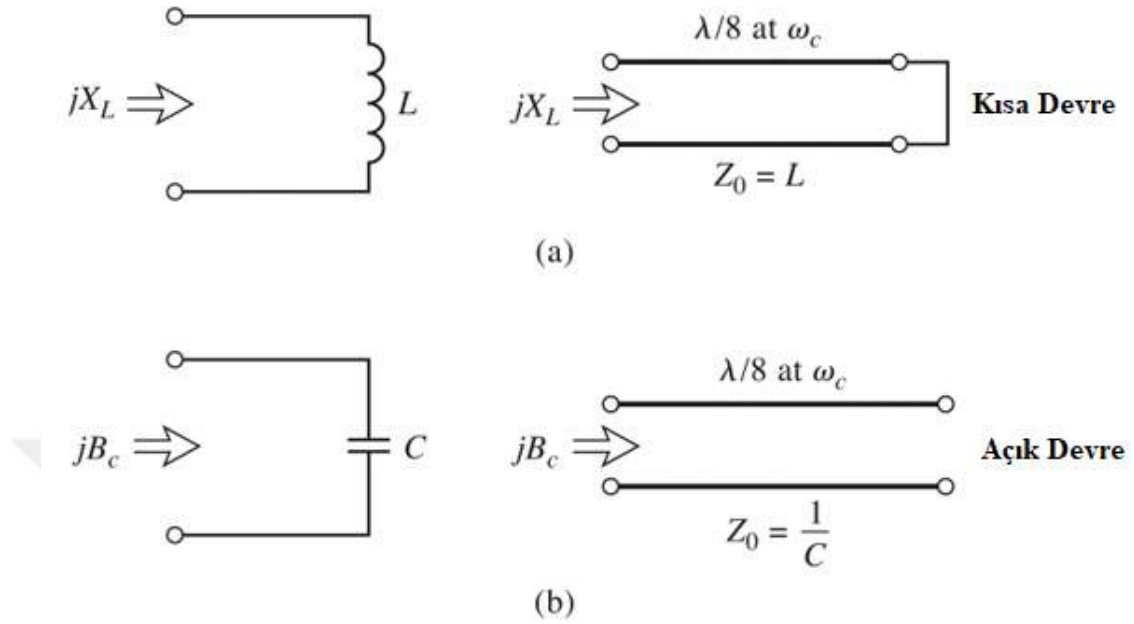
(2.11)'deki formülde ω düzlemi Ω düzlemine dönüşümü yapılır. Dönüşümün sonucunda endüktörün reaktansı, kondansatörün suseptansı sırasıyla (2.11), (2.12)'deki gibi olmaktadır.

$$jX_L = j\Omega L = jL \tan \beta l = SZ_0 \quad (2.12)$$

$$jX_C = j\Omega C = jC \tan \beta l = SY_0 \quad (2.13)$$

Karakteristik empedansı L , uzunluğu βl olan endüktör, kısa devre ile sonlandırılmış bir iletim hattı ile modellenenmektedir. Karakteristik empedansı l/C ve uzunluğu βl olan kondansatör, açık devre ile sonlandırılmış bir iletim hattı ile modellenenmektedir. Şekil 2.10'da dönüşümü belirten örnek yer almaktadır. İletim hatlarının uzunlukları $\omega = \omega_c$ kesim frekansında $\lambda/8$ olacak şekilde alınmıştır.

Richard's dönüşümündeki hat uzunlukları $\lambda/8$ olarak alçak geçiren filtre prototipi için alınmaktadır [34].



Şekil 2.10. a)Endüktör İçin Kısa Devre İletim Hattı Richard's Dönüşümü
b)Kondansatör İçin Açık Devre İletim Hattı Richard's Dönüşümü

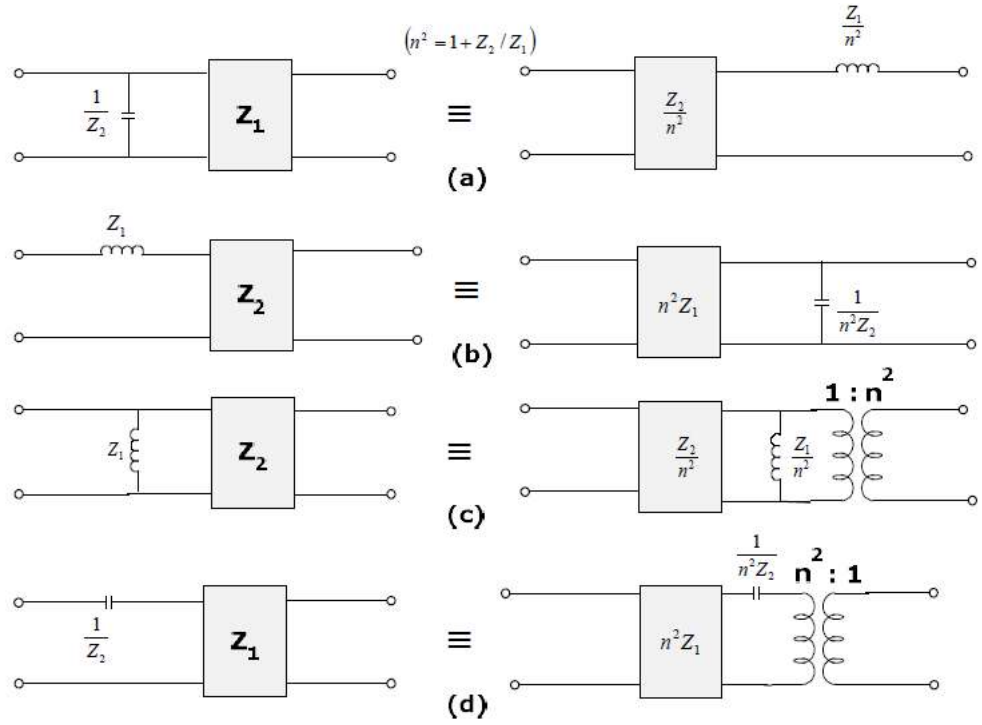
Richard's dönüşümü pasif elemanlar tarafından oluşturulmuş filtrelerdeki bütün Endüktör ve kondansatör yerine kısa devre ve açık devre iletim hatları ile değişilmesine izin verir ve tüm iletim hatlarındaki elektriksel uzunluklar aynı alınmaktadır ve bu hatlara ölçüleri eşit hatlar denilmektedir [34].

2.4.3 Kuroda Özdeşlikleri

Kuroda Özdeşlikleri;

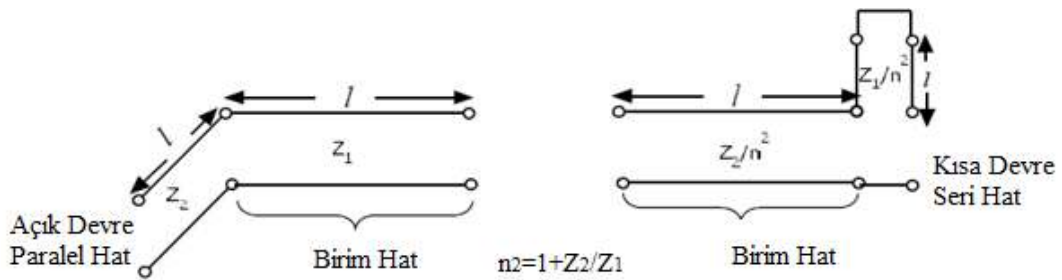
- İletim hattı parçalarının fiziksel ayrılması
- Seri hat parçalarını paraleline dönüştürme ve paralel hatları seriye dönüştürme
- Fiziksel olarak gerçekleyemeyen karakteristik empedansları gerçekleştirilebilir hale getirmek için kullanılır.

İletim hattına eklenen ilave iletim hatlarına birim elemanlar denir. Bunlar ω_c 'de $\lambda/8$ uzunluğunda olup L ve C elemanlarını ifade eder. Şekil 2.11.'de dört adet Kuroda özdeşliği verilmiştir. Bu tablodaki gösterilen kare kutular, iletim hattını ya da birim elemanı temsil etmektedir. [36].



Şekil 2.11. Kuroda Özdeşlikleri

Prototip tasarımdaki endüktör ve kondansatörlerin dönüştürülmesi için eşit uzunluktaki bu birim elemanlar kullanılmaktadır. Şekildeki her bir kutu karakteristik empedansı veya birim elemanı $\lambda/8$ hat uzunluğuna sahip bir transmisyon hattını ifade eder. Kısa devre ve açık devre olan hat parçaları kondansatör ve endüktörleri modellemektedir. Birinci özdeşlik Şekil 2.12.'de gösterilmektedir [34].



Şekil 2.12. Kuroda Özdeşliği (b) Şıkkının Eşdeğer Devresi

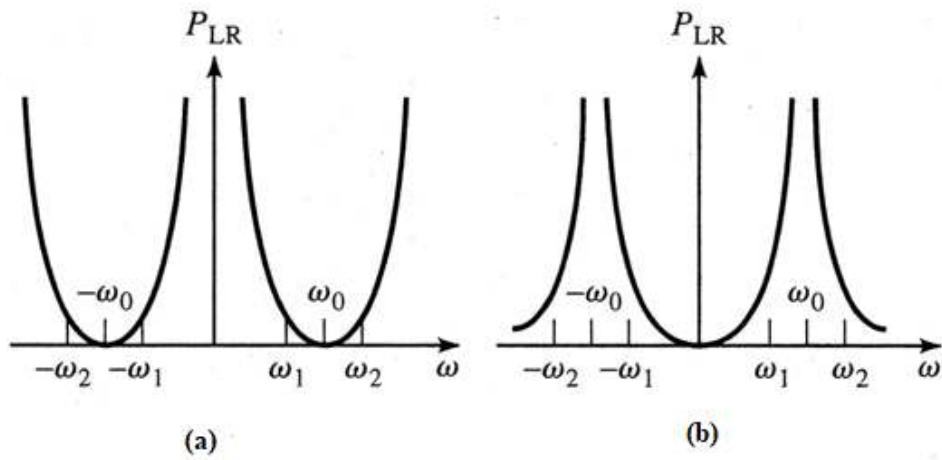
2.4.4. Bant Geçiren Filtre Tasarımı

Filtre tasarımında ilk olarak filtre tipi özelliği amacı karakteristiğine karar verilir. Daha sonra bu istenilen amaca uygun devrenin prototip devresi oluşturulur. Prototip devreye göre frekans ve empedans ölçeklemesi yapılır. Ölçeklenmiş tasarıma Richard's ve Kuroda özdeşlikleri uygulanır ve yapı mikroşerit hale getirilir. Bu mikroşerit yapı için MATLAB gibi matematiksel programlar kullanılarak boyut hesaplaması yapılabileceği gibi öte yandan direk karakteristik devre hesabı için AWR gibi programlarda filtre tasarımı özelliğinden de yararlanılabilir. Sonuç olarak ortaya çıkan filtrenin tasarımı gerçekleştirilebilir hale dönüştürülür. Gerçekleştirilen tasarım Network Analizör cihazlarından veya Spektrum Analizör cihazından ölçümleri alınarak tasarım doğruluğu kontrol edilir.



Şekil 2.13. Filtre Tasarım Aşamaları

Bant geçiren filtre tasarımında ise alçak geçiren filtreden yararlanılarak bant geçiren filtreye dönüştürülebilir. Şekil 2.14.'de görüldüğü gibi ω_0 merkez frekansı olmak üzere, ω_1 ve ω_2 geçirme bandı sınırları ise;



Şekil 2.14. a) Bant Geçiren Filtre, b) Bant Durduran Filtre

$$\Delta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} \quad (2.14)$$

Δ geçirme bandının oransal genişliğidir. " ω_0 " merkez frekansı olmak üzere

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_1 \cdot \omega_2} \quad (2.15)$$

Alçak geçiren filtre elemanları seri kollarda seri rezonans devrelerine ve paralel kollarda paralel rezonans devrelerine dönüşür.

L_p, C_p = Alçak geçiren filtre prototip eleman değerleri olmaz üzere;

$$L = \frac{\Delta \cdot L_p}{\omega_0} \quad (2.16)$$

$$C = \frac{1}{\omega_0 \cdot \Delta \cdot L_p} \quad (2.17)$$

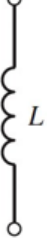
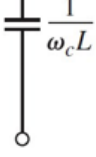
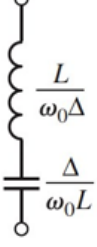
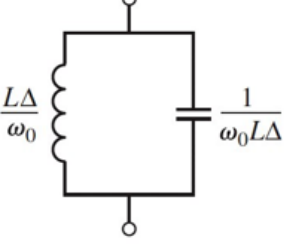
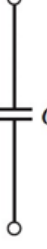
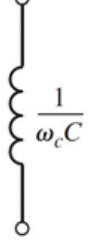
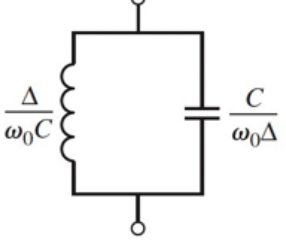
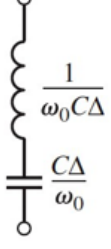
Paralel kapasitörler ise;

$$L = \frac{1}{\omega_0 \cdot \Delta \cdot C_p} \quad (2.18)$$

$$C = \frac{\Delta \cdot C_p}{\omega_0} \quad (2.19)$$

Dönüşümü yapılmaktadır. Alçak geçiren filtre prototipinden bant geçiren, bant durduran, yüksek geçiren filtre dönüşümleri Tablo 2.1.'de yer almaktadır.

Tablo 2.1. Prototip Filtre Dönüşümü

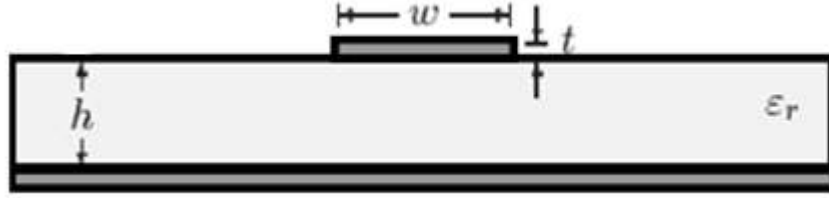
Alçak Geçiren	Yüksek Geçiren	Bant Geçiren	Bant Durduran
			
			

2.5. Mikroşerit İletim Hatları

Pasif elektronik devre tasarımında mikrodalga frekanslara denk toplu parametrelili, yani RLC elemanları kullanılarak tasarım oluşturulmaktadır. Fakat mikrodalga frekanslara gelindiğinde tüm iletken parçaları anten gibi davrandığı için analiz ve sentezler dağılmış parametrelili elemanlar ile gerçekleştirilmektedir. Dağılmış parametreler denilince akla ilk olarak iletim hatları gelmektedir. Bu iletim hatlarından ise mikroşerit hatlar olmalıdır. Mikroşerit hatlar ve bu hatlarda oluşan pasif elemanlar ve devreler günümüzde çok yaygındır.

Mikroşerit iletim hatlarının çok fazla tercih edilmesinin sebebi, boyutsal olarak daha küçük tasarımlara imkân vermesi, hafif olması, UWB bant genişliğini oluşturabiliyor olmasıdır. Mikroşerit hatlar gelişmiş devre fabrikasyonu olduğunda ekonomik hale gelmiştir ve teknoloji ile kolay iletişime geçmiştir. Başka bir avantajı ise karşılıklı bağlantı ve ayarlamaları kolaydır. Bunun yanı sıra mikroşerit yapılar ve mikrodalga yapılar karşılaştırıldığında şu dezavantaja sahiptir; Bant genişliği dardır, kayıplar sebebiyle kazançları düşüktür, ışıma yapan elemanlar ve besleme arasındaki yalıtım zayıftır [37].

Düzlemsel iletim hattı genel yapısı Şekil 2.15.'de görüldüğü gibi, w iletken metal şerit genişliği, en alt tabaka iletken metal toprak yüzeyi, h manyetik olmayan yalıtım malzemesinin yüksekliği, alt katman iletken metal toprak yüzeyidir.



Şekil 2.15. Düzlemsel İletim Hattı Temel Yapısı

Bir mikroşerit iletim hattının dalga uzunluğu, $\lambda/(\epsilon_{eff})^{0.5}$, burada ϵ_{eff} efektif dielektrik sabitidir. Dielektrik sabit mikroşerit, çizginin fiziksel boyutlarına ve yapı malzemesinin dielektrik sabitine bağlı olarak değişir. λ , uzaydaki dalga boyudur. Elektromanyetik alanlar (EM), mikroşerit hattaki malzemede ve üstteki alanda yani havada da bulunur. Havanın dielektrik sabiti, hattın etkin dielektrik sabitinden daha az olmalıdır.

2.5.1. Mikroşerit İletim Hatlarında Kullanılan Taban Malzeme

Taban malzemesi mikroşerit yapıda iki fonksiyonu yerine getirir. Bunlardan birincisi elemanları uygun bir şekilde montajına olanak sağlamak, mekanik açıdan destek olmaktır. İkinci özelliği ise iletim hattının parçası olarak işlev görmek, dielektrik geçirgenliği ve kalınlığı itibari ile devrenin elektriksel özelliklerini belirlemektir [38].

Taban malzemesi yapımında genel olarak bakır, alüminyum, altın tercih edilir. Bunun sebebi ısı iletimi ve mekanik dayanımı iyi olmasıdır. Mikroşeritlerin performansını etkileyen en önemli parametreler ise taban malzemenin dielektrik sabiti, taban maddesi kalınlığı ve üretici toleransıdır. Aksi durumda üretilen iletim hatları karakteristik empedans ve hat sabitinin buradaki parametrelere bağlı olması sebebiyle istenilen sonuç elde edilemeyecektir.

Mikroşerit iletim hatlarında kullanılan çok fazla taban malzemesi çeşidi vardır. Bunların dielektrik sabiti değeri 1.17 den 25'e kadar değişmektedir. Kayıp tanjant değeri ise 0.0001-0.004 arasındadır. [39]

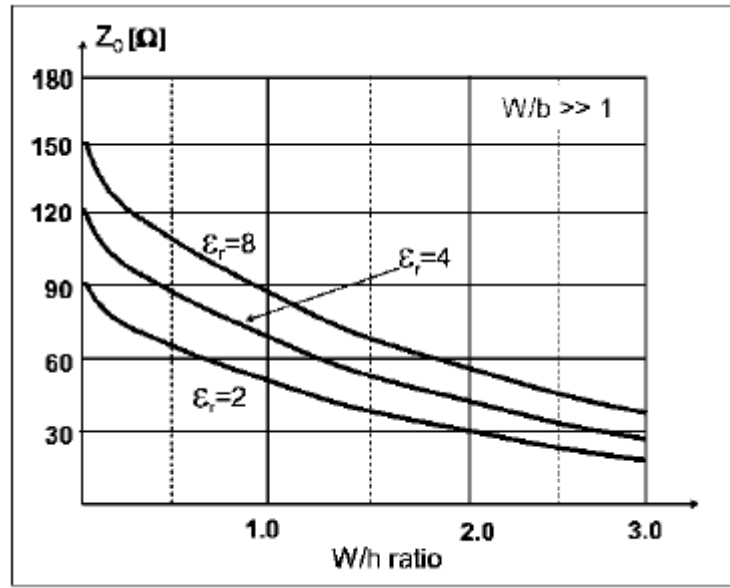
Politetrafloretillen (PTFEE) taban malzemesi örülmüş fiberglas hasır veya mikro cam parçacıkları ile doldurulur. Bunun sonucunda dielektrik sabit 2,2–3 aralığına çekilir. Seramik toz dolgu maddesi kullanılırsa dielektrik sabiti çok daha büyük değer elde edilir. Bu değer 9.7-10.3 arasında olmaktadır. Taban malzemesi olarak alüminyum oksit ve boron nitrat gibi seramik maddelerde kullanılabilir. Isıl iletkenliği mükemmel derecede olan alüminyum oksit en fazla tercih edilen taban malzemedir.

Tablo 2.2.'de kullanılan malzemelerin önemli özellikleri yer almaktadır. ϵ_r maddenin boyunca dielektrik sabiti, ϵ_y maddeye dik elektrik sabitidir [40].

Tablo 2.2. Mikrodalga Taban Malzemeleri

Madde	ϵ_r	ϵ_y	Tanjant Kaybı	Isıl İletkenlik	İşlenebilme
PTFE/woven cam	2.84	2.45	0.001-0.002	Düşük	İyi
PTFE/mikrofiberglas	2.26	2.2	0.0005-0.001	Düşük	İyi
CuFlon	2.1	2.1	0.0004	Düşük	İyi
RT/Duroid 5880	2.26	2.2	0.001	Düşük	İyi
RT/Duroid 6006	6.36	6		Orta	İyi
Epsilam 10	13	10.3		Orta	İyi
Boronitrit	5.12	3.4		İyi	Zayıf
Silikon	11.7-12.9	11.7-12.9	0.001-0.003	Orta	Zayıf
Germanyum	16	16		Orta	Zayıf
Galyum arsenit	12.9	12.9	0.0005-0.001	Orta	Zayıf
Alumina	9.6-10.1	9.6-10.1	0.005-0.002	İyi	Zayıf
Safir	9.4	11.6	0.0002	İyi	Zayıf
Berilyum oksit	6.7	6.7	0.001-0.002	İyi	Zayıf

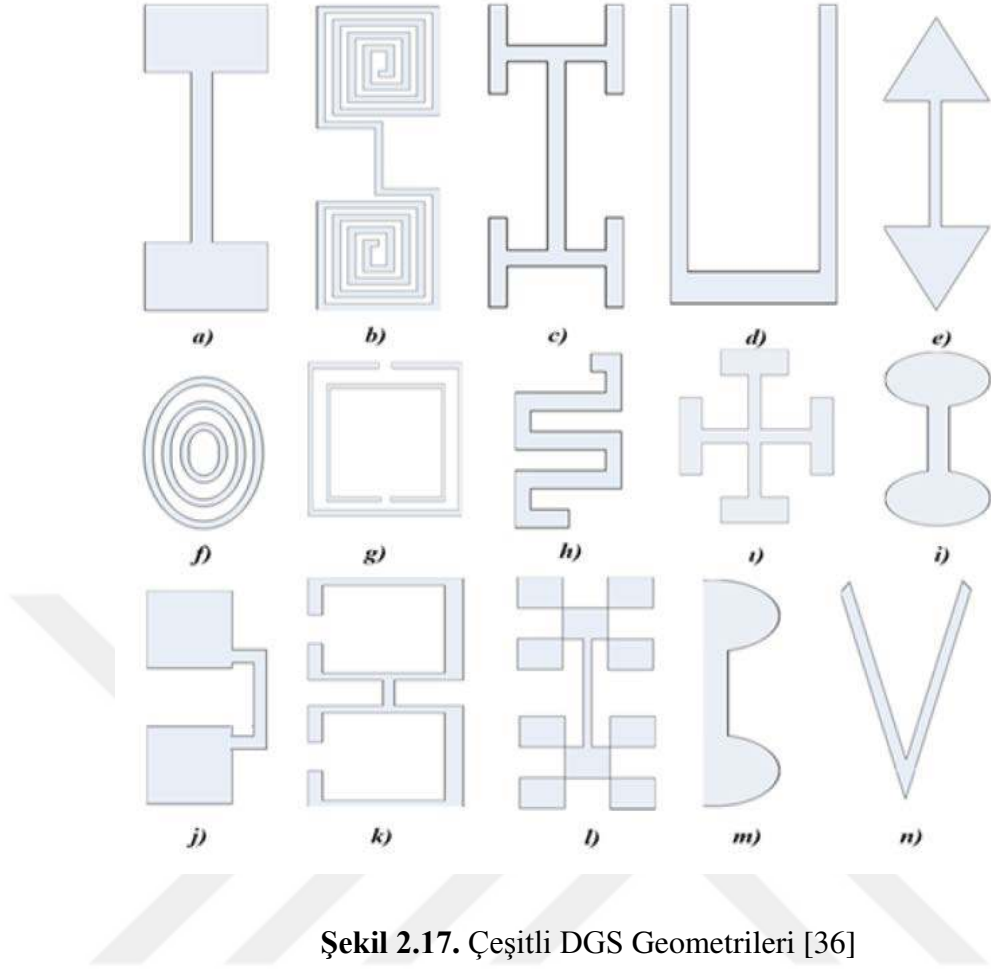
Yapıların temel parametrelere bağımlılığını açıklamak gerekirse; ϵ_r arttıkça enerji daha fazla mikroşerit altında hapsolmakta, istenmeyen EMC sızıntısı azalmakta ve iletim verimi artmaktadır. Bunun yanı sıra taban yüksekliği 'h' milimetreden küçük olmaktadır. Mikroşerit hat karakteristik empedansını belirleyen ana faktör W / h oranıdır. Buradaki 'W' üst mikroşerit hattın genişliğidir. Şekil 2.16.'da farklı dielektrik malzemeler için karakteristik empedansın W/h oranı verilmiştir. Aksi belirtilmedikçe pratikte kullanılan karakteristik empedans 50Ω 'dur.



Şekil 2.16. Farklı ϵ_r Değerleri İçin W/h Oranı

2.5.2. Taban İletkeni Kusurlu Yapılar

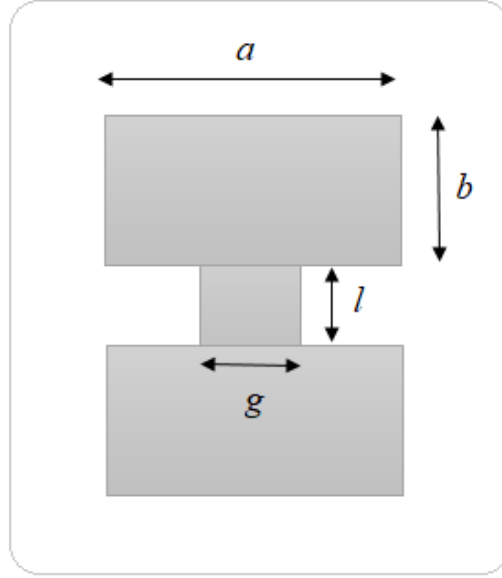
Bir mikroşerit devrede basit veya karmaşık geometrilerin taban iletkenine oyulması yoluyla elde edilen yapılara DGS adı verilmektedir. Bu yapılar ile belli frekanslarda dalga yayılımı önlenebilmektedir. Taban iletkeni kusurlarının (DGS) yapısı tek hücre olarak tasarlanabileceği gibi art arda bağlı kaskat sistemler olarak da tasarlanabilmektedir. U biçimli, halter biçimli, H biçimli, eş merkezli halka, sarmal gibi birçok tasarımı mevcuttur. Şekil 2.17.'da literatürde yer alan DGS geometrileri yer almaktadır.



Şekil 2.17. Çeşitli DGS Geometrileri [36]

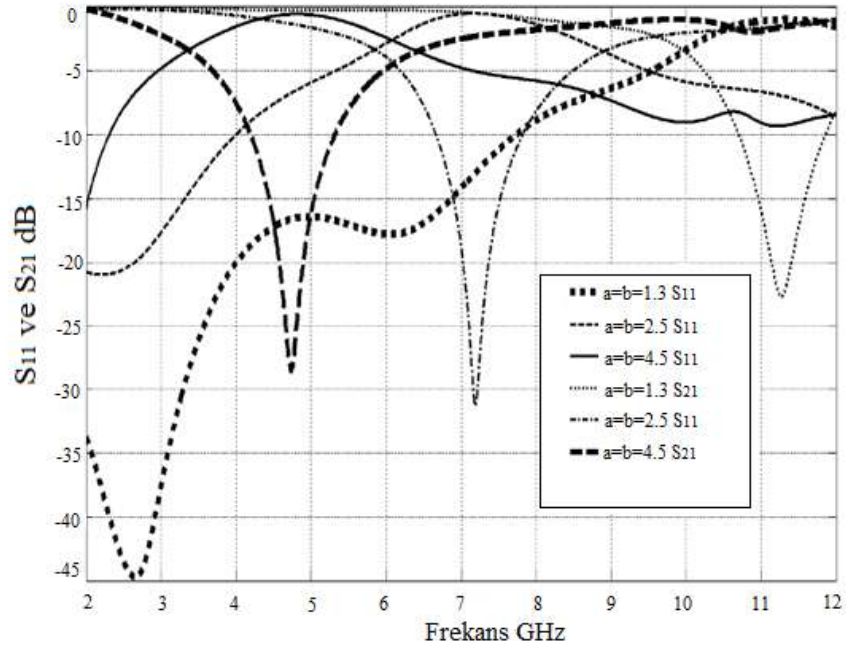
- a) Kare biçimli halter DGS b) sarmal biçimli halter DGS c) H-biçimli halter DGS d) U-biçimli DGS e) ok biçimli halter DGS f) eş merkezli halka biçimli DGS g) ayrık halka rezonatörlü DGS h) menderes tipinde DGS ı) çapraz biçimli DGS i) dairesel biçimli halter DGS j) U yarıkları ile bağlı kare biçimli DGS k) açık döngülü halter DGS l) kesirsel kare DGS m) Halter biçimli yarım çember DGS n) V- biçimli halter DGS

Taban iletkeni kusurlu yapıların mikroşerit filtre üzerindeki etkilerini; taban iletkenineki kusurların sayısı, kusurların kendi aralarındaki mesafesi ve kusurların fiziksel boyutu filtrenin karakteristiğini etkilemektedir. Bu kapsamda taban iletkeni kusurlu mikroşerit yapılar kullanılarak daha küçük boyutta filtreler tasarlanması hedeflenmektedir.



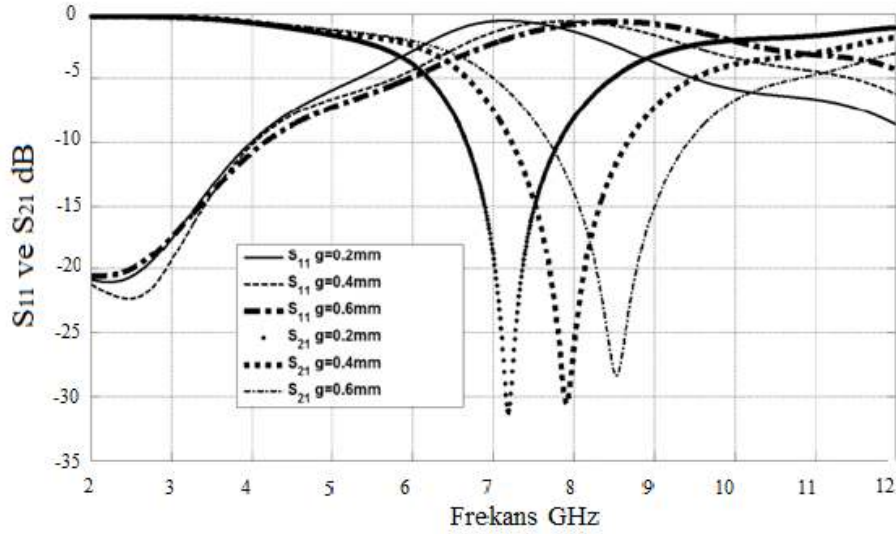
Şekil 2.18. Halter Biçimli DGS Yapısının Geometrisi

Şekil 2.18.’deki yapıda sadece a ve b değerlerini yani L ve C değerleri değişiminde frekans karakteristiği etkisi değişmektedir. Şekil 2.19’de yer alan grafiklerde a ve b değeri arttıkça rezonans ve kesim frekans değerleri daha düşük frekanslara doğru kaydığı gösterilmektedir [36].



Şekil 2.19. Kare Kusurların a ve b Değerlerinin Farklı Uzunluk Değeri İçin Oluşan Frekans Cevabı

Şekil 2.20.'da görüldüğü gibi kare kusurları birbirine bağlayan yolun g genişliği değişimi sonucu rezonans frekansının değişimini sağlamaktadır.



Şekil 2.20. Kare Kusurların Arasındaki g Kusur Yolu Uzunluk Değeri İçin Oluşan Frekans Cevabı

2.6. Süper-Formül

2000 yılında Johan Gielis tarafından süper-formül ortaya çıkartılmıştır. Gielis, bu formül ile Şekil 2.21'deki gibi doğada birçok karmaşık şekli ve eğriyi tanımlamak için kullanılabileceğini söyledi. Süper formül ile oluşturulabilen tüm kalıpların patentini de aldı. Bugüne kadar sadece botanikte değil, birçok uygulamada örneğin mühendislikte bilgisayar bilimi ve diğer alanlarda ki modellemeler Gielis tarafından önerilmiştir. Süper-Formül, Gielis's eğrisi, Gielis's formülü olarak çeşitli adlandırmaları mevcuttur [41].



Şekil 2.21. Gielis Formülü ile Açıklanan Doğal Şekiller [42]

Süper-Formül hem küre hem elips denklemi uzantısıdır. Çember ve kare, elips ve dikdörtgen tümüyle süper elips kümesinin üyeleridir [43].

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{x}{b}\right)^2 = r^2 \quad (2.20)$$

Gielis'in süper-formül denklemi 6 adet parametreye bağlıdır.

$$\frac{1}{r} = \sqrt[n_1]{\left|\frac{1}{a} \cos\left(\frac{m}{4} \theta\right)\right|^{n_2} + \left|\frac{1}{b} \sin\left(\frac{m}{4} \theta\right)\right|^{n_3}} \quad (2.21)$$

r ve θ kutupsal koordinatlar (yarıçap, açı) ise n_1 , n_2 , n_3 ve m gerçekte sayıdır. a ve b sıfır hariç gerçekte sayıdır. M parametresi, şekil üzerine sabitlenmiş nokta, köşeler, sektörler veya oyukların sayısını ve bunların aralıklarını, n_2 ve n_3 ise şeklin birim daireye girip girmeyeceğini belirler [28]. Bu değerlerin değişimlerinin etkisi ise detaylı olarak Şekil2.21'de verilmiştir.

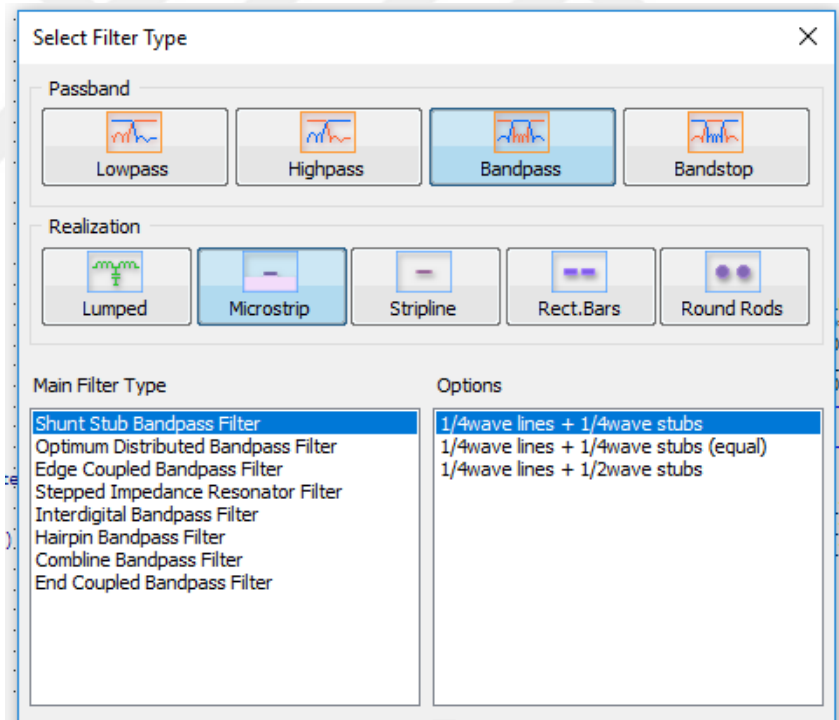
$n1 = n2 = n3 = 1$ olduğunda ilk şekil $m=0$ den başlayarak m'nin 6 ya kadar değişimi sonucunda ortaya çıkan değişimleri göstermektedir		m'nin değişimine karşılık $n1 = n2 = n3 = 0.3$ olarak değiştirilmesinin etkisi aşağıda verilmektedir. Bu değişim n azaldıkça form gittikçe sıkılaşır.		$n1, n2$ ve $n3$'den büyükse şişirilmiş formlar ortaya çıkar		Asimetrik form oluşturmak için farklı n değerleri kullanılmaktadır	$n2$ ve $n3, n1$ den küçük ise daha yumuşak formlar ortaya çıkmaktadır		Super-Formül $m=5$, $n1 = n2 = 1.7$
Super-Formül m'nin değişiminin etkisi		Super-Formül de n değişkenlerinin etkisinin etkisi	Super-Formül de $n1, n2$ ve $n3$'den büyük olma durumu $n1 = 40, n2 = n3 = 10$	Super-Formül $n1 = 60, n2 = 55, n3 = 30$ olma durumu		Asimetrik form oluşturmak için farklı n değerleri kullanılmaktadır	$n2$ ve $n3, n1$ den küçük ise daha yumuşak formlar ortaya çıkmaktadır		Super-Formül $m=5$, $n1 = n2 = 1.7$

Şekil 2.22. Süper-Formül Parametrelerinin Değişiminin Etkisinin Sonuçları [44]

3. MATERİYAL VE YÖNTEMLER

3.1 Filtre Tasarımı ve Benzetimi

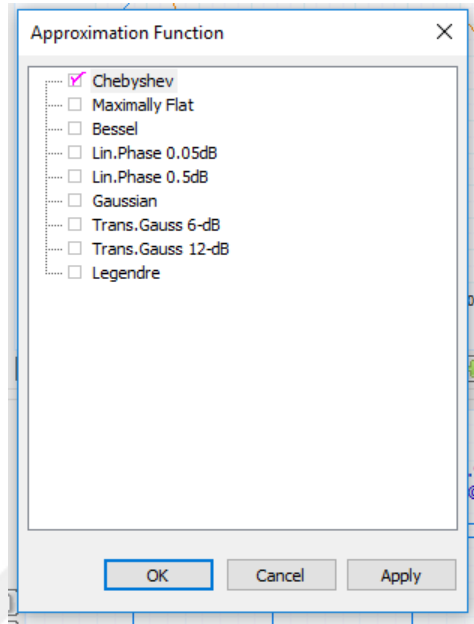
Bu çalışmanın amacı Araya girme kaybı yöntemi ile Chebshev modeli kullanılarak geniş bantlı mikroşerit filtre tasarımıdır. Temel filtre yapısını oluşturmak için AWR programı tercih edilmiştir. Bu program ile istenilen filtre tipi, yaklaşım metodu, filtre derecesi, kesim frekansı bant genişliği gibi önemli bilgiler girilerek filtrenin benzetimi yapılarak istenilen filtre cevabının elde edilip edilemeyeceği hesaplanmaktadır. Filtre dielektrik malzemesi belirlendikten sonra Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi tasarlanmak istenen filtre tipi ve yapısı seçilir. Bant geçiren filtre (bandpass) ve mikroşerit yapı (microstrip) seçilmiştir. Ana filtre tipi (Main Filter Type), Paralel Saplmalı Bant Geçiren Filtre (Shunt Stub Band Pass Filter) (SSBP) olarak seçilmiştir, opsiyon olarak da “1/4wave lines + 1/4wave” stubs seçilmiştir.



Şekil 3.1. Filtre Tipinin Belirlenmesi

Filtre tipinin belirlenmesinin ardından önemli bir işlem basamağı ise filtrenin hangi filtre yaklaşımına göre yapılacağına karar verilmesidir. Çeşitli filtre yaklaşımları Şekil 3.2. verilmiştir. Bizim amacımız 0.5dB dalgalanma seviyesinde Chebyshev

yaklaşımıdır. Daha sonra ise kesim frekansı ve bant genişliği belirtilerek analiz modeli oluşturulur.



Şekil 3.2. Filtre Yaklaşım Çeşitleri

3.2 Pasif Devre Elemanları ile Filtrenin Devre Topolojisi

Tezin bu bölümünde AWR programında iki adet bant geçiren olmak üzere tasarım yapılmıştır. Tasarımlar oluşturulurken ilgili filtre prototipi, filtre derecesi, kesim frekansı, giriş çıkış empedansları tasarımın amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır. Bu çalışmalardaki birinci hedef UWB genişliğine sahip, 5G teknolojisi kapsamında kullanılmak üzere UWB filtre tasarımıdır. Tasarımda kullanılacak dielektrik malzemesi RO3035 seçilmiştir.

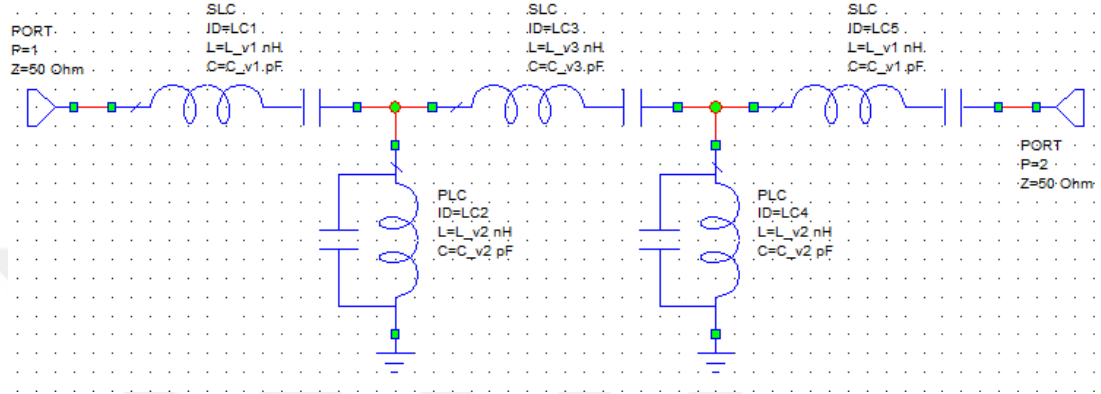
3.2.1. Bant Geçiren Filtre Tasarımı

Tasarımın birinci aşamasında pasif devre elemanları kullanılarak 5. dereceden 0.5 dB’lik dalgalanma seviyeli Chebyshev modeliyle Tablo 3.1.’de olduğu gibi 8 GHz merkez frekansına sahip UWB’lı bant geçiren filtre hesaplanmış ve AWR programı ile simülasyonu Şekil 3.3’deki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 3.1. Pasif devre elemanları kullanılarak Merkez Frekansı 8 GHz olan UWB,

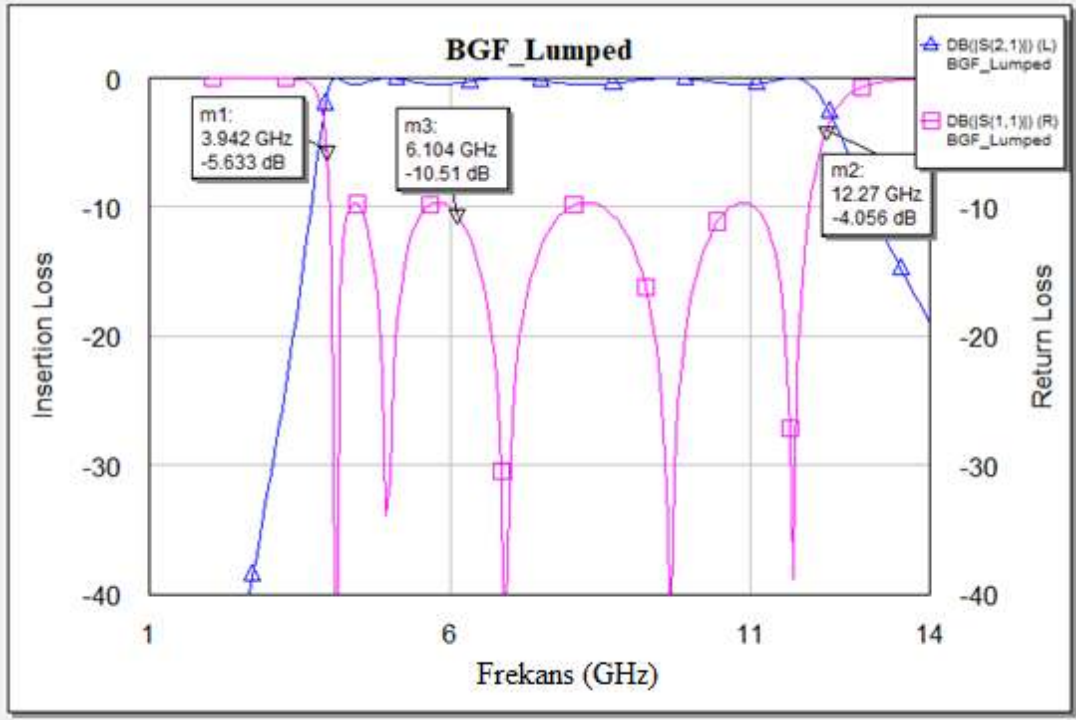
5. Dereceden Bant Geçiren Filtre Değerleri

Endüktör (nH)		Kondansatör (pF)	
L 1	1.69	C 1	0.31
L 2	0.79	C 2	0.49
L 3	2.53	C 3	0.21



Şekil 3.3. Pasif Devre Elemanları Kullanılarak Merkez Frekansı 8 GHz olan UWB 5.Dereceden BGF'nin AWR Programında Devre Modeli.

Simülasyon sonucunda Araya Girme Kaybı (S21 (dB)) ve Geri Dönüş Kaybı (S11 (dB)) grafikleri Şekil 3.4.'de elde edilmiştir. Filtrenin fiziksel boyutları ise 381.98x16.93mm olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.4. Merkez Frekansı 8 GHz Olan UWB, 5. Dereceden BGF İçin Araya Girme Kaybı (S21) ve Geriye Dönüş kaybı grafikleri (S11)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Mikroşerit filtre tasarımını oluşturabilmek için Bölüm 3’de pasif devre elemanları kullanılarak temel tasarımları oluşturulan filtreler, Richard’s Dönüşümü ve Kurudo özdeşlikleri aracılığı ile mikroşerit yapıya dönüştürüldü.

Mikroşerit filtreyi oluştururken kalınlığı 0.76 mm, dielektrik sabiti 3.5 olan FR-4 ve Rogers markasının RO3035 malzemesi kullanılmıştır. RO3035 malzemesinin seçilmesini nedeni yüksek frekanslı uygulamalar için gelişmiş elektriksel ve mekanik kararlılık sağlamasıdır. FR4 ise oldukça dayanıklı olan bir malzemedir. Nemli ortamlarda da özelliğini kaybetmemesi, mekanik sarsıntılara dayanıklı olması, temin edilmesi kolay uygun fiyatlı olması avantajları arasındadır.

4.1. AWR Programı ile Mikroşerit Filtre Tasarım ve Analiz

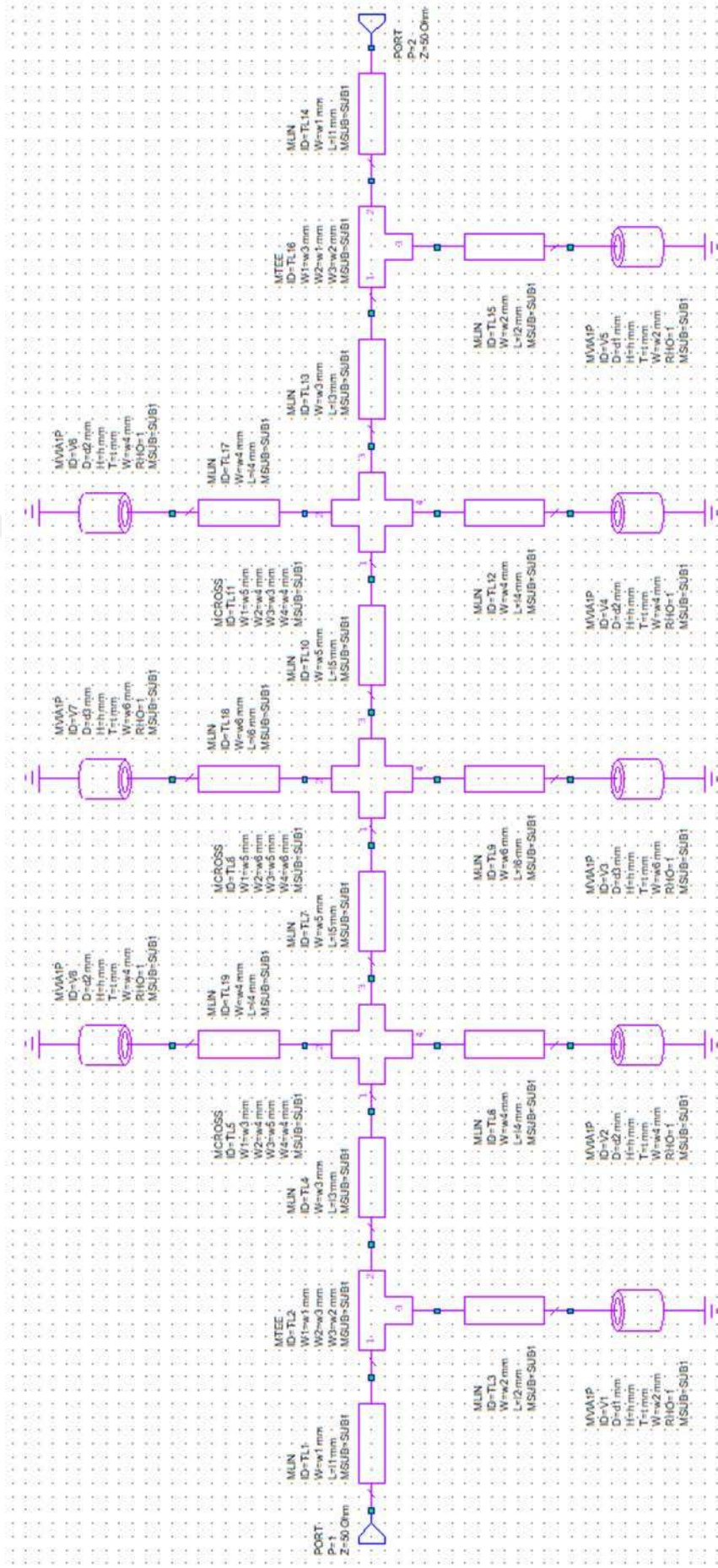
Bant Geçiren Filtre için ilk basamakta 8 GHz merkez frekansına sahip mikroşerit yapı hesaplanmıştır. Tasarımda SSBP yapısı kullanılmış, yükün kısa devre yapısı toprakla 8 adet içi iletken kaplı delikler (via) ile sağlanmıştır. Chebyshev modeliyle BGF mikroşerit yapı fiziksel değerleri Tablo 4.1.’de RO3035 ve FR4 dielektrik materyallerinin özellikleri Tablo 4.2.’de verilmiştir. AWR programında hazırlanan devre modeli Şekil 4.1.’de gösterilmektedir. 2-Boyuttaki mikroşerit yapı Şekil 4.2.’de yer almaktadır. Mikroşerit bant durduran filtre için Araya Girme Kaybı (S21) ve Geriye Dönüş kaybı grafikleri (S11) sonuçları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4.’da gösterilmektedir.

Tablo 4.1. 5. Dereceden Chebyshev Modeliyle BGF Şeritlerin Fiziksel Boyutları

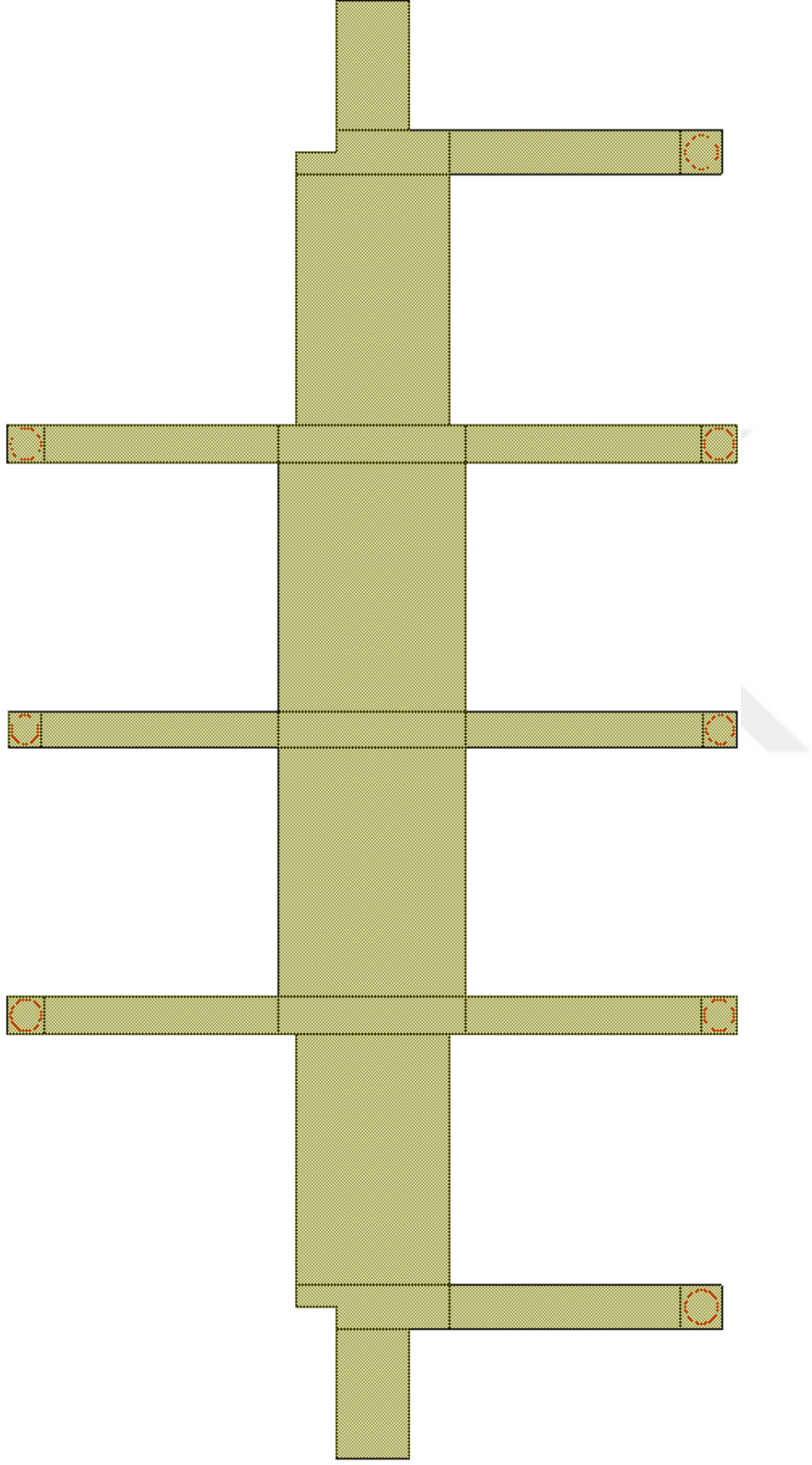
w1	1.7060	11	2.8243
w2	0.9639	12	5.2907
w3	3.5926	13	5.4764
w4	0.8708	14	5.3571
w5	4.3554	15	5.4337
w6	0.7790	16	5.5092

Tablo 4.2. Dielektrik Malzeme Özelliği

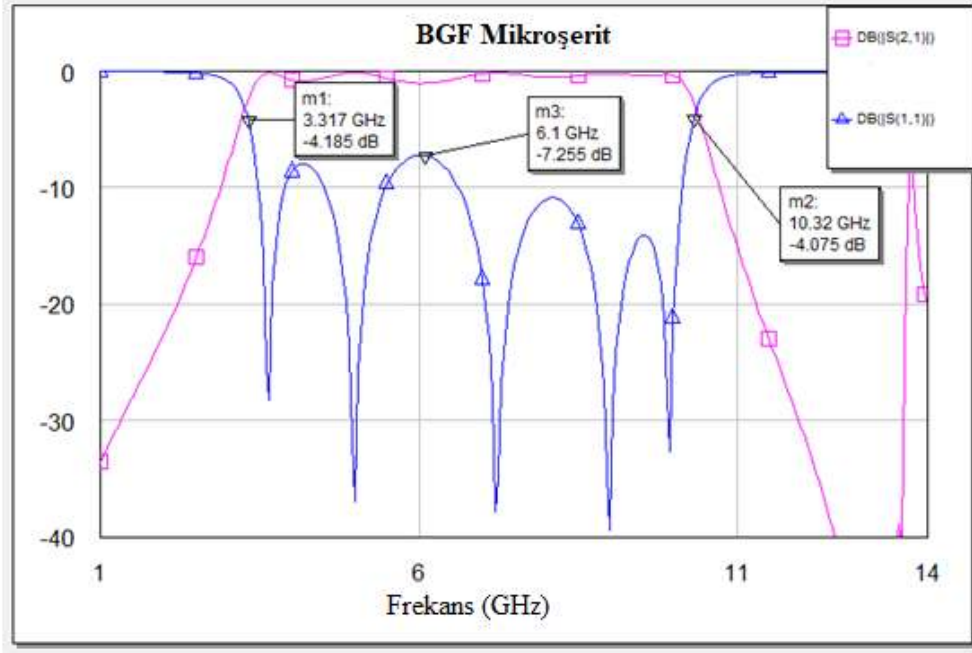
	RO3035	FR4
ϵ_r	3.5	4.4
T (mm)	0.035	0.035
H (mm)	0.76	0.76
δ_d	0.0017	0.02
Rho	1	1



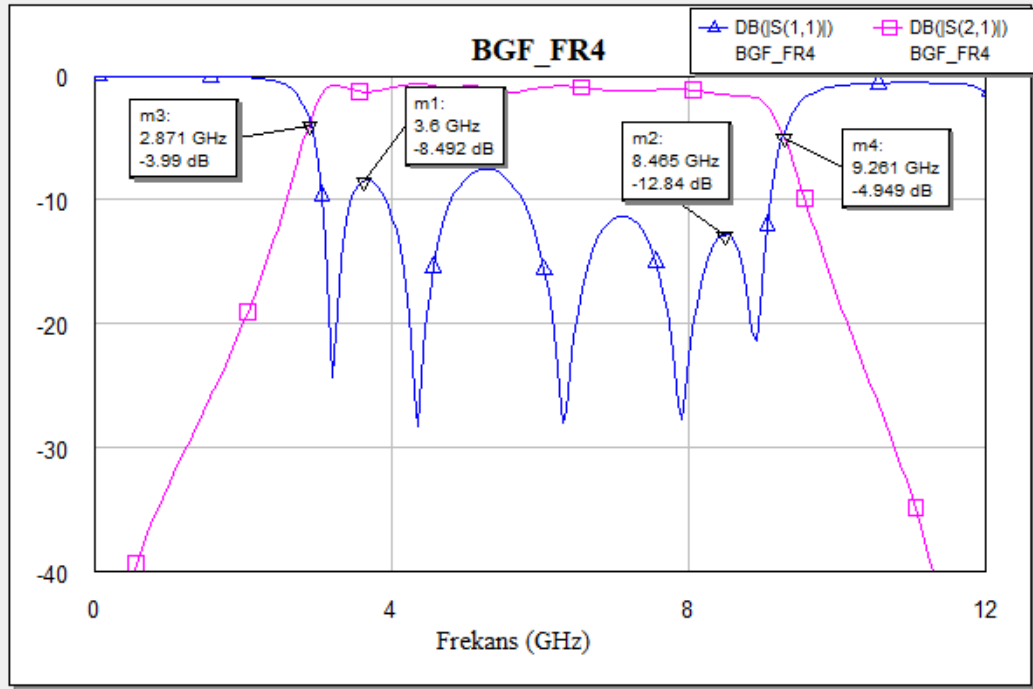
Şekil 4.1. AWR Programında BGF Mikroşerit Tasarımı İçin Chebyshev Yaklaşımı ve SSBP Modeliyle BGF'nin AWR Programındaki Devre Modeli



Şekil 4.2. AWR Programında BGF Mikroşerit tasarımı için Chebyshev yaklaşımı SSBP modeliyle BGF 2-Boyutlu Mikroşerit Yapısı



Şekil 4.3. Mikroşerit Bant Geçiren Filtre Dielektrik Malzemesi RO3035, AWR Programındaki Araya Girme Kaybı (S21) ve Geriye Dönüş Kaybı Sonuçları (S11) Pembe Çizgi-S21(dB), Mavi Çizgi-S11(dB) Değerlerini Göstermektedir.

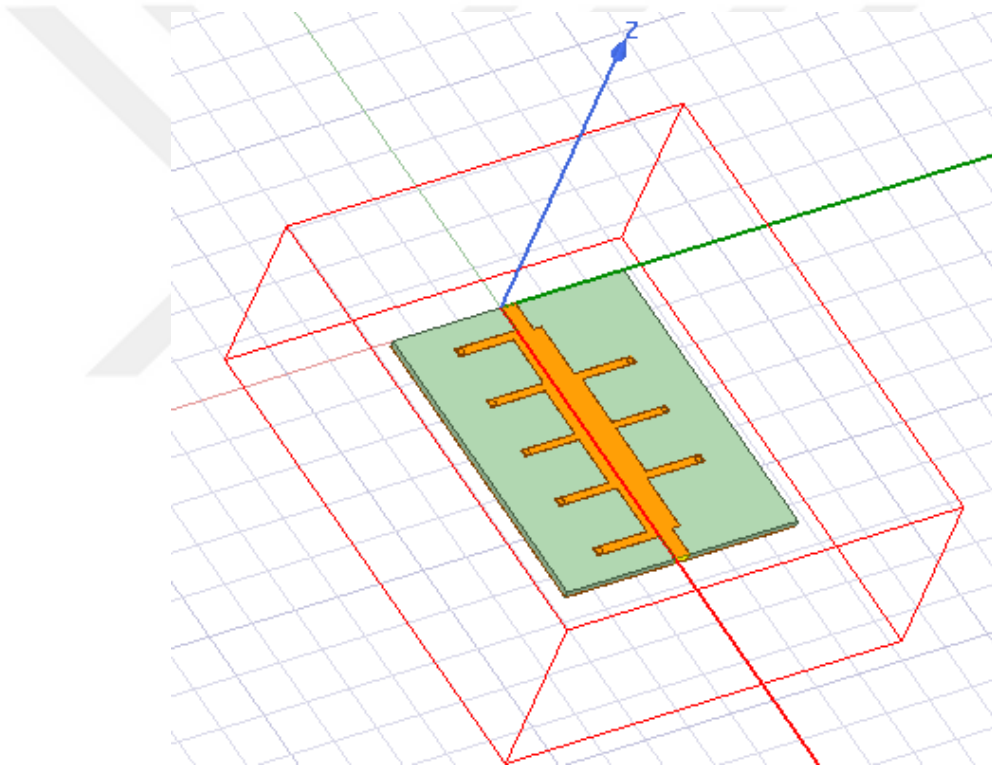


Şekil 4.4. Mikroşerit Bant Geçiren Filtre Dielektrik Malzemesi FR4, AWR Programındaki Araya Girme Kaybı (S21) ve Geriye Dönüş Kaybı Sonuçları (S11) Pembe Çizgi-S21(dB), Mavi Çizgi-S11(dB) Değerlerini Göstermektedir.

RO3035 ve FR4 dielektrik malzeme kullanılarak oluşturulmuş, bant geçiren geniş bantlı filtrenin cevapları verilmiştir. Dielektrik materyal değişimi şekillerde görüldüğü gibi bant geçirme frekansı sınırlarını yaklaşık olarak %8 oranında değiştirmiştir. Malzemede ϵ_r arttıkça bant geçirme sınırları daha alçak frekanslara doğru kaymaktadır.

4.2. HFSS Programı ile Mikroşerit Filtre Tasarım ve Analiz

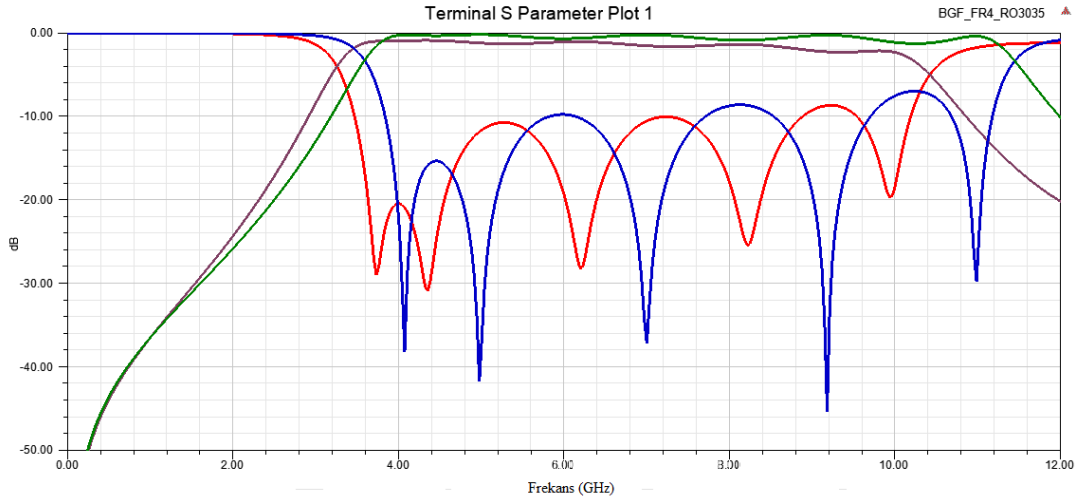
Bant Geçiren Filtre için Şekil 4.5’de HFSS programında simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu benzetim sonuçlarının AWR ile yaklaşık olarak uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.5. Bant Geçiren Filtrenin HFSS Programında Modellenmesi

RO3035 ve FR4 dielektrik malzemeleri kullanılarak bant geçiren filtre yapıları HFSS programında modellenip, port bağlantıları yapılarak ışıma alanı oluşturulmuştur. Analizleri tamamlanan filtrelerin sonuçları ise Şekil 4.6.’da yer almaktadır. HFSS programından elde edilen sonuçların da AWR’ a kıyasla çok yakın bir benzerlik gösterdiği ve RO3035 taban malzemesi ile oluşturulan yapının FR4’ e

oranla yaklaşık olarak % 8 düzeyinde daha geniş bir bant aralığı sağladığı hesaplanmıştır.



Şekil 4.6. RO3035 ve FR4 dielektrik malzemeleri kullanılarak oluşturulan BGF'nin HFSS programında Araya Girme Kaybı (S21) ve Geriye Dönüş Kaybı (S11) grafikleri. RO3035 için yeşil çizgi-S21(dB), mavi çizgi-S11(dB) değerlerini ve FR4 için mor çizgi-S21(dB), kırmızı çizgi-S11(dB) göstermektedir.

4.3. Süper-Formül ile DGS Tasarımı ve Analizi

Geniş bir kullanım alanı olan mikroşerit filtre tasarımları taban iletkeni kusurlu yapılar kullanılarak oluşturulmuştur. 5G teknolojilerinde kullanılan frekans bandını da içeren UWB-BGF tasarımını oluşturacak şekilde, amaç fonksiyonları belirlenmiştir. Taban iletkeni kusurlu yapılar kullanılarak; filtrenin fiziksel boyutlarının küçültülmesi, düşük araya girme kaybı, bant genişliğini arttırma gibi özellikler istenmektedir. Bu bölümünde Süper-Formül ile DGS yapısı oluşturulup, etkileri incelenmiştir.

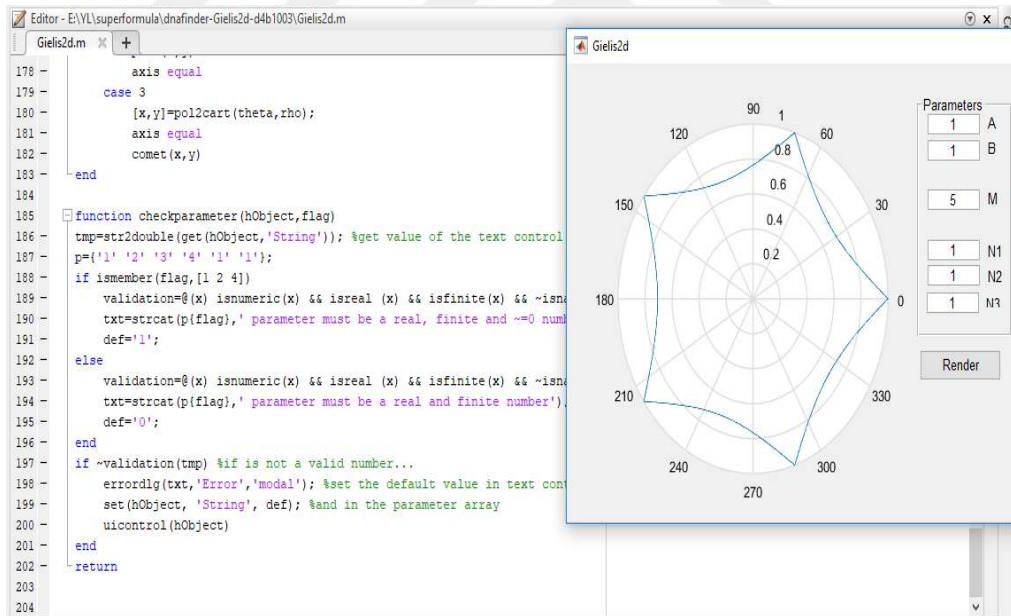
4.3.1. Taban İletkeni Kusuru için Süper-Formül ile Model Tasarımı

Filtre yapılarımızda Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi Süper-Formül ile doğada yer alan bir çiçekten esinlendik. Tasarım için temel aldığımız çiçek beşgen yapıdan oluşan ipomea kakhaha çiçeğidir.



Şekil 4.7. Süper-Formül ile Benzetimi Yapılan *Ipomea* (Kahkaha Çiçeği)

Süper-Formül ile aynı şekli oluşturabilmek için MATLAB programı kullanıldı. Şekil 4.8’da MATLAB formülü ile beşgen çiçek modeli oluşturulmuş hali yer almaktadır. Süper-Formül de kullanılacak 6 adet parametrenin değeri; $a=1$, $b=1$, $m=5$, $n_1=n_2=n_3=1$ olarak seçilmiştir.

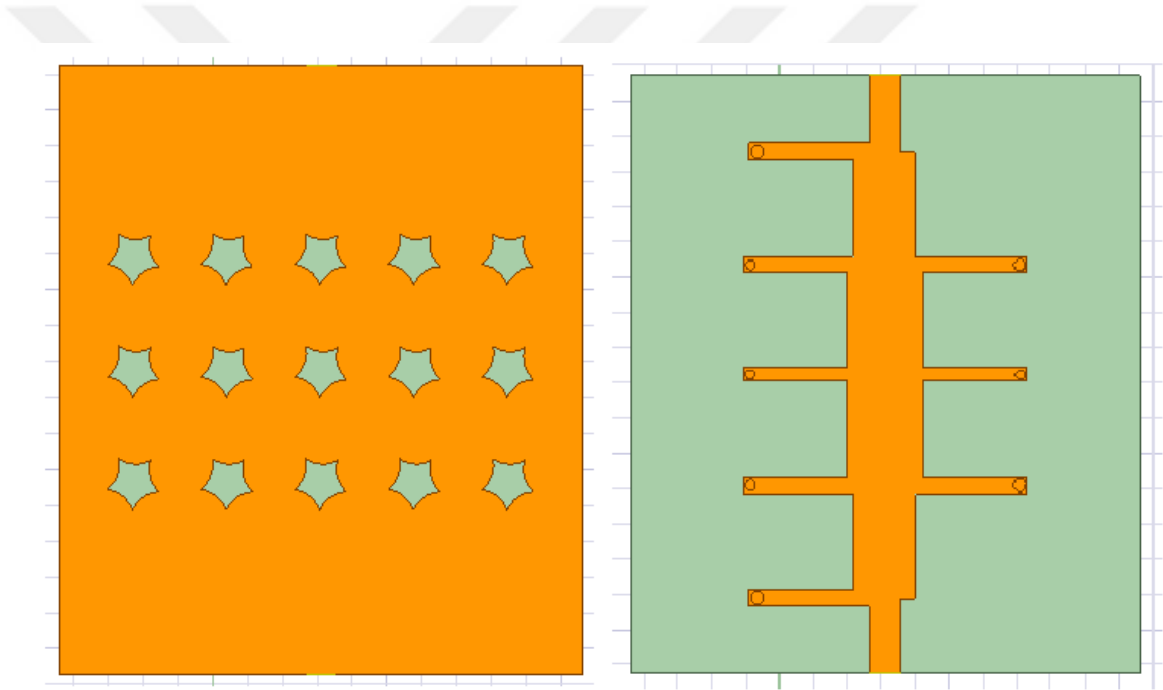


Şekil 4.8. MATLAB da Giels’in Süper-Formülü

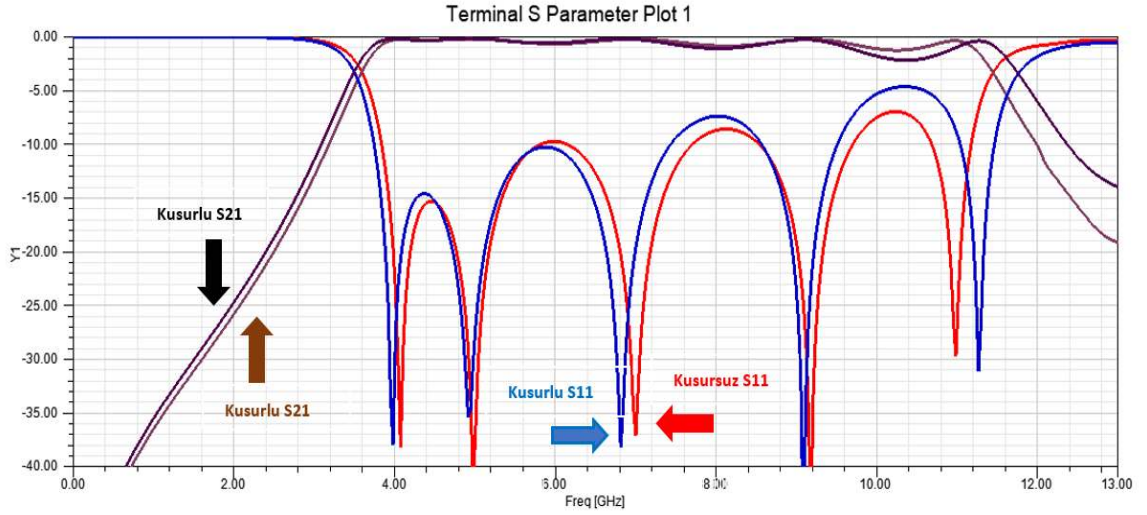
4.3.2. Taban İletkeni Kusurlu Bant Geçiren Fitre Analizi

Bu aşamaya kadar, temel iletkene kusur açılmadan mikroşerit filtre tasarlamak için çalışmalar yapılmıştı. Mevcut aşamada, tasarlanan mikroşerit filtrenin, Süper-Formül ile Benzetimi Yapılan Modelin şekline göre çeşitli sayıda kusurlar açılarak frekans karakteristiğine etkileri incelenmiştir.

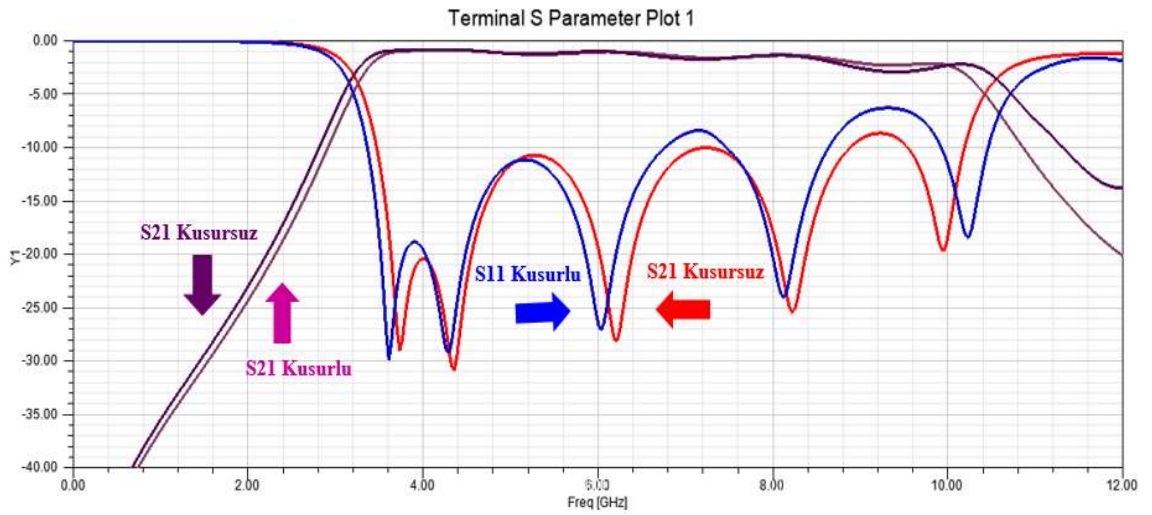
İlk olarak analizi gerçekleştirilen filtre yapısında, 15 adet Süper-Formül ile benzetimi yapılan kusurların tasarım modeli Şekil 4.9'da ve karşılaştırmalı etkisi RO3035 için Şekil 4.10.'de FR4 için Şekil 4.11.'de yer almaktadır. Sonuçlar incelendiğinde taban iletkenindeki kusurlu yapıların oluşturulması bant genişliğinin arttırılmasında olumlu yönde katkı sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.9. a) Bakır Yüzey Üzerine Düzenli Şekilde Dağıtılmış Kusurlar b) 15 Adet Kusur ile Yeniden Tasarlanmış Mikroşerit Bant Geçiren Filtre

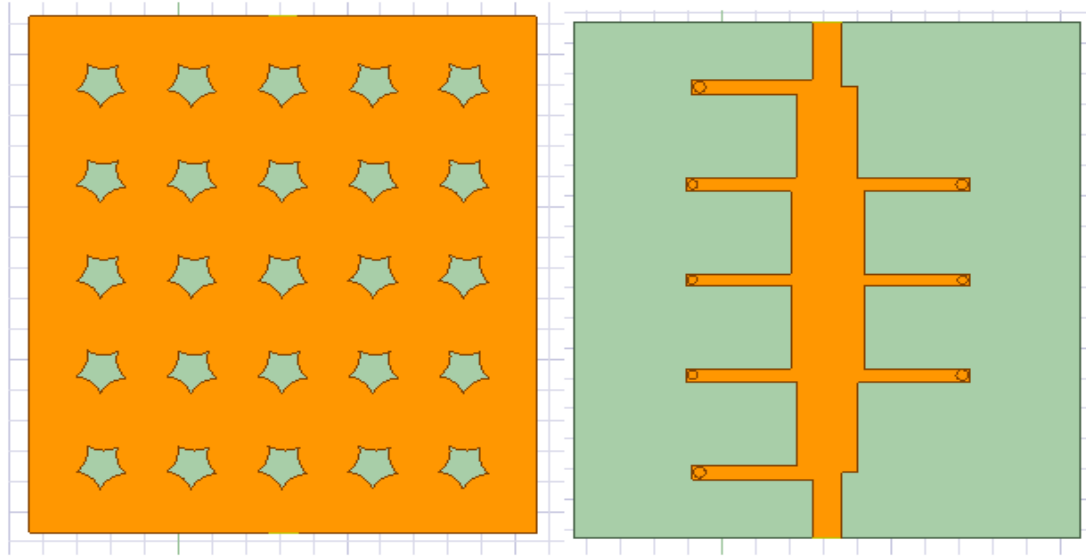


Şekil 4.10. RO3035 Dielektrik Malzemesi Kullanılan BGF Taban iletkeni Kusurlu ve Kusursuz Karşılaştırılması



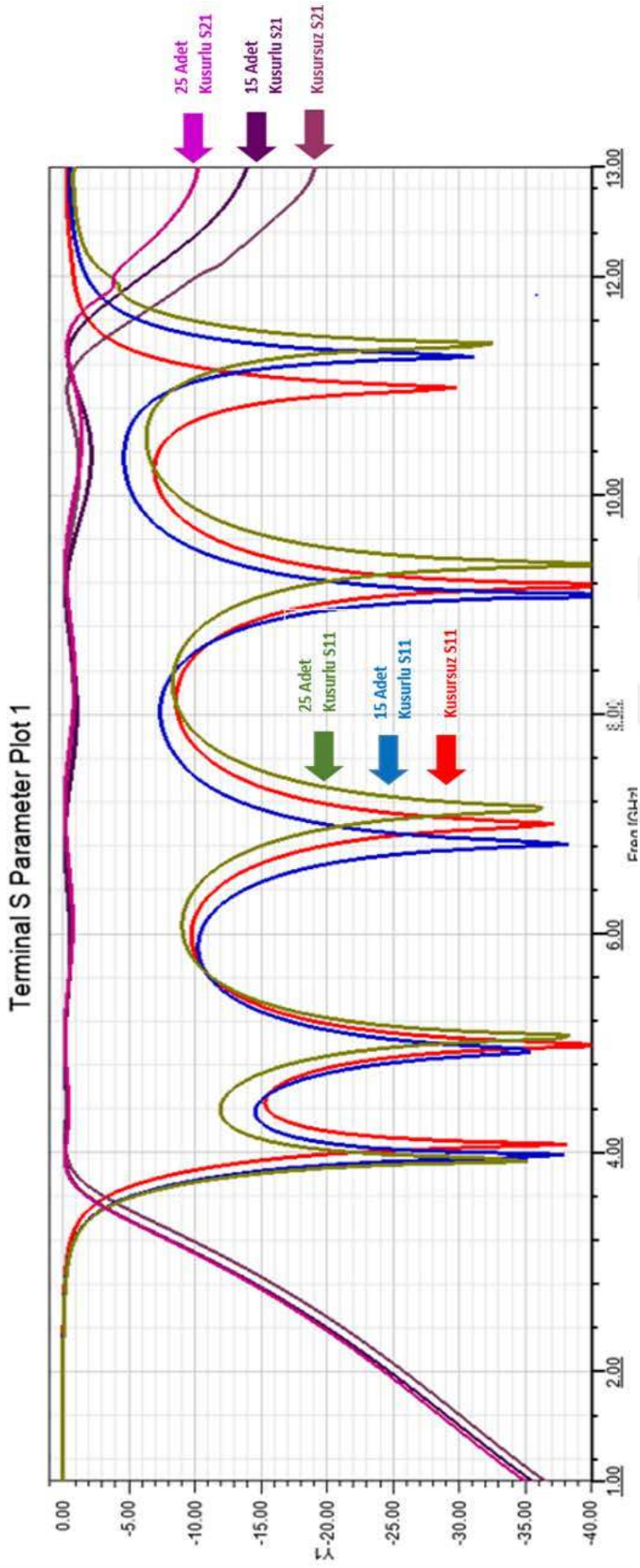
Şekil 4.11. FR4 Dielektrik Malzemesi Kullanılan BGF Taban iletkeni Kusurlu ve Kusursuz Karşılaştırılması

İkinci olarak analizi gerçekleştirilen filtre yapısında ise 25 adet Süper-Formül ile benzetimi yapılan kusurların tasarım modeli Şekil 4.12.'de yer almaktadır.

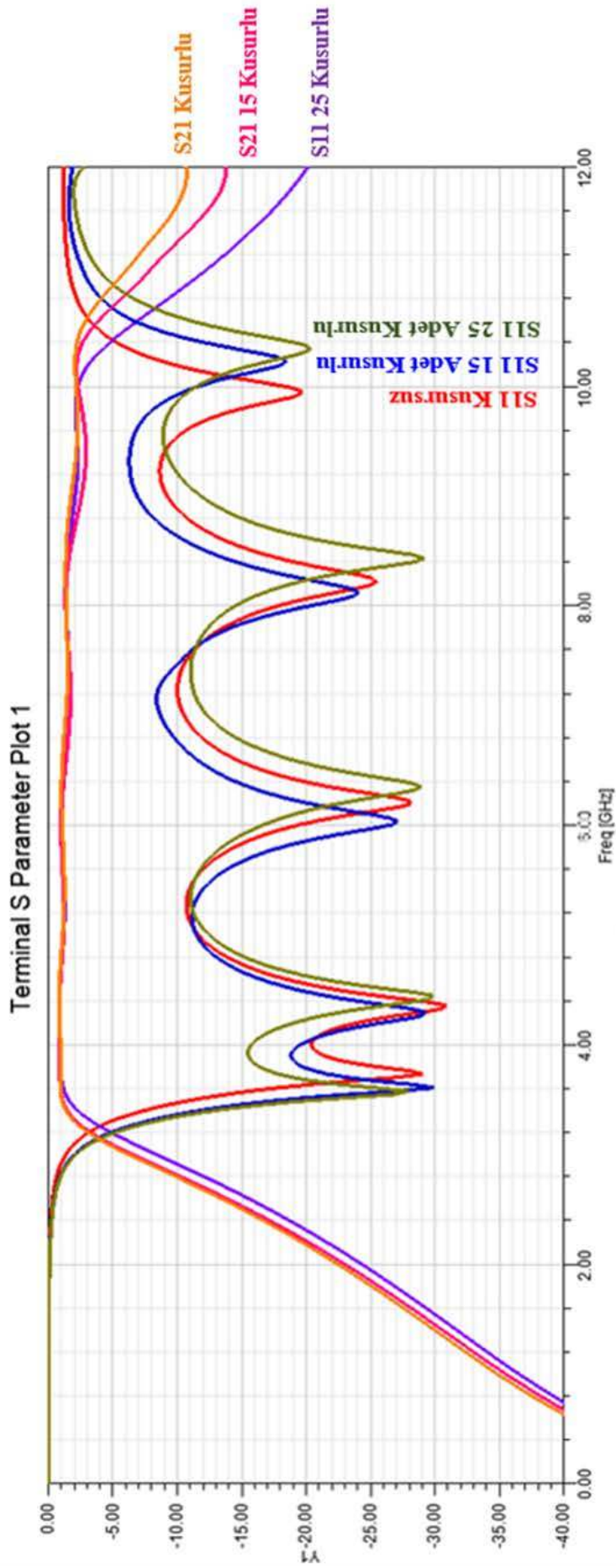


Şekil 4.12. 25 Adet Kusur ile Yeniden Tasarlanmış Mikroşerit BGF

Taban iletkenine açılan kusur sayısının arttırılması ile frekans değişimi RO3035 için Şekil 4.13.'de FR4 için Şekil 4.14.'de yer almaktadır. HFSS programında oluşturulan tasarımların grafiksel sonuçlarında taban iletkeninde kusur sayısının arttırılması ile doğru orantılı olarak bant genişliğinin arttığı görülmektedir. Bu değerlerin daha iyi anlaşılması için Tablo 4.3. te, oluşturulan bütün yapılar için bant genişliklerinin kıyaslanması yer almaktadır. Kullanılan malzemenin etkileri ve aynı zamanda oluşturulan taban iletkeni kusurlu yapıların bant genişliğine katkıları açık bir şekilde tabloda ifade edilmektedir.



Şekil 4.13. RO3035 Dielektrik Malzemesi Kullanılan BGF Yapısının Kusursuz Yapının S_{11} (dB)-Kırmızı, S_{21} (dB)-Mor/15 Adet Kusurlu Yapının S_{11} (dB)-Mavi, S_{21} (dB)-Yeşil/25 Adet Kusurlu Yapının S_{11} (dB)-Mor, S_{21} (dB)-Sarı



Şekil 4.14. FR4 Dielektrik Malzemesi Kullanılan BGF Yapısının Kusursuz Yapının S11(dB)-Kırmızı, S21(dB)-Turuncu/15 Adet Kusurlu Yapının S11(dB)-Mavi, S21(dB)-Pembe/25 Adet Kusurlu Yapının S11(dB)-Yeşil, S21(dB)-Mor

Tablo 4.3. Dielektrik Malzemelerin Etkisine Göre Modellerin Karşılaştırma Tablosu

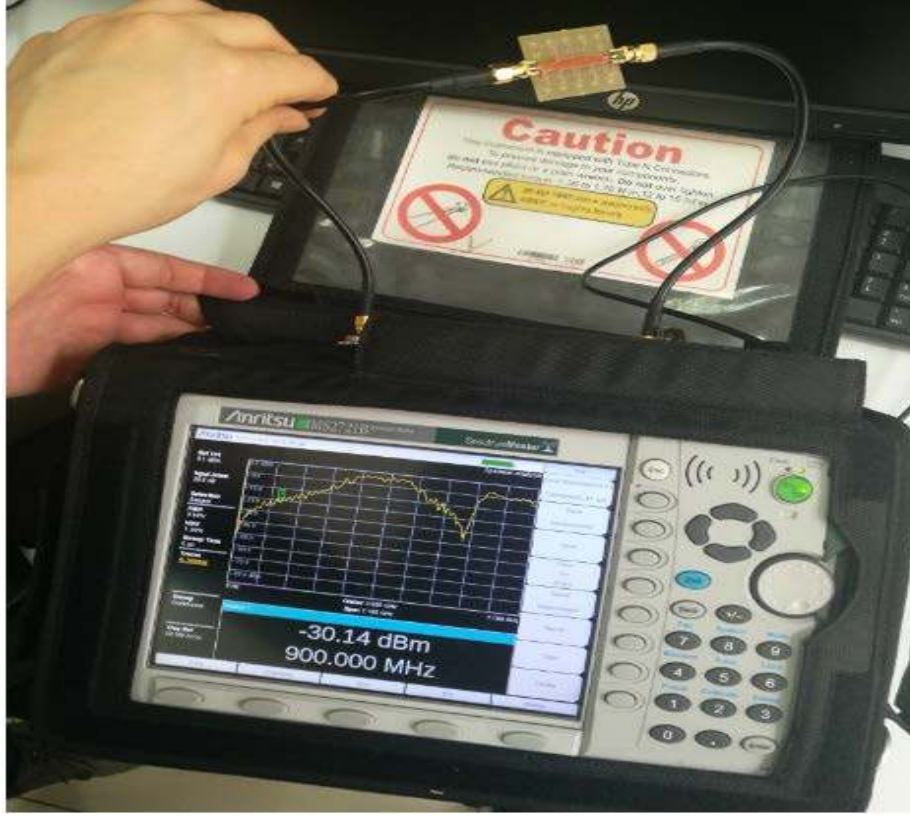
Filtre Özelliği	Kusursuz	15 Adet Kusurlu	25 Adet Kusurlu
RO3035 İçin Bant Genişliği (GHz)	$\approx 7,68$	$\approx 8,06$	$\approx 8,4$
FR4 İçin Bant Genişliği (GHz)	$\approx 7,10$	$\approx 7,47$	$\approx 7,72$

Sonuç olarak, bu tasarımda bir Chebshev fonksiyonu ile bant geçiren mikroşerit filtre tasarımı yapılmış ve frekans karakteristiğini incelemek ve iyileştirmek için süper-formül ile kakhaha çiçeği modeli, taban iletkenine kusur olarak eklenmiştir. Buradaki kritik nokta, filtre tasarımı geliştirmek için uygun DGS geometrilerini seçmektir.

4.4 Filtrenin Üretimi ve Testi

Filtre tasarımlarının üretilmesi için AWR programında 3-Boyutlu yapısı modellenmiş, Gerber RS-274X formatına dışarıya aktarımı sağlanmıştır. Buradaki Gerber çıktıları ile PCB üretimi tamamlanmıştır. 3 adet filtre modeli oluşturulmuştur. Birinci filtre taban iletkeni kusursuz, ikinci filtre taban iletkeninde 15 adet super-formül ile kusurlu ve üçüncü filtre taban iletkeninde 25 adet süper-formül ile oluşturulan kusur vardır. Bu üç modelin karşılaştırılması yapılacaktır.

Üretilen Bant Geçiren Mikroşerit Filtrenin ölçümleri ise Doç. Dr. Merih Palandöken Hocamızın ve Cem Göçen Hocamızın desteği ile İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi RF Elektroniği ve Haberleşme Laboratuvarında alınmıştır. Ölçüm için Şekil 4.16 de Geriye dönüş kaybı (S11(dB)) sonuçları alınmıştır ve Şekil 4.15.'da görüldüğü gibi ANRITSU MS2721B Spektrum Analizör cihazı kullanılarak filtrenin Araya Girme Kaybı (S21(dB)) ölçülmüştür.

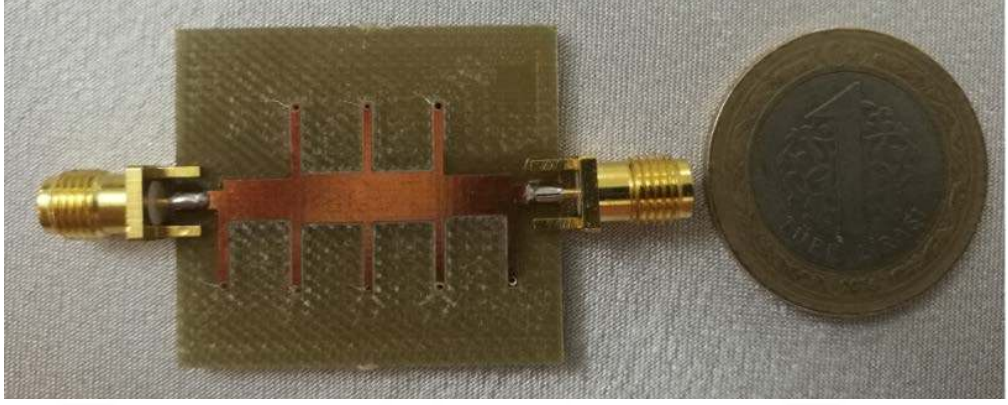


Şekil 4.15. ANRITSU MS2721B Spektrum Analizör Cihazı ile S21 Değerleri Filtre Ölçümü



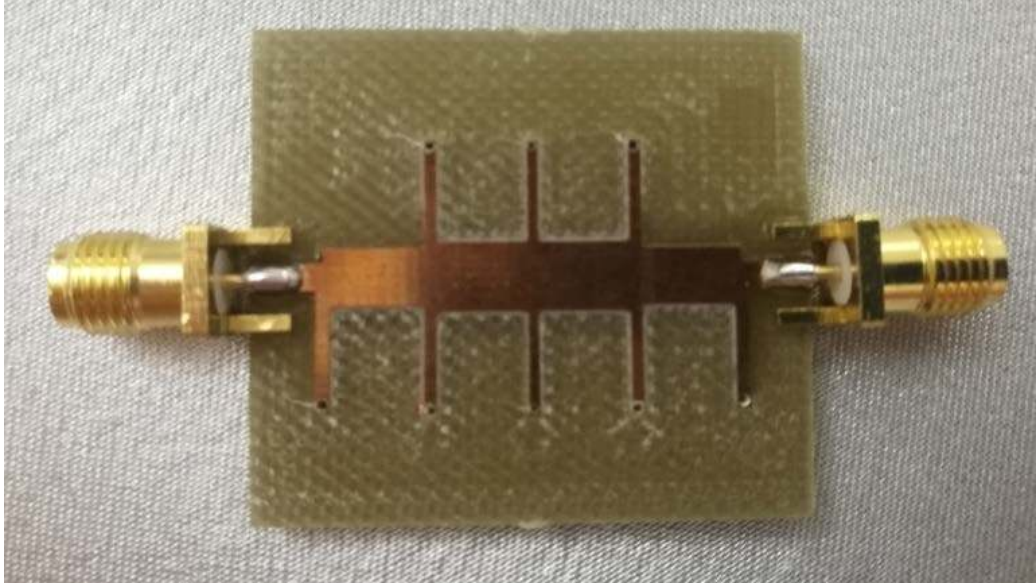
Şekil 4.16. S11 Değerleri Filtre Ölçümü

Filtrelerin fiziksel boyutları ise Şekil 4.17.'de gösterildiği gibi 2,2cmx2,9cm olarak üretilmiştir. Deneysel sonuçların alınabilmesi için filtrenin her iki ucuna SMA dişi konnektör bağlantısı yapılmıştır.



Şekil 4.17. BGF Fiziksel Boyutlarının 1 TL İle Karşılaştırılması

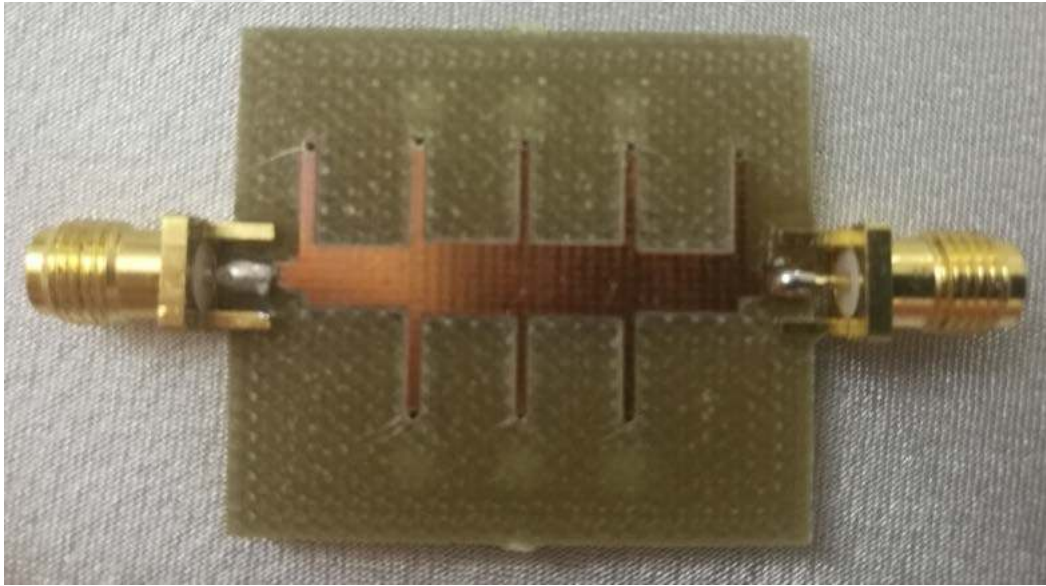
Üretimi tamamlanan üç adet filtre modelleri Şekil 4.18.'den Şekil 4.23.'e kadar yer almaktadır.



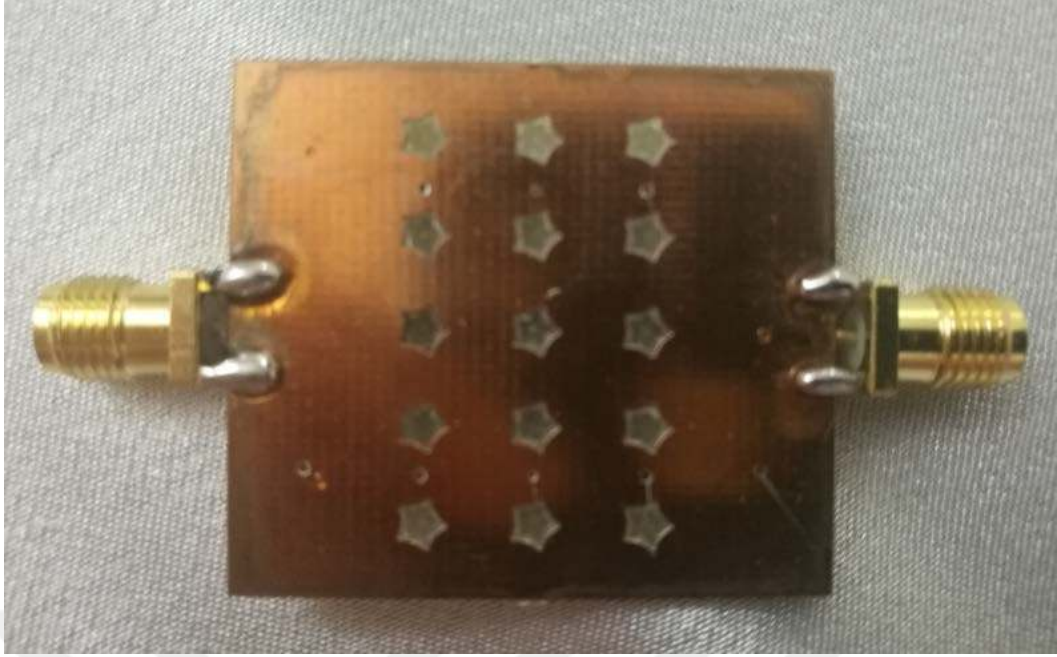
Şekil 4.18. Mikroşerit BGF Taban İletkeni Kusuruz Yapıdaki Filtrenin Üst Yüzeyindeki Tasarım



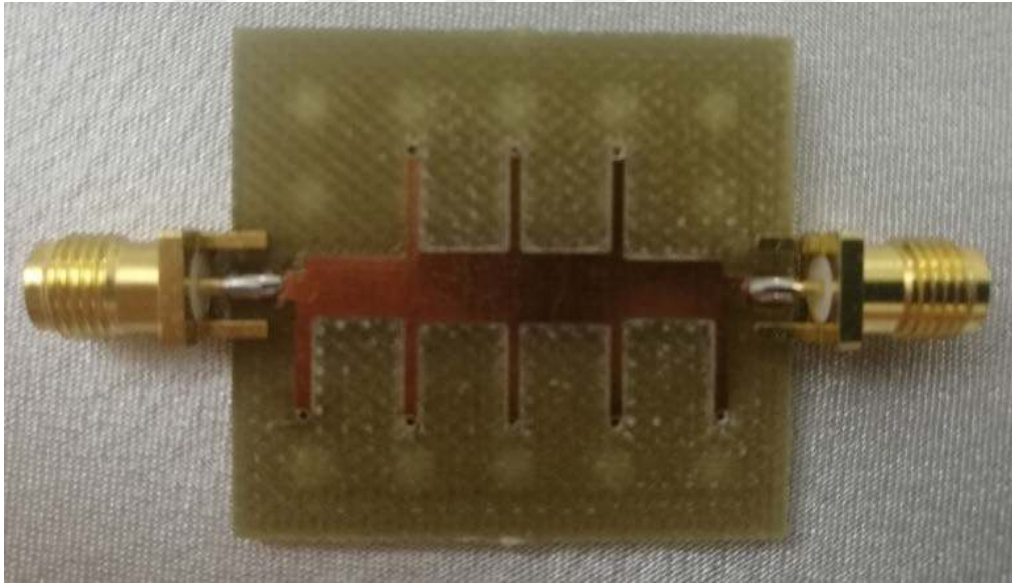
Şekil 4.19. Mikroşerit BGF Taban İletkeni Kusuruz Yapıdaki Filtrenin Alt Yüzeyindeki Tasarım



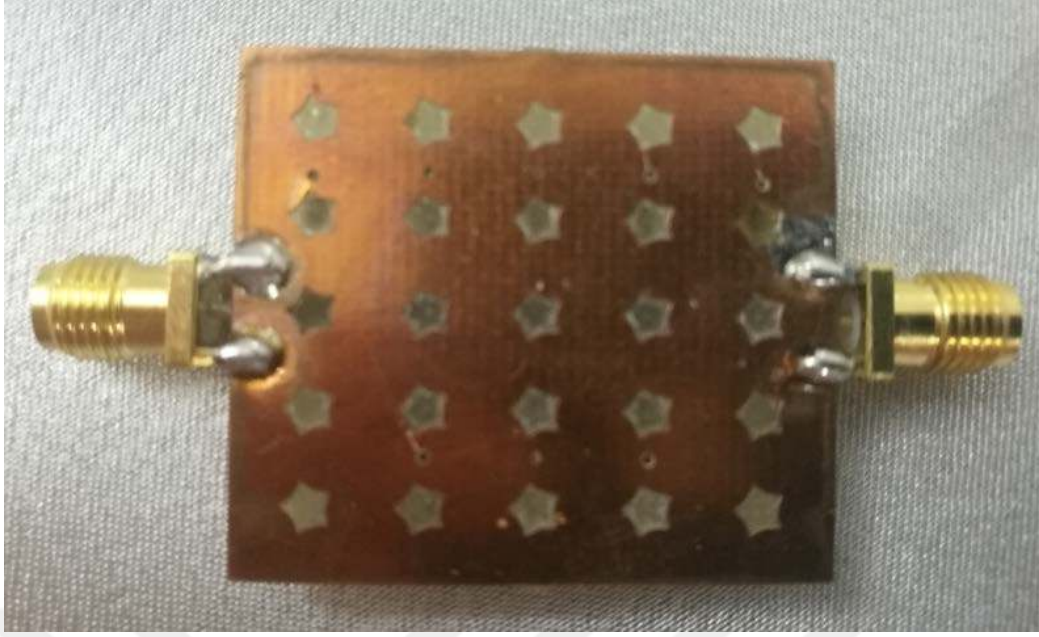
Şekil 4.20. Mikroşerit BGF Taban İletkeni 15 Adet Kusurlu Yapıdaki Filtrenin Üst Yüzeyindeki Tasarım



Şekil 4.21. Mikroşerit BGF Taban İletkeni 15 Adet Kusurlu Yapıdaki Filtrenin Alt Yüzeyindeki Tasarım

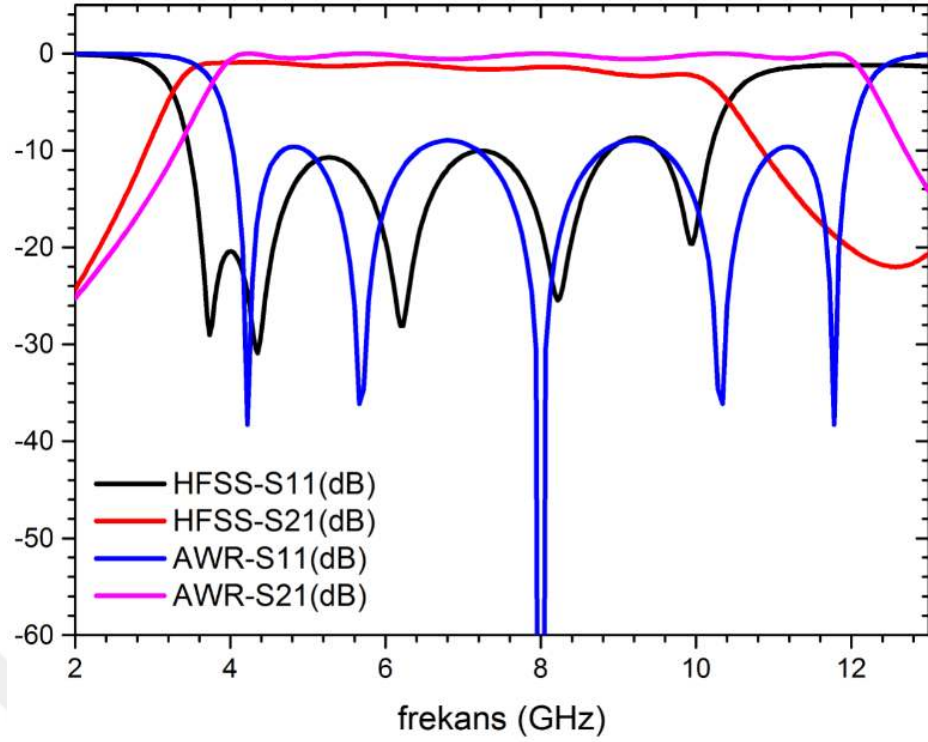


Şekil 4.22. Mikroşerit BGF Taban İletkeni 25 Adet Kusurlu Yapıdaki Filtrenin Üst Yüzeyindeki Tasarım



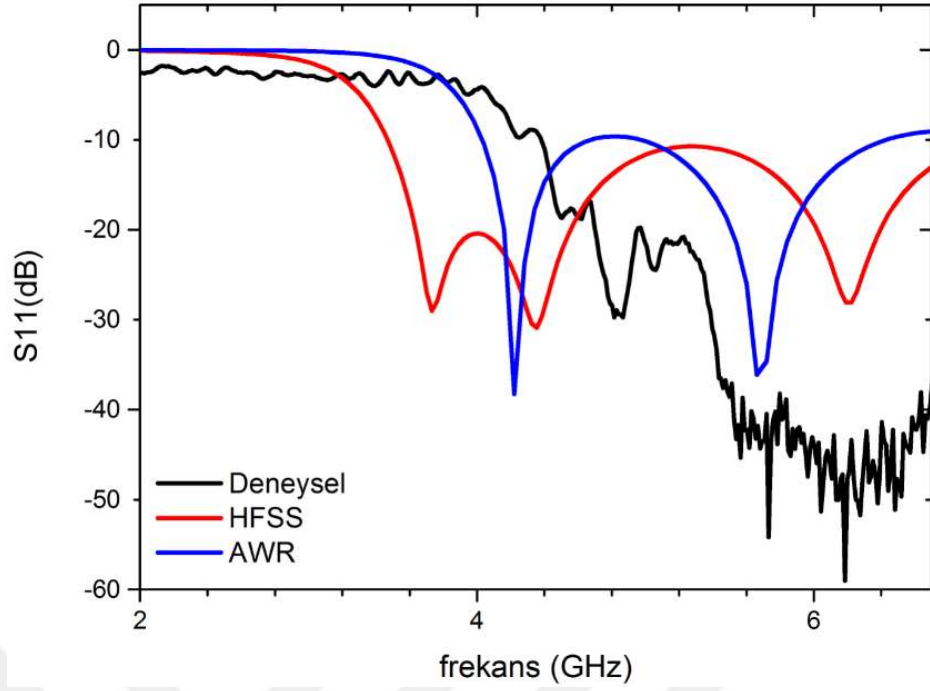
Şekil 4.23. Mikroşerit BGF Taban iletkeni 25 adet kusurlu yapıdaki filtrenin alt yüzeyindeki tasarım.

Tez kapsamında tamamlanan FR-4 dielektrik materyale sahip üç adet bant geçiren filtrenin HFSS ve AWR programlarında teorik testleri gerçekleştirilmiştir. Teorik test sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.24.'de yer almaktadır.



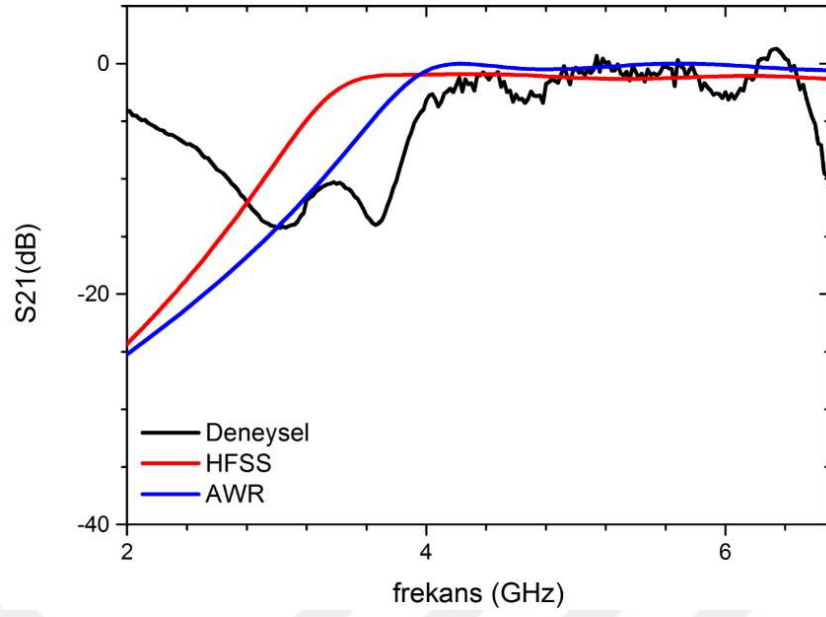
Şekil 4.24. Tasarlanan BGF'nin AWR ve HFSS Programı Teorik Test Sonuçlarının Karşılaştırılması

Üretimi tamamlanan BGF'nin DGS yapısına sahip olmayan filtrenin AWR, HFSS programı sonuçları ve üretimi tamamlanan filtrenin S11 ölçüm sonuçları karşılaştırma grafiği Şekil 4.25. de gösterilmiştir. Deneysel ve simülasyon sonuçları kıyaslandığında, sonuçların belirli oranlarda uyumlu olduğu fakat üretimde karşılaşılan problemlerden dolayı beklenen ölçüde olmadığı görülmektedir.



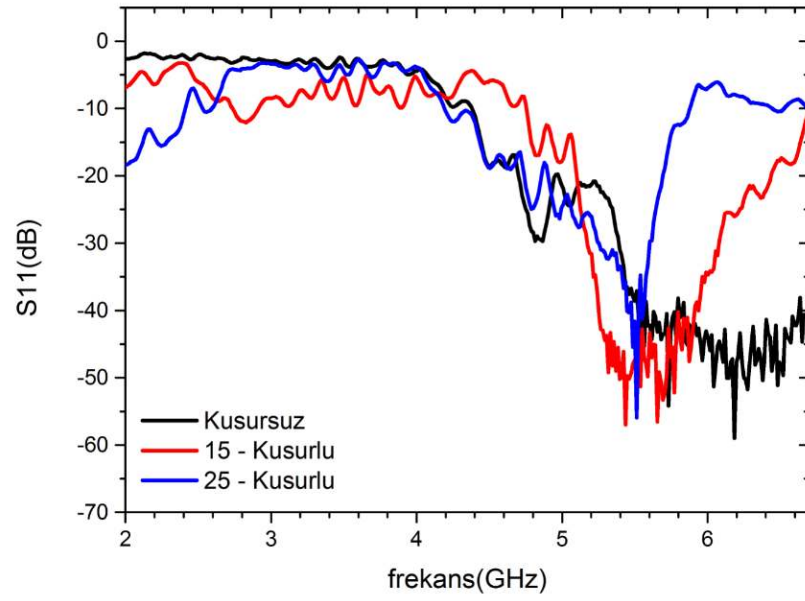
Şekil 4.25. Tasarlanan Taban İletkeni Kusursuz BGF'nin AWR, HFSS Programı ve Üretimi Tamamlanan Filtrenin S_{11} Sonuçlarının Karşılaştırılması

Taban iletkeni kusursuz BGF'nin AWR, HFSS programı ve deneysel S_{21} ölçüm sonuçlarının karşılaştırılma grafiği Şekil 4.26. de verilmektedir. Sonuçlarda 4GHz ile 6.5GHz bant aralığında oldukça örtüştüğü, fakat alçak frekanslarda kaymaların olduğu, yüksek frekanslarda ise üretim hatalarından dolayı bozulmaların olduğu açıkça görülmektedir.

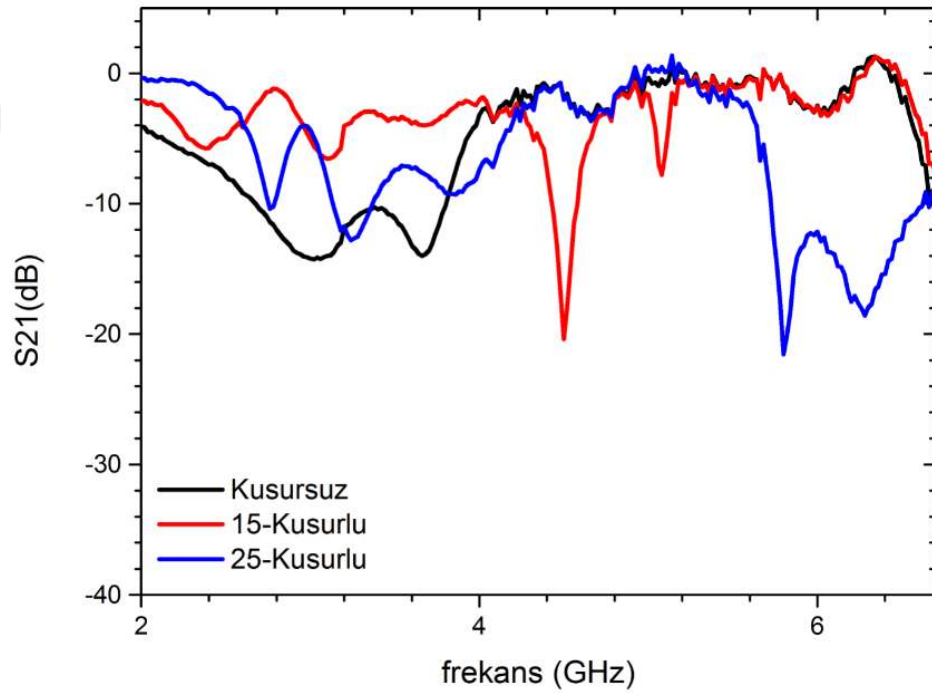


Şekil 4.26. Tasarlanan Taban İletkeni Kusursuz BGF'nin AWR, HFSS Programı ve Üretimi Tamamlanan Filtrenin S21 Sonuçlarının Karşılaştırılması

Üretimi tamamlanan taban iletkeni kusursuz, taban iletkeni 15 kusurlu ve taban iletkeni 25 kusurlu olan 3 adet BGF'nin S11 deneysel ölçüm sonuçlarının karşılaştırma grafiği Şekil 4.27.'de, S12 deneysel ölçüm sonuçlarının karşılaştırma grafiği ise Şekil 4.28.'de verilmiştir.

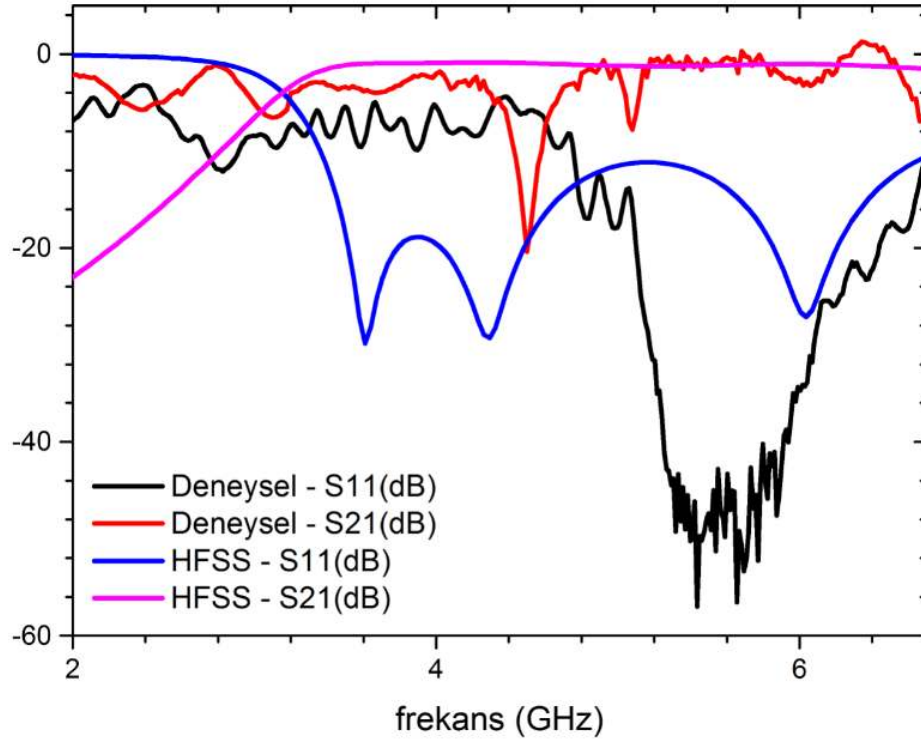


Şekil 4.27. Üretimi Tamamlanan Taban İletkeni Kusursuz, Taban İletkeni 15 Kusurlu ve Taban İletkeni 25 Kusurlu 3 Adet Filtrenin S11 Deneysel Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

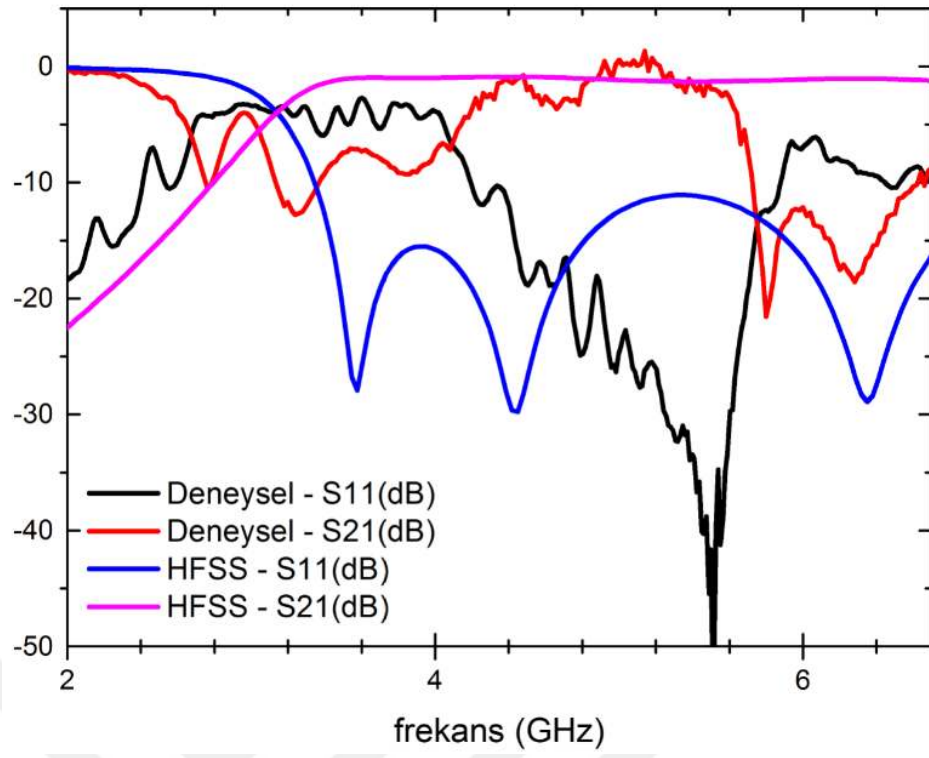


Şekil 4.28. Üretimi Tamamlanan Taban İletkeni Kusursuz, Taban İletkeni 15 Kusurlu ve Taban İletkeni 25 Kusurlu 3 Adet Filtrenin S12 Deneysel Ölçüm sonuçlarının Karşılaştırılması

Taban iletkeninde süper-formül ile 15 ve 25 adet kusur oluşturulmuş filtrelerin deneysel ve HFSS programı teorik S11-S21 sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.29. ve Şekil 4.30’de gösterilmektedir.



Şekil 4.29. 15 Adet DGS Yapısına Sahip Filtrenin Deneysel ve HFSS Programı Teorik S11-S21 Sonuçları



Şekil 4.30. 25 Adet DGS Yapısına Sahip Filtrenin Deneysel ve HFSS Programı Teorik S11-S21 Sonuçları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez mikroşerit filtre tasarımını kapsayan bir çalışma içermektedir. Genel filtre bilgisi, tasarımı ve analiz bilgisi aktarılmıştır. Bu filtre tasarımlarında özel olarak taban iletkeni kusurlu yapıların, mikroşerit filtre tasarımında kullanılmasını ele almıştır. Taban iletkeni kusurlu yapılar dahil toplam üç adet mikroşerit bant geçiren filtre tasarımı yapılmıştır. İlk tasarımda AWR programı ile normal bir filtre tasarım prosedürü ile amaç fonksiyonlarını karşılayan bir bant geçiren mikroşerit filtre tasarlanmıştır. Daha sonra BGF'nin tabanına kusurlar açılarak HFSS programına aktarılmıştır. Bu filtreye açılan kusurlar sayesinde bant genişliğinin artabileceği görülmüştür. DGS modeli oluşturmak için ise klasik DGS yapılarının aksine Gielis'in önerdiği süper-formül yapısı kullanılarak İpomea (Kahkaha) çiçeği modeli oluşturularak çeşitli sayıda kusurların etkisi incelenmiştir.

Filtre tasarımında göz önünde alınması gereken önemli hususlardan biri ise kullanılan dielektrik malzemenin filtre karakteristiğine etkisidir. Tez kapsamında HFSS ve AWR programlarında yapılan tasarımlarda RO3035 ve FR4 dielektrik taban malzemelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bunun sonucunda taban malzemesindeki iyileşmelerin filtre verimliliğine etki ettiği ve yaklaşık %8'lik bant genişliğinin arttığı görülmüştür.

Filtre modellemesi yapılırken ki asıl hedeflenen filtre özelliklerine en uyumlu modeli oluşturmaktır. Burada çeşitli yaklaşımlar vardır. Fakat teorik tasarımda ortaya çıkarılan sonuçların pratik uygulamada da elde edilebilmesi için kayıpların en az seviyede olması gerekmektedir. Pratik uygulamada önemli olan ise üretime elverişli olmasıdır. Tez kapsamında tasarlanan modelde hedeflenen bant genişliği olan 3.3 GHz ile 10.3GHz arasında çok geniş bant geçiren filtre tasarımı hem Rogers 3035 hem de FR4 taban malzeme özellikleriyle başarıyla oluşturulmuştur. Tasarımlar AWR ve HFSS programlarında analiz edilerek Araya Girme Kayıpları ve Geriye Dönüş Kayıpları hesaplanmıştır. Belirlenen hedef tasarım modellerinin HFSS ve AWR programlarında uyumlu sonuç verdiği görülmüştür.

Başarı ile tasarlanan filtrelerin üretim aşamasında ortaya çıkan olumsuzluklardan kaynaklı sonuçlarda değişkenlikler oluşmuştur. Rogers 3035 malzemesinin üretimde zayii edilmesi, FR4 yapısıyla olan filtre tasarımının istenildiği

şekilde üretilmemesi, üretim aşamasında oluşturulan via delik yapılarının içerisindeki iletken malzeme ile kaplama yapılmamış olması sonucunda taban ve mikroşerit yapı arasında iletimi sağlamıyor olması, mikroşerit iletim hatlarında kopuklukların bulunmasından kaynaklı beklenen sonuçlar alınamamıştır. Bu değişkenliklerin etkisi bant genişliğini küçültmüştür. Belirlenen bant aralığının alçak ve yüksek frekans bölgesinde ise büyük oranda bozulmaların oluşmasına neden olmuştur.

Sonuç olarak 5G frekans bantlarını kapsayan çok geniş bantlı bant geçiren filtreler, taban ileten kusursuz, Süper-Formül yapısıyla oluşturulan 15 ve 25'er adet kusurlu taban yapısı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.



KAYNAKLAR

1. Richards, P. I., Resistor-Transmission Line Circuits, Proceedings of the IRE, 1948, 36(2), 217-220.
2. Gündüz, S., Çakır, G., Sevgi, L., Geniş Bantlı Mikroşerit Filtre Tasarımı, Eksen Yayıncılık, İstanbul, Türkiye, 2006, 243 s.
3. Levy R., Cohn B. A History of Microwave Filter Research, Design, and Development. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 1984, 32(9), 1055-1067
4. Levy R., "A New Class of Distributed Prototype Filters with Applications to Mixed Lumped/Distributed Component Design". 1970, 18(12), 1061-1071.
5. Levy R., "Synthesis of mixed lumped and distributed impedance-transforming filters" IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 1972, 20(3), 223-233.
6. Menzel W., Tito M., Zhu L. Low-loss ultra-wideband (UWB) filters using suspended stripline. Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, 4-7 Aralık, 2005, Suzhou
7. Shaman h., Hong J. An Optimum Ultra-Wideband (UWB) Bandpass Filter with Spurious Response Suppression IEEE Annual Wireless and Microwave Technology Conference, 4-5 Aralık, 2006, Florida
8. Gong H., Nie H., Chen Z. Performance of UWB Systems with Suboptimal Receivers under IEEE 802.15.4a Industrial Environments. Fifth Annual Conference on Communication Networks and Services Research (CNSR '07), 14-15 Mayıs, 2007, Frederlcton
9. Tripta, Ghazali A., Broadside -coupled UWB filter for indoor communication systems. 2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), 23-25 Mart, 2016, Chennai, India
10. He X., Xu J. A filtering antenna with 3rd-order Chebyshev response. IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP), 20-22 Temmuz, 2016, Chengdu
11. Teodorescu R., Cioc I. 5th order Chebyshev LC-band pass filter designing and testing using virtual methods. 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 12-1 Temmuz, 2017, Targoviste
12. Liu H., Li Z., Sun X., Mao J. Harmonic suppression with photonic bandgap and defected ground structure for a microstrip patch antenna. IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2005, 15(2), 55-56
13. Kingsly S., Kanagasabai M., Alsath M., Shrivastav A., Subbaraj S., Selvam Y., Sivasamy R., Ramanarao Y., "Compact Frequency and Bandwidth Tunable Bandpass-Bandstop Microstrip Filter", IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2018 28(9), 786 – 788
14. Guha D., Antar Y. Microstrip and Printed Antennas New Trends, Techniques and Applications. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, UK, 2011, 504
15. Kim C.S., Park J.S., Ahn D., Lim J. A novel 1-D periodic defected ground structure for planar circuits. IEEE Microwave and Guided Wave Letters. 2000, 10(4), 131-133
16. Kim C., Lim J., Park J., Ahn D., Nam S., A 10dB Branch Line Coupler Using Defected Ground Structure. 2000 30th European Microwave Conference, 2-5 Ocak, 2000, Paris, France

17. Oraizi H., Esfahlan M. Miniaturization of wilkinson power dividers by using defected ground structures, *Progress In Electromagnetics Research Letters*. 2008, 4, 113-120
18. Lim J.S., Park J.S., Lee Y.T., Ahn D., Nam S. An Application of defected ground structure in reducing the size of amplifiers. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 2002, 12(7), 261-263
19. Liu H., Li Z., Sun X., Mao J. Harmonic suppression with photonic bandgap and defected ground structure for a microstrip patch antenna. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. 2005, 15(2), 55-56
20. Sung Y., Kim Y. An improved design of microstrip patch antennas using photonic bandgap structure. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2005, 53(5), 1799-1804
21. Chen J., Li J., Wan K., Xue Q. Compact quasi-elliptic function filter based on defected ground structure. *IEE Proceedings - Microwaves, Antennas and Propagation*. 2006, 153(4), 320-324
22. Tu W., Chang K. Compact microstrip low-pass filter with sharp rejection. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. 2005, 15(6), 404-406
23. Sharkawy M., Boutejdar A., Mahmoud E. Design of Ultra-Wide Stop-Band DGS Low-Pass Filter Using Meander- and Multilayer-Techniques. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2013, 55(6), 1276-1281
24. Xiaojun W., Chong N., Design of two-band band-pass filter using defected ground structure (DGS) resonators. *Proceedings of 2012 5th Global Symposium on Millimeter-Waves*, 27-30 Mayıs, 2012, Harbin, China
25. Giels J. A Generic Geometric Transformation That Unifies a Wide Range of Natural and Abstract Shapes. *American Journal of Botany*, 2003, 90(3), 333-338
26. Bia P., Caratelli D., Mescia L., Gielis J. Electromagnetic characterization of supershaped lens antennas for high-frequency applications. *43rd European Microwave Conference*, 6-10 Ocak, 2013, Nuremberg
27. Nase S., Dib N. Design and Analysis of Super-Formula-Based UWB Monopole Antenna and its MIMO Configuration. *Wireless Personal Communications* 2016, 4, 1-13
28. Omar A., Rashad m., Al-Mullla M., Attia H., Naser S., Dib n., Shubair R. Compact design of UWB CPW-fed-patch antenna using the superformula. *5th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA)*, 6-8 Aralık, 2016, Ras Al Khaimah
29. Khajevandi S., Oraizi H., Poordararee M. Design of Planar Dual-Bandstop FSS Using Square-Loop-Enclosing Superformula Curves. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2018, 17(5), 731-734
30. Samaras K., Maximidis R., Koutinos A., Ioannopoulos G., Caratelli D., Sahalos J., Kyriacou G. Characteristic mode analysis of drop-like supershaped patch antenna. *7th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAS)*, 7-9 Mayıs, 2018, Thessaloniki
31. Bant Genişliği Nedir?, erişim tarihi (22.12.2019) <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/bant-genisligi-nedir/21885#ad-image-0>
32. Omar A., Shubair R. UWB coplanar waveguide-fed-coplanar strips spiral antenna. *10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 10-15 Nisan, 2016, Davos
33. Thede L., *Practical Analog and Digital Filter Design*, Artech House, Inc., Norwood, ABD, 2004, 250 s.

34. Pozar, D.,M., Microwave Engineering (4th edition) , John Wiley & Sons, Inc., New York, ABD, 1998, Türkiye, 2014, 450 s.
35. Tüzün Reşat, Alçak Geçiren Mikroşerit Filtre Tasarımı ve İnce Film Teknolojisi İle Üretimi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2018, 67. (Yüksek Lisans Tezi).
36. Ertay, A. O., Taban İletkeni Kusurlu Mikroşerit Yapılarla Filtre Tasarımları. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Telekomünikasyon Mühendisliği Programı, İstanbul, 2014, 86 s. (Yüksek Lisans Tezi).
37. Tansarıkaya, İ., Geniş Bantlı Yama Anten Tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği, İstanbul, 2007, 69 s. (Yüksek lisans tezi).
38. Sainati R., CAD of Mikrostrip Antennas for Wireless Application, Artech House, Inc., Norwood, ABD, 1996, 255 s.
39. Traut, G. R., Clad laminates of PTFE composites for microwave antennas, Microwave Journal, 1980,23, 47-51.
40. Nowicki, T. E., Microwave substrates, present and future, Proc. Workshop Printed Circuit Antenna Tech., New Mexico State Univ., Las Cruces, 1979, 1-22.
41. Matsuura M., Gielis' superformula and regular polygons, Journal of Geometry, 2015, 106(2), 383-403
42. Paraforou Vasiliki, Design and full-wave analysis of supershaped patch antennas, Delft University of Technology, Faculty Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science, Delft, The Netherlands, 2013, 131. (Yüksek Lisans Tezi)
43. Gielis J. A Generic Geometric Transformation That Unifies a Wide Range of Natural and Abstract Shapes. American Journal of Botany, 2003, 90(3), 333-338
44. Süper-Formül, erişim tarihi (22.12.2019)
<http://paulbourke.net/geometry/supershape/>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İrem DAĞLI
Doğum Yeri ve Yılı : Manisa/Soma, 1994
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : iremdagli3@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Rıfat Dağdelen Anadolu Lisesi, 2012
Lisans :Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Elektrik Elektronik
Mühendisliği, 2016
Yüksek Lisans :Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Elektrik Elektronik
Mühendisliği, Devam Ediyor

Mesleki Deneyim

Kurum bilgisi :İŞBİR Elektrik Sanayii A.Ş. 2018-(Halen)