



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**GENİŞ BAND MİKRO ŞERİT YAMA ANTEN
TASARIMLARI İÇİN UYGUN
YÖNTEMLERİN ARAŞTIRILMASI**

Dilek UZER

DOKTORA TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2016
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Dilek Uzer tarafından hazırlanan "Geniş Band Mikro Şerit Yama Anten Tasarımları için Uygun Yöntemlerin Araştırılması" adlı tez çalışması ^{24/04/2016} tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~ayrıklığı~~ ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri İmza

Başkan

Unvanı Adı SOYADI... Prof. Dr. Al. OKATAN



Danışman

Unvanı Adı SOYADI... Yrd. Doç. Dr. S. Sinan GÜLTEKİN



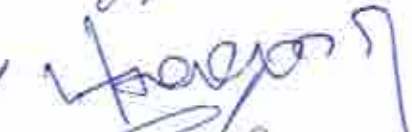
Üye

Unvanı Adı SOYADI... Doç. Dr. Ercan YALDIZ



Üye

Unvanı Adı SOYADI... Yrd. Doç. Dr. Hakkı SOY



Üye

Unvanı Adı SOYADI... Yrd. Doç. Dr. Levent SETFİ



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Aşır Genç
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (BAP) tarafından 11101014 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Dilek UZER

Tarih: 30.06.2016

ÖZET

DOKTORA TEZİ

GENİŞ BAND MİKRO ŞERİT YAMA ANTEN TASARIMLARI İÇİN UYGUN YÖNTEMLERİN ARAŞTIRILMASI

Dilek UZER

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç.Dr. S. Sinan GÜLTEKİN

2016, 154 Sayfa

Jüri

Yrd. Doç.Dr. S. Sinan GÜLTEKİN

Prof.Dr. Ali OKATAN

Doç.Dr. Ercan YALDIZ

Yrd. Doç.Dr. Hakkı SOY

Yrd. Doç.Dr. Levent SEYFİ

Günümüzde kablo karmaşası ve maliyetlerinden kurtulma ve kullanıcıların hareket özgürlüklerini sağlama avantajlarından dolayı kablosuz sistemler sıklıkla tercih edilmektedir. Kablosuz haberleşme teknolojilerinin gelişmesiyle de kullanıcılar tarafından beklenen yüksek hız ve daha geniş kullanım alanları beraberlerinde geniş bir haberleşme bandı ihtiyacı doğurmaktadır. Bununla birlikte, kablosuz cihazların aynı anda ve hareketli ortamlarda kullanılmasının tercih edilmesi, taşınabilir boyutlarda tasarlanmaları ve uzun süre dayanacak güç kaynaklarına ihtiyaç duymaları hâsıl olmuştur. Bu sebeple cihazlarda kullanılan elemanlarında düşük güç tüketimine sahip, küçük boyutlu ve yüksek bant ihtiyacını karşılayabilecek özelliklerde olmaları arzu edilmektedir. Daha hızlı ve daha kaliteli haberleşme için büyük band genişliğine daima ihtiyaç duyulmaktadır. Bluetooth, GPS, doğrudan sayısal yayın, uydu haberleşmesi gibi kablosuz haberleşme uygulamalarında ve akıllı telefonlar gibi birden fazla frekansta çalışan cihazların üretilmesi ile tüm bu çalışma frekanslarını içine alacak büyük veri oranlarının sorunsuz iletilebilmesi gibi uygulamalarda geniş band kapasiteli antenlere ihtiyaç vardır. Kullanıcı sayısının artışı, cihazlarda ve yeni geliştirilen teknolojilerde istenilen düşük güç tüketimi ve iletim mesafesinin artması da geniş band ihtiyacını doğrudan etkileyen faktörler arasındadır. Ek olarak, modern kablosuz el cihazları, hücresele ses ve veri, Wi-Fi ve GPS gibi sistemlerin sorunsuz haberleşme ihtiyaçlarına cevap vermek amacıyla, çoğu kez çoklu bandlar üzerinden üç ya da daha fazla antenin işbirliği içerisinde çalışması ve dolayısıyla band genişliğinin büyük olması beklenir. Ayrıca yüksek veri oranına sahip 4G ve 5G teknolojilerinin gelişimi ve uygulama tabanlı kullanımlarının artışıyla, çoklu hava kanalları üzerinden yapılan kablosuz haberleşmelerinde tasarımılanan mobil cihazların RF mimarisinde, geniş banda ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla kablosuz ve geniş banda ihtiyaç duyan bu tür cihazların üretimlerinin hız kazanmasıyla tasarlanacak antenlerin de bu ihtiyaçlara cevap verebilecek yeterlilikte olmaları gerekmektedir. Yaklaşık 15 yıldır, kablosuz haberleşme devreleri ve cihazları üzerine doğan bu ihtiyaçların karşılanması adına pek çok çalışma sürdürülmektedir.

Bu tez çalışmasında, kablosuz haberleşme sistemlerinde birçok avantajından dolayı yoğun olarak kullanılan fakat band genişliği dezavantajı probleminin üzerinde çalışılan mikroşerit yama antenlerin dar olan band genişliklerini arttırmak için çeşitli yöntemler araştırılmıştır. Bu yöntemlerden en yaygın kullanılanları; uygun özelliklerde dielektrik malzeme kullanımı, besleme yönteminin belirlenmesi, yama şeklinin belirlenmesi, toprak düzlemi boyutlarının belirlenmesi, yama üzerine yarık açma, kısa devre pini

ilavesi ya da birden fazla yöntemin aynı anda kullanılmasıdır. Temelde hedef; elektriksel uzunluğu arttırmak, yüzey akımının takip ettiği yolu uzatmak ve birden fazla rezonans frekansının oluşmasını sağlayarak band genişliğini arttırmaktır. Bu tür yöntemler üretim aşamasını zorlaştırırsa da, ya da tasarımı karmaşık hale getirirse de, güncel haberleşme uygulamalarında ihtiyaç duyulan geniş band ihtiyacını karşılamak üzere göz ardı edilmemelidir.

Bazı durumlarda tek bir band genişliğini artırma yöntemi, arzu edilen performansı sağlayamamaktadır. Bu sebeple malzeme seçimi, yama ve toprak düzlemi boyutlarıyla şekillerindeki değişiklikler, besleme yönteminin belirlenmesi, yama üzerine yarık, kısa devre pini, dielektrik kapak gibi ilavelerin yapılması ve bütün bu yöntemlerin bazılarının birlikte uygulanması band genişliğini arttıran çalışmalardır. Bu sebeplerle mikroşerit antenlerin üretimlerinin de bu durumlar dikkate alınarak ve uygun yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmeleri gerekmektedir. Tez çalışmasında da tüm bu yöntemler denenmiş ve sonuçları alınmıştır. Bu amaçla önce yalın yama tasarımıyla işe başlanmış, sonrasında gerek besleme noktası gerekse toprak düzlemi boyutları değiştirilerek simülasyon ortamında en iyi sonuçları veren tasarım parametreleri elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra, hedeflenen yüksek band genişliğini yakalamak adına, anten üzerine bir band genişliğini artırma yöntemi uygulanarak çalışmaya devam edilmiştir. Tasarlanan antenlerin performanslarının tam olarak belirlenebilmesi için bu tez çalışmasında mümkün olan en fazla sayıda antenin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimde hassasiyetin yüksek tutulabilmesi amacıyla farklı yöntemler denenmiş ve gelişmiş bir baskı devre makinası (PCB) kullanılarak tamamlanmıştır. Anten ölçümleri network analizör yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar imkânları dâhilinde yapılan ölçümler birkaç kez ve aynı ölçüm ortamında tekrarlanarak ölçüm doğruluğunun tam anlamıyla sağlanması hedeflenmiştir.

Tez çalışması kapsamında yama hacmini arttırmadan farklı yama şekillerinin karşılaştırılmasına da yer verilmiştir. Bu tasarımlarda aynı malzeme kullanılarak aynı frekanslarda kare ve daire şeklindeki yamalar kullanılmıştır. Bu yama şekillerine göre yama alanında küçültmeye imkân tanırken bandgenişliğinde de bir iyileştirme sağlayan, yeni bir yama şekli olarak Selçuklu Yıldızı şekilli mikroşerit anten tasarımları gerçekleştirilmiştir. Yama alanı yanında mikroşerit antenin toplam alanının da küçültülmesi amacıyla mikroşerit hat yerine koaksiyel hat tercih edilmiştir. Selçuklu yıldızı şekilli mikroşerit yama anten gerek boyutları gerekse tasarım kolaylığı açısından diğer geniş band antenlere üstünlük sağlamıştır. Bu anten yapısı dairesel yama benzeri adımlarla tasarlanarak üretimi de kolaylıkla gerçekleştirilebilmiştir. Böylelikle bandgenişliği ve boyut avantajı sağlayan Selçuklu Yıldızı şekilli mikroşerit yama anten tasarımları gerçekleştirilerek literatüre yeni bir yama anten şekli kazandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Band genişliği, HFSS, mikro şerit yama anten, Selçuklu Yıldızı

ABSTRACT

Ph. D THESIS

INVESTIGATION ON FAVOURABLE METHODS FOR WIDEBAND MICROSTRIP PATCH ANTENNA DESIGNS

Dilek UZER

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof.Dr. S. Sinan GÜLTEKİN

2016, 154 Pages

Jury

Asst. Prof.Dr. S. Sinan GÜLTEKİN

Prof.Dr. Ali OKATAN

Assoc. Prof.Dr. Ercan YALDIZ

Asst. Prof.Dr. Hakkı SOY

Asst. Prof.Dr. Levent SEYFİ

Today, to get rid of cable clutter and cost and provide users the freedom of movement because of the advantages of wireless systems are often preferred. By the development of wireless communication technologies, a wide communication band need exists with the high speed demanded by users and wider usage areas. At the same time, the preference of wireless devices used simultaneously and in mobile environments exists the need of device designs that are portable sizes and have long term power supplies. For this reason, the elements used by the devices are desired to be lower power consumption, small size and in features to meet the broadband needs. For faster and more qualified communication, broadband are always needed. In wireless communication applications like Bluetooth, GPS, direct digital broadcasting, satellite communication and with producing devices like smart phones that works in more than one frequency, for transmitting large data rates smoothly, including all these operating frequencies, these applications need broadband antennas. The increase of user number, the desired low power consumption at new developed technologies and devices with also increasing in the transmission distance are among the factors of which directly effect the need of broadband. In addition, in order to meet the needs of smooth communication at systems like modern wireless handsets, cellular voice and data, WI-FI and GPS, it is often expected that three or more antennas cooperate with through multibands so their bandwidths are larger. Futhermore, by the improvement of 4G and 5G technologies which have high data rates and the increase at application based usage, broadband is needed in RF architecture of mobile devices that designed for wireless communication through multiple air channel. Because of the acceleration at producing these kind of devices that are wireless and need broadband, the designed antenna should be sufficient to meet these needs. Nearly 15 years, there have been a lot of studies in order to meet these needs of wireless communication circuits and devices.

In this study, various methods has been investigated to improve the narrow bandwidth of microstrip patch antenna on the working of the heavily used in wireless communication systems because of the many advantages, but disadvantages bandwidth problem. The most popular methods of these are, dielectric material with suitable features usage, choosing feeding methods, patch shape and the dimensions of the ground plane, etching slots on patch, adding shorting pin or using more than one method together. Basically, the aim is to increase the electrical length, maket he path that surface current leads and providing of multiple

resonance frequencies to increase the bandwidth. However these kind of methods make the manufacturing stage harder or the designs more complex, it should not be ignored to meet the broadband needs of current communication applications.

In some cases, only a method of increasing bandwidth can not give the desired performance. For this reason, choosing the material, changes in form of patch and ground plane size, determination of the feeding method, etching slots on patch, adding shorting pin, adding dielectric superstrate and using more than one of these with together are studies that increase the bandwidth. Therefore, the production of microstrip antennas must be realized by taking into account of these situations and using favorable methods. In this thesis study, all these methods are tried and their results are taken. For this purpose, it was began with a simple patch design, then design parameters that have been obtained the best results by both changing the feeding point and the size of ground plane dimensions in the simulation environment. After, to obtain the targeted wider bandwidth, the study was continued by applying a method of increasing bandwidth on the antenna. In order to determine the performance of designed antennas exactly, lots of the antennas as many as possible were produced in this thesis. Different methods have been tried in order to keep high-precision at production and was completed using an improved printed circuit board (PCB) machine. Antenna measurements have been obtained by the help of a network analyser. In the limitations of laboratory, the measurements were repeated in the same environment to obtain the measurement accuracy exactly.

Within the thesis study, without increasing the volume, the comparison of different patch shapes are included. For these designs, at the same frequencies square and circular shape patches are used on the same materials.

Seljuk star microstrip antenna design which is a new patch geometry that allows a reduction on patch surface, at the same time a bandwidth improvement is realized. For the same target with reducing the patch surface, a coaxial feed is used. Seljuk star microstrip antenna is superior to other broadband antennas both in terms of reduction of total surface and ease of design. This antenna structure is easily occurred by designing with the similar steps with circular patch. Thus, providing the bandwidth and the size advantage of the Seljuk Star-shaped microstrip patch antenna design, a new form of patches applied in the literature.

Keywords: Bandwidth, HFSS, microstrip patch antenna, Seljuk star

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında sonsuz sabrı ve anlayışı, engin bilgi birikimi ve tecrübesi ile yol gösteren, sadece tez çalışmamda değil, hayatımın her alanında bana maddi, manevi desteğini esirgemeyen, varlığıyla kendimi çok şanslı hissettiren, örnek insan ve örnek danışman, çok değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. S. Sinan GÜLTEKİN'e sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Akademik olarak yol göstermeleri ve tez çalışmamı en güzel şekilde yönlendirmelerinden ötürü Tez İzleme Komitesi Üyelerim Sayın Prof.Dr. Ali OKATAN ve Sayın Doç.Dr. Ercan YALDIZ'a, ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmamı, meslek olarak akademisyenliği seçmemde en büyük etkiye sahip olan; fakat ne yazık ki bugünleri göremeyen rahmetli dedem Sayın Ömer KÖKSOY'a ithaf ediyorum. Ayrıca, tez çalışmam boyunca türlü fedakârlıklarla işlerimi kolaylaştıran ve iyi ki bu ailede dünyaya gelmişim dememi sağlayan rahmetli anneannem Fatma KÖKSOY'u rahmetle anıyorum. Hayatımın anlamı, başarılarını kendime örnek aldığım yegâne kadın, biricik annem, Sayın Tülay KÖKSOY'a ve tüm enerjisini ve zamanını bana yardımcı olmak için harcayan, en büyük destekçim ve hayatımı güzel kılan insana, sonsuza dek yanımda olmasını dileyerek, sevgili eşim Sayın Öğr. Gör. Dr. Mustafa S.UZER'e minnetlerimi sunuyorum. Tez çalışmalarım boyunca beni bekleyen, yaşlarından beklenmeyen bir sabır gösteren, tüm kaprislerime katlanan ve kendilerini çok özleten, küçük meleklerim, Tülay'ım ve Atalay'ıma da teşekkürü bir borç bilirim. Tüm çabam sizler için...

Dilek UZER
KONYA-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Mikroşerit Antenlerin Temelleri	2
1.1.1. Mikroşerit Yama Antenlerin Analizi için Yaygın Olarak Kullanılan Matematiksel Modeller	4
1.1.2. Simülasyon.....	5
1.2. Geniş Band Mikroşerit Yama Antenlere Olan İhtiyaç.....	8
1.3. Literatür Taraması.....	11
2. BAND GENİŞLİĞİNİ ARTTIRMA YÖNTEMLERİ (BAY).....	15
2.1. Yama Şeklinin Seçimi	16
2.1.1. Fraktal yama kullanımı	19
2.2. Dielektrik Taban Seçimi	19
2.2.1. Dielektrik sabiti (ϵ_r)	19
2.2.2. Dielektrik taban kalınlığı (h).....	21
2.2.3. Çok katlı taban ve dielektrik kapak kullanımı	21
2.2.4. Metamateryal ve elektromanyetik band boşluğu kullanımı.....	23
2.3. Toprak Düzlemi Boyutlarının ve Şeklinin Belirlenmesi	24
2.4. Besleme Tipinin Belirlenmesi	25
2.4.1. Mikroşerit hat besleme.....	26
2.4.2. Açıklık kuplajlı besleme	27
2.4.3. Mesafe kuplajlı besleme	30
2.4.5. Gömme besleme	31
2.4.6. Koaksiyel besleme	31
2.5. Diğer Yöntemler	32
2.5.1. Yama üzerine yarık açılması.....	32
2.5.2. Kısa devre pini ilavesi.....	37
2.5.3. Çoklu yama ve empedans uyumlandırma elemanlarının kullanımı.....	38
3. ÇEŞİTLİ BAY'LERİN MİKROŞERİT YAMA ANTENLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI.....	42
3.1. Farklı Yama Şekillerinin Anten Band Genişliğine Etkisinin Araştırılması.....	42
3.1.1. Selçuklu Yıldızı Şekilli Mikroşerit Yama Anten (SYMŞA) Tasarımı	42
3.1.2. Daire ve Selçuklu Yıldızı Şekilli Yamaların Band Genişliği Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması	46
3.1.3. SYMŞA'lerin Performanslarının Karşılaştırılması.....	51

3.1.4. Daire, Eşkenar Üçgen, Kare ve Selçuklu Yıldızı Şekilli Yama Antenlerin Performanslarının Karşılaştırılması	52
3.1.5. Kare-Daire-Selçuklu Yıldızı Şekilli Yamaların Performanslarının Karşılaştırılması	54
3.2. Farklı Dielektrik Taban Malzemelerinin Anten Band Genişliğine Etkisinin Araştırılması.....	55
3.2.1. Farklı Taban Kalınlıklarının ve Dielektrik Sabitlerinin Band Genişliğine Etkilerinin Araştırılması	55
3.2.2. Farklı Taban Kalınlıklarının Band Genişliğine Etkisinin Araştırılması	57
3.3. Toprak Düzlemi Boyutlarının Anten Band Genişliğine Etkilerinin Araştırılması	58
3.3.1. DMŞA için toprak düzlemi boyutlarının anten band genişliğine etkisinin araştırılması.....	58
3.3.2. SYMŞA için toprak düzlemi boyutlarının anten band genişliğine etkisinin araştırılması.....	62
3.4. Farklı Besleme Hattı Çeşitlerinin Anten Band Genişliğine Etkilerinin Araştırılması.....	65
3.4.1. Foam ve Duroid 5880 üzerine tasarlanan DMŞA' ler için farklı besleme tiplerinin etkilerinin araştırılması.....	65
3.4.2. Duroid 5880LZ üzerine tasarlanan DMŞA' ler için farklı besleme tiplerinin etkilerinin araştırılması	67
3.5. Diğer Band Genişliğini Arttırma Yöntemlerinin Etkilerinin Araştırılması	74
3.5.1. Yarık açılmasının etkilerinin araştırılması.....	75
3.5.2. Kısa Devre Etme Pini İlavesinin Etkilerinin Araştırılması.....	92
3.5.3. Dielektrik kapak ilavesinin etkilerinin araştırılması.....	100
3.6. Birden Fazla Yöntemin Birlikte Uygulanmasının Etkilerinin Araştırılması	102
3.6.1. EÜMŞA üzerine çeşitli şekilde yarıkların ve dielektrik kapak ilavesinin birlikte kullanılmasının etkilerinin araştırılması.....	102
3.6.2. SYMŞA üzerine O-yarık, kısa devre pini ve dielektrik kapak ilavesinin etkilerinin araştırılması	103
3.6.3. İnce EÜMŞA'lere çeşitli şekillerde yarıkların, dielektrik kapakların ve kısa devre pinlerinin birlikte ilavesinin etkilerinin araştırılması.....	111
3.6.4. Kısa devre edilmiş SYMŞA üzerine dielektrik kapak ilavesinin etkilerinin araştırılması.....	113
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	115
4.1. Sonuçlar	115
4.2. Öneriler	121
KAYNAKLAR.....	123
ÖZGEÇMİŞ	138

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

f_0 Çalışma Frekansı

f_1 Dönüş kaybı grafiğinin -10dB değerlerini kestiği noktaya karşılık gelen alt frekans değeri

f_2 Dönüş kaybı grafiğinin -10dB değerlerini kestiği noktaya karşılık gelen üst frekans değeri

r_{eff} Dairesel yamanın etkin yarıçapı

f_r Rezonans frekansı

ϵ_r Tabanın dielektrik sabiti

h Taban kalınlığı

r Dairesel yama yarıçapı

ϵ^* Dielektrik malzemenin permitivitesi

ϵ' Dielektrik sabiti

ϵ'' Kayıp faktörü

ϵ''/ϵ' Kayıp tanjantı

L_{gnd} Toprak düzlemi uzunluğu

W_{gnd} Toprak düzlemi genişliği

λ_0 Boşluk dalga boyu

L_h Mikroşerit hat uzunluğu

W_h Mikroşerit ht genişliği

L Yama uzunluğu

W Yama genişliği

L_a Açıklık uzunluğu

W_a Açıklık genişliği

Ω Ohm

$L_{\bar{o}}$ Örtüşme uzunluğu

W_i Gömme mikroşerit hattın gömülme genişliği

L_i Gömme mikroşerit hattın gömülme uzunluğu

r_0 Koaksiyel prob yarıçapı

x_f Koaksiyel hattı konumu

p Kısa devre pininin yama merkezine olan uzaklığı

r_{SY} Selçuklu Yıldızı Şekli Mikroşerit Antenin yarıçapı

L_x Selçuklu Yıldızı şeklini oluşturacak olan karelerin bir kenar uzunluğu
 b Selçuklu Yıldızı şeklini oluşturacak olan karelerin kesişmesiyle oluşan ikizkenar üçgenin eşit kenarlarından her birinin uzunluğu
 r Dairesel Mikro Şerit Antenin yarıçapı
 A_{Kare} Selçuklu Yıldızı şeklini oluşturacak olan karelerin alanı
 $A_{üçgen}$ Selçuklu Yıldızı şeklini oluşturacak olan karelerin kesişmesiyle oluşan ikizkenar üçgenin alanı
 A_{SY} Selçuklu Yıldızı şeklinin alanı
 ζ_{SY} Selçuklu Yıldızı şeklinin çevresi
 ζ_{Daire} Dairenin çevresi
 f_{rTeo} Teorik rezonans frekansı
 f_{rSim} Simülasyon rezonans frekansı
 BG_{Sim} Simülasyondan elde edilen band genişliği
 Z_{Sim} Simülasyondan elde edilen anten giriş empedansı değeri
 $f_{rÖlç}$ Ölçülen rezonans frekansı
 $BG_{Ölç}$ Ölçümden elde edilen band genişliği
 $Z_{Ölç}$ Ölçümden elde edilen anten giriş empedansı değeri
 Z_{Teo} Teorik anten giriş empedansı değeri
 BG_{Teo} Teorik band genişliği
 L_s Dikey yarık kolunun uzunluğu veya O-yarığın çapı
 W_s Yarık genişliği
 L_{ss} Yatay yarık kolunun uzunluğu veya P-yarıklar arasındaki mesafe
 L_ζ Çentik uzunluğunu
 W_ζ Çentik genişliğini
 W_p Yarıklar arası uzaklık
 L_{ps} Yarıkların yama tabanına olan uzaklığı
 L_{ss} Yarığın yama tepesine olan uzaklığı
 r_{os} O-yarık yarıçapı
 W_{os} O-yarık merkezinin yama tepesine olan uzaklığı
 v_d O-yarık merkezinin yama tepesine olan uzaklığı
 h_{kapak} Dielektrik kapak kalınlığı
 ϵ_{rkapak} Kapağın dielektrik sabiti

Kısaltmalar

- ADK Antenna Design Kit
AKB Açıklık Kuplajlı Besleme
BAY Bandgenişliğini Arttırma Yöntemleri
BG Band genişliği
CPW Eşdüzlemlı Dalga Kılavuzu (Coplanar Wave Guide)
DAMŞA Dairesel Mikro Şerit Anten
DBS Sayısal Yayın Sistemi (Digital Broadcasting System)
DÇ Dikdörtgen Çentik
DMŞA Dikdörtgen Mikro Şerit Anten
DNG Çift Negatif materyeller, Metamateryaller (Double Negative)
DPS Çift Pozitif Materyaller (Double Positive)
EBB Elektromanyetik Band Boşluğu (Electromagnetic Band Gap)
EBG Empedans Band Genişliği
EÜMŞA Eşkenar Üçgen Mikro Şerit Anten
FDTD Sonlu Fark Zaman Domeni Metodu
FEM Sonlu Eleman Metodu
GMŞH Gömme Mikro Şerit Hat
GPS Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
GSM Mobil Haberleşme için Küresel Sistem (Global System for Mobile Communication)
GTD Geometrik Saçılma Teorisi (Geometric Theory of Diss)
HB Hat Besleme
HFSS Yüksek Frekans Yapısal Simulatörü (High Frequency Structural Simulator)
HPBW Yüksek Güç Band Genişliği (High Power Bandwidth)
IC Tümlleşik Devre (Integrated Circuit)
 K Toprak düzlemi ifadesinde taban kalınlığının katsayısı
KB Koaksiyel Besleme
KBG Kesirsel Band Genişliği
KH Koaksiyel Hat
Kİ Kapak İlaveli
KMŞA Kare Mikro Şerit Anten
LHM Solak Materyaller (Left Handed Materials)

MEMs Mikromekanik Elektronik Makineler (Micromechanic Electronic Machines)

MGP Değiştirilmiş Toprak Düzlemi (Modified Ground Plane)

MKB Mesafe Kuplajlı Besleme

MoM Momentler Metodu

MŞH Mikro Şerit Hat

MTM Metamateryeller (Metamaterials)

Q Kalite Faktörü (Quality Factor)

PCB Baskı Devre Kartı (Printed Circuit Board)

PI Pin İlaveli

PIFA Düzlemsel Terslenmiş F-Anten (Planar Inverted F-Antenna)

RF Radyo Frekansı (Radio Frequency)

RFID Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification)

S-parametreleri Saçılma Parametreleri (Scattering Parameters)

SYMŞA Selçuklu Yıldızı şekilli Mikro Şerit Anten

SY Selçuklu Yıldızı

USLMES U-yarık Yüklü Modifiye Edilmiş E-Şekilli (U Slot Loaded Modified E-Shape)

VSWR Gerilim Duran Dalga Oranı (Voltage Standing Wave Ratio)

WLAN Kablosuz Yerel Alan Ağı (Wireless Local Area Network)

WIMAX Mikrodalga Erişim için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik (Worldwide Interoperability for Microwawe Access)

YI Yarık İlaveli

1. GİRİŞ

Mikroşerit yama antenler; arasında istenilen kalınlıkta bir dielektrik tabakanın bulunduğu iki iletken yüzeye sahip malzemeler üzerine oluşturulan anten tipleridir. Mevcut iletken yüzeylerden biri toprak düzlemini meydana getirirken diğer iletken yüzeyin üzerine istenilen geometrik şekilde yama anten tasarımı gerçekleştirilir. Mikroşerit antenler basit yapısı, tasarım ve üretim kolaylığı sebebiyle günümüz kablosuz haberleşme uygulamalarında en sık tercih edilen anten tiplerinden biridir. Mikroşerit yama antenlerin en büyük dezavantajlarından biri ise dar band genişliğine sahip olmasıdır. Günümüz kablosuz haberleşme uygulamalarındaki band genişliği ve yüksek hız gereksinimi arttıkça, bu antenlerin band genişliklerinin artırılması üzerine yapılan çalışmalar da önem kazanmaktadır (James ve ark 1981, Arslan ve Di Benedetto 2006, Hadalgi ve ark 2010, Cicchetti ve ark 2015). Bu çalışmalarda, mikroşerit yama antenlerin band genişliklerini artırmanın yanında, antenlerin boyut, ışınma desen, kazanç gibi diğer özelliklerini de iyileştiren pek çok yöntem araştırılmaktadır. Bu tez çalışmasında, mikroşerit yama antenler üzerine uygulanan band genişliğini artırma yöntemlerinden en yaygın kullanılanları incelenerek hangi yöntemin, hangi tip yama antenlerde daha etkin olduğu araştırılmış ve tasarımcılar için uygun yöntemin belirlenmesinde kullanılacak ipucu niteliğindeki sonuçlar verilmiştir. Ayrıca tez çalışması kapsamında Selçuklu Yıldızı şekilli mikroşerit yama anten tasarımı gerçekleştirilerek mevcut diğer yama şekillerine göre çeşitli üstünlüklere sahip yeni bir yama şekli elde edilmiştir.

Tezin birinci bölümünde, mikroşerit yama antenlerin temel yapısı ve gelişiminden bahsedilerek tez metninin içeriği açıklanmıştır. Ayrıca bu bölümde tezin amacı ve genişband antenlere duyulan ihtiyaçtan da bahsedilmiştir. Kaynak araştırması yapılarak literatürde band genişliğini artırma yöntemleri üzerine yapılan benzer çalışmalar ve yaygın kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

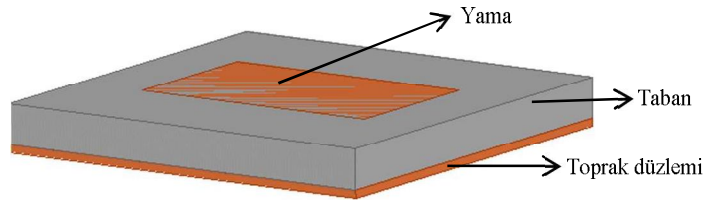
İkinci bölümde, tez çalışmasında ve literatürde kullanılan band genişliğini artırma yöntemleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, tez çalışması kapsamında yapılan mikroşerit yama anten tasarımları ve kullanılan band genişliğini artırma yöntemlerine yer verilmiştir. Bu bölümde, yapılan anten tasarımlarının teorik hesaplamaları gerçekleştirilerek simülasyon ve ölçümler sonucu elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Yine, tez çalışması ile belirlenmesi hedeflenen en uygun band genişliğini artırma yöntemleri, kullanılacakları uygun mikroşerit anten tipleri ile beraber gösterilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde ise tez çalışmasının sonuçları tartışılarak ilerki zamanlarda yapılabilecek çalışmalar ve geliştirilebilecek yöntemler üzerine önerilerde bulunularak tez metni sonlandırılmıştır.

1.1. Mikroşerit Antenlerin Temelleri

Pek çok kablosuz sistem gerekliliklerini yerine getiren anten tiplerinden olan mikroşerit yama antenler baz istasyonları ve el tipi cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikroşerit antenler çok çeşitli yapılara sahiptir ve bu yüzden uzun yıllardır anten araştırmaları ve gelişiminde en aktif alanlardan birisidir (James ve ark 1981, Hall ve ark 1989). Mikroşerit yama antenleri, sağladıkları üstünlüklere göre, mobil ve uydu haberleşme sistemleri gibi kablosuz haberleşme sistemlerinde giderek daha geniş uygulama alanları bulmaktadır. En basit haliyle, mikroşerit anten yapısı, düşük kayıplı yalıtım malzemesinden imal edilmiş dielektrik taban olarak adlandırılan ince bir tabakayı içerir. Bu tabakanın toprak düzlemi olarak adlandırılan bir yüzü tamamen metalle kaplıdır, diğer yüzü ise sadece devrenin ya da anten şeklinin basılı olduğu kısım metalle kaplı olarak imal edilir. Metal yüzeyler altın, bakır, alüminyum gibi iyi iletkenlerden seçilirken bu yüzeylerin μm mertebesinde kalınlığa sahip olmaları tercih edilmektedir. Böylece yaşanabilecek iletken kayıplarının en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır. Mikroşerit yama antenin temel yapısı Şekil 1.1’de gösterildiği gibidir. İletkenler arasında bulunan dielektrik malzeme ise 0.25 mm’den 25 mm’ye kadar değişen farklı kalınlıklara sahip olabileceği gibi, malzemenin dielektrik sabiti değeri yaygın olarak yaklaşık 1 ila 12 arasında seçilmektedir.



Şekil 1.1: Temel mikroşerit yama anten yapısı

Mikroşerit yama antenlerin sağladığı avantajlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır:

1. Küçük ve hafif olmasından dolayı kullanımları kolay ve üretimleri ucuzdur.
2. Basılı devrelerle birlikte düşük güçte kullanım imkânı sağlarlar.

3. Sistem emniyetini arttırarak diğer devre elemanlarıyla uyumlu biçimde yerleştirilebilirler.

4. Basılı devrelerdeki incelik ve düşük hacim gereksinimlerimden dolayı boyutlarında küçültmeler gerçekleştirilebilir.

5. Tasarımcının temel devre şeklinin tasarımını tamamlayıp gerçekleştirmesi ve doğruluğu test etmesi sonrasında büyük ölçekli üretimler hızlı ve düşük maliyetli olarak tamamlanabilir.

Bunların yanı sıra mikroşerit yama antenlerin önemli dezavantajları da mevcuttur.

Bunlar,

1. Düşük band genişliği
2. Düşük kazanç
3. Geniş besleme hatlarında büyük omik direnç kayıplarına sahip olmaları
4. Besleme hattı civarında antenin ışırma desenini bozucu ışımaların olması
5. Yüzey dalgalarının uyartımı
6. Düşük kutuplama temizliği

olarak sıralanabilir.

Mikroşerit antenlerdeki ve anten dizilerindeki hızlı ilerlemelerin çoğu 1980'lerde görülmüştür. Öncelikle bu ilerlemeler savunma ve uzay alanlarındaki uygulamalarla gerçekleştirilmiştir. Sonrasında bu teknoloji ticari alanda da ilerleme sergilemiştir. Savunma ve uzay uygulamaları için tasarlanan mikroşerit yama antenlerde özellikle maksimum performans ve düşük maliyetli üretim istenmektedir. Diğer yandan, ticari uygulamalarda ise düşük maliyetli bileşenler elektriksel performansın azalması göze alınarak talep edilmektedir. Böylece ticari sistemler için tasarlanan mikroşerit yama antenler nispeten ucuz malzemeler, basit ve ucuz üretim tekniklerini gerektirmektedir. Çizelge1.1'de günümüzde mikroşerit antenlerin kullanıldığı bazı ticari sistemler listelenmiştir (Garg ve ark 2001).

Çizelge 1.1: Mikroşerit anten uygulamaları

Uygulama Türü	Çalışma Frekansı
GPS	1227 ve 1575 MHz
GSM	890-915 ve 935-960 MHz, 1800, 1900 MHz
WLAN	2.40-2.48 GHz ve 5.4 GHz
WIMAX	2.3-2.5 GHz
Hücresele Video ve DBS	28 GHz ve 11.7-12.5 GHz
Otomatik Geçiş Ücreti Toplama	905 MHz ve 5-6GHz
Çarpışma Engelleme Radarı	60, 77 ve 94 GHz
Geniş Alan Bilgisayar Ağları	60 GHz
RFID	125-134kHz, 13.56MHz, 860-960MHz, 2.45GHz ve 5.8GHz

1.1.1. Mikroşerit Yama Antenlerin Analizi için Yaygın Olarak Kullanılan Matematiksel Modeller

En yaygın yama şekillerinden biri olan dikdörtgen mikroşerit antenin rezonans uzunluğunun tabanın etkin dielektrik sabiti dikkate alındığında, yaklaşık yarım dalga boyu kadar olduğu bilinir. Temel bir dikdörtgen mikroşerit radyatörün yaklaşık rezonans direncinin belirlenmesi için analiz metotları istenmiştir. Bir mikroşerit antenin kenarındaki yaklaşık direnç değerini veren en eski ve faydalı model iletim hattı olarak bilinir ve Munson tarafından geliştirilmiştir (Munson 1974). İletim hattı modeli en basit mikroşerit anten tasarımı inceleme imkânı sağlar; fakat birden fazla rezonans modunun mevcut olduğu durumlarda tam anlamıyla yeterli değildir. 1970'lerin sonlarında, Lo ve arkadaşları (1979), dikdörtgen mikroşerit anten için kayıplı rezonans boşluğu olarak bilinen bir model geliştirmişlerdir (Lo ve ark 1979). Bu modelin karmaşık yapıdaki mikroşerit anten analizine uygun biçimde genişletilmeleri gerekmiştir (Gan ve ark 2004, Verma ve Nasimuddin 2004, Mahajan ve ark 2008, Hsu ve ark 2010, Maity ve Gupta 2015). Basit geometrilerine rağmen mikroşerit antenlerin kesin yöntemler kullanılarak analiz edilmeleri oldukça zordur. 1980'lerde Momentler metodu (MoM) güncel bilgisayarlarla hesaplama olarak yeterli gelen ilk sayısal analiz metodu olmuştur. Gelişen bilgisayarlarla mikroşerit antenlerin pratik olarak analiz edilmesine yetecek büyüklükte hafıza ve yeterli hıza sahip işlemcileri desteklenmeye başlanmıştır (Mosig ve Gardiol 1983, 1985, Mosig 1988, Hildebrand ve McNamara 1995). 1990'lardaki kişisel bilgisayarların hesaplama gücü ve hafıza boyutlarının artışı sonrası sonlu fark zaman domeni metodu (FDTD) ve sonlu eleman metodu (FEM) gibi MoM'dan daha fazla hafıza gerektiren sayısal metotlar tasarımcılar tarafından kolaylıkla kullanabileceği günlük araçlar haline gelmiştir (Zhou ve Wahid 1998, Xia ve ark 2000, Liu ve ark 2007, Namkung ve ark 2007, Soliman 2007, Biswas ve Banik 2012, Rashmi ve ark 2013, Yang ve ark 2013, Adnet ve ark 2014). Yine mikroşerit antenlerin ve diğer mikrodalga yapı elemanlarının modellenmesinde çeşitli Yapay zekâ teknikleri kullanılmaktadır (Ramahi ve Lo 1992, Eclercy ve ark 1997). Bu tekniklerden mikroşerit anten parametrelerinin bulunmasında ve bu parametrelerin iyileştirilmesinde de faydalanılmaktadır (Sagiroglu ve Guney 1997, Sagiroglu ve ark 1998, 1999, Harkouss ve ark 2000, Guney ve ark 2002, Gultekin ve ark 2003, Guney ve Sarikaya 2003, Somasiri ve ark 2004, Guney ve Sarikaya 2006, Angiulli ve ark 2007, Kulshrestha ve ark 2011, Merad ve ark 2011, Tian ve ark 2011, Kayabasi ve Akdagli 2015).

1.1.2. Simülasyon

Bilgisayarların hız ve hesaplama kapasitelerinin artmasıyla beraber mühendislik tasarımlarında ve imalat alanında kullanımları da artmıştır. Yine mühendislere tasarım ve hesaplanmalarında yardımcı olacak pek çok yazılım üretilmiştir. Özellikle simülasyon yazılımları da gün geçtikçe gelişmektedir. Tasarım ve üretimde yüksek doğrulukla hızı artırarak ve maliyetleri düşürerek büyük faydalar sağlayan simülasyon yazılımları uzay ve savunma sanayinden inşaat ve imalat sektörüne kadar pek çok alanda kendine kullanım yeri bulmuştur ve günümüzde vazgeçilemez bir mühendislik yardımcı aracı olarak düşünülmektedir.

Mikrodalga ve anten tasarımlarında yaygın olarak kullanılan simülasyon yazılımlarından bazıları HFSS, IE3D, AWL, Supernec, Antenna Magus olarak sıralanabilir. Bu yazılımlardan tez çalışmasında da kullanılan HFSS (High Frequency Structural Simulator) elektromanyetik yapıları sonlu elemanlar yöntemi ile çözen yazılımsal bir simülasyon aracıdır. Üreticisi Ansys Corporation'dır. HFSS, endüstriyel standartlarda üç boyutlu tam dalga elektromanyetik alan simülasyonu için kapsamlı bir programdır. HFSS; elektrik ve manyetik alanları, akımları, S-parametreleri ile uzak ve yakın alan ışınım sonuçlarını verebilir. Antenlerin, filtre içeren karmaşık RF devrelerinin, iletim hatlarının tasarımında en yaygın kullanılan birkaç ticari yazılımdan biridir (www.ansys.com/HFSS 2015, www.figes.com 2015).

Yazılımın ilk aşamaları Carnegie Mellon Üniversitesi'nden Prof. Dr. Zoltan Cendes ve öğrencileri tarafından geliştirilmiştir. Sonrasında Zoltan Cendes ve kardeşi Nicholas Cendes Ansoft'u kurmuşlar ve 1989'da Hewlett-Packard aracılığı ile bağımsız bir yazılım olarak HFSS'i satmaya başlamışlardır. Sonraki yıllarda gelişen birçok ticari ilişki ve anlaşmaların neticesinde Ansoft, Ansys Corporation tarafından satın alınmıştır. HFSS de Ansys Corporation'ın bir ürünü olarak satılmaktadır.

Bir mühendislik tasarım aracı olarak HFSS'in başarısının sırrı otomatik çözüm işlemine sahip olmasıdır. Bunun anlamı kullanıcıların sadece geometri, malzeme özellikleri ve istenen sonuçları girmesinin ardından çözümün otomatik olarak yapılmasıdır. Bu noktada HFSS, FEM kullanarak problemi çözmek için otomatik olarak uygun, etkili ve eksiksiz ağ oluşturma işlemini yapar. HFSS ile sonlu elemanlar fiziği değil, fizik, sonlu elemanlar ağını tanımlanır. Mühendisler; pasif gömülü elemanlar, tümleşik devre (IC) paketleri, baskı devre kartı (PCB) ara bağlantıları ve anten,

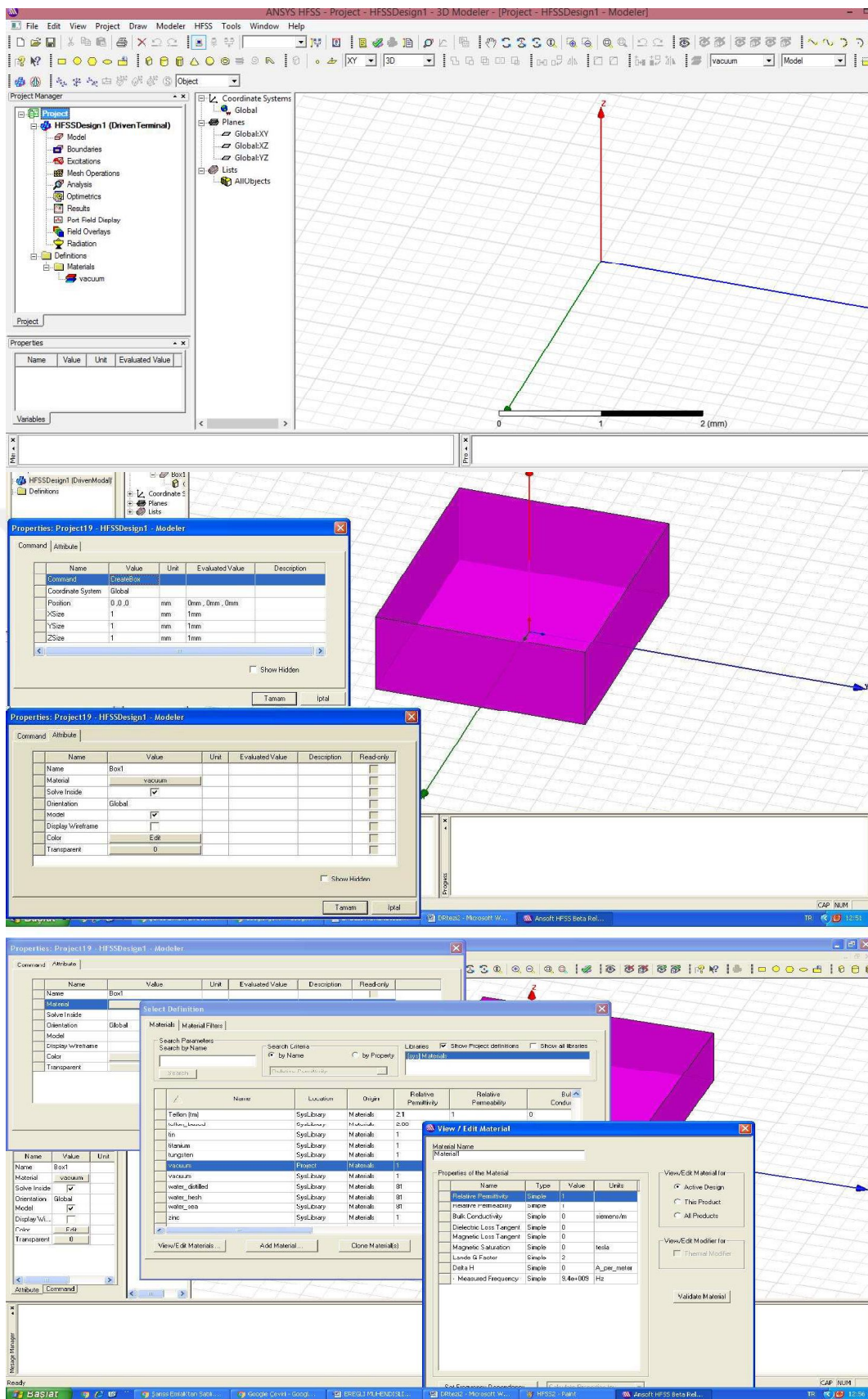
RF/mikrodalga bileşenleri, biyomedikal cihazlar gibi yüksek-frekans yapıları tasarımlarında HFSS'in doğruluğuna, yeteneğine ve performansına güvenirlir.

HFSS'in altın standart doğruluğu, gelişmiş çözücü ve yüksek performanslı hesaplama teknolojisi onu mühendislerin temel bir tasarım aracı haline getirmektedir. HFSS; geniş mikrodalga, RF ve yüksek hızlı dijital uygulamaları çözmek için sonlu eleman, integral eşitliği veya gelişmiş hibrit metotlara dayanan çoklu teknoloji harikası çözümleyici teknolojileri sunar. Yazılım giriş ve uyumlandırma ağı tasarımları için *Optimetrics* ile birleştirilmiş lineer devre simülatörünü içerir.

HFSS'te özellikle mikroşerit yama anten tasarımı gerçekleştirilirken tasarımcılar oldukça temel ve basit adımlar kullanarak simülasyona hazır halde bir dosya oluşturabilmektedirler. Öncelikle geometrik olarak anteni oluşturacak yapıların fiziksel boyutları ve konumları belirlenir. Ardından yapıyı oluşturacak malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri seçilerek tasarıma devam edilir. Yazılım esnek olarak tasarımcıya istenilen şekilde bir yapı oluşturma ve kullanacağı malzemeleri girerek kütüphaneye yeni malzemeler kazandırma özelliklerine de sahiptir. Yapı oluşturulduktan sonra sonlu eleman analizi için gerekli parametreler girilerek işlem süreci başlatılır. Antenin hangi frekans aralığında çalışacağı, antenin ışıma yapacağı ortamın özellikleri, sonuçların hangi biçimde alınacağı kullanıcı tarafından belirlenir.

Kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri ve oluşturulan yapının fiziksel büyüklüğü simülasyon hızını doğrudan etkileyen faktörlerdendir. HFSS'te anten yapısına atanacak olan örgü boyutları otomatik olarak belirlenirken elde edilecek sonucun doğruluk oranı tasarımcıya bırakılmıştır. Şekil 1.2'de HFSS ara yüzü ve en sık kullanılan menüler görülmektedir.

Literatürde simülasyon yazılımları kullanılarak gerçekleştirilen pek çok çalışma mevcuttur. (Clenet ve ark 1999, Kaya ve ark 2004, Latif ve ark 2005, Lindberg ve Ojefors 2006, Abdelaziz 2008, Lin ve Row 2008, Dastranj ve Abiri 2010, Anguera ve ark 2011, Gultekin ve Uzer 2011, Chen ve ark 2012, Chung ve Chaimool 2012, Dundar ve ark 2012, Uzer ve Gultekin 2012, Uzer ve ark 2012, Uzer ve ark 2012, Uzer ve ark 2012, Veysi ve Jafargholi 2012, Chattopadhyay ve ark 2013, Kandwal ve ark 2013, Baudha ve Kumar 2014, Çalışkan ve ark 2015, Malekpoor ve Jam 2015, Panda ve ark 2015, Shinde ve Shinde 2015, Uzer ve Gültekin 2015, Uzer ve ark 2015, Zarrabi ve ark 2015, Zhong ve ark 2015).



Şekil 1.2: HFSS ana ekran görünümü ve yaygın kullanılan menüler

1.2. Geniş Band Mikroşerit Yama Antenlere Olan İhtiyaç

Mikroşerit yama antenler boyut, ağırlık, performans ve maliyetin anahtar gereklilikler olduğu pek çok alanda görev almaktadır. Bu antenler dar band genişliğinden mustarıptirler. Araştırmacılar çeşitli vesilelerle empedans band genişliğini arttırmak için sürekli çaba sarf etmektedir. Bunun sebebi modern kablosuz haberleşme sistemlerindeki artışla beraber bir antenin hem alıcı hem de verici olarak aynı cihaz üzerinde çoklu işlem uygulamalarında kullanılması gereğinin doğmasından kaynaklanmaktadır.

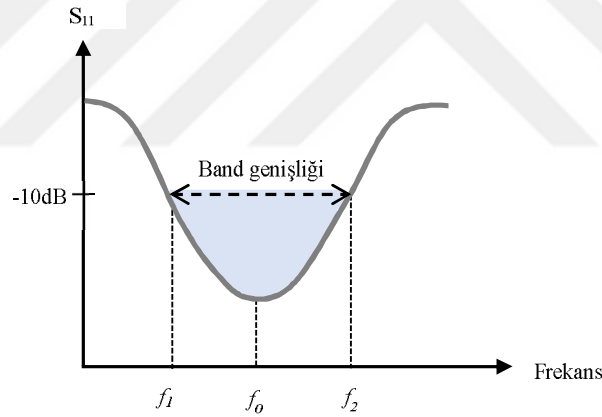
Kablosuz haberleşme uygulamalarında, düşük profilli, tümleşik boyutlu düzlemsel anten için olan talep, gün be gün artmaktadır. Hafif, küçük boyutlu taşınabilir kablosuz cihaz tasarımındaki ilerlemeler hız kazanmaktadır. Çeşitli tiplerdeki düşük profilli ve oldukça verimli ışıma elemanları düşük maliyetle kolayca üretilebilecek şekilde geliştirile gelmektedir. Geleneksel mikroşerit yama, dar band genişliği dezavantajından ötürü mobil kablosuz uygulamalar için iyi bir aday değildir. Bu sebeple, çoklu band anten için boyut küçültme çalışmalarıyla beraber alışılmadık yaklaşımlar araştırılmaktadır. Farklı geometrik şekillerde tasarlanmış ışıma elemanlarına sahip mikroşerit Düzlemsel Terslenmiş F-Anten (Planar Inverted F-Antenna, PIFA) gibi diğer farklı mikroşerit yapılar daha başarılı adaylardır. Burada asıl amaç kablosuz haberleşme uygulamaları için küçük boyutlu, kolay ve düşük maliyetle imal edilebilecek, aynı zamanda da çok bantlı çalışma ve akıllı anten sistemlerinde MEMs bütünleşmesi için uyumlu olan antenler tasarlamaktır. Literatürdeki pek çok araştırma bu anten tiplerine ve bu antenlerin geliştirilmesine yoğunlaşmıştır (Moren ve Rowell 2002, Panaia ve ark 2004, Diallo ve ark 2006, Ali ve ark 2007, Gupta ve ark 2008, Zhang ve ark 2009, Cetiner ve ark 2010).

Bu tez çalışmasında farklı band genişliği artırma yöntemleri kullanılarak daha büyük band genişliğine sahip mikroşerit yama antenlerin tasarlanması amaçlanmaktadır. Çalışmada tasarlanacak antenlerin band genişliğini artırma yöntemleri uygulanmış haliyle uygulanmadan önceki performansları karşılaştırılarak elde edilen başarının belirlenmesi yoluna gidilecektir. Tezin bir başka amacı ise kendi aralarında çeşitli parametreler açısından karşılaştırma yapılarak band genişliğini artırma yöntemleri arasında hangisinin daha verimli olduğunun belirlenmesi olacaktır.

Yine aynı anten üzerinde birden fazla band genişliğini artırma yönteminin birlikte kullanılmasıyla anten performansındaki değişimler incelenecektir. Tezde; yama üzerine

çeşitli tipte yarıkların açılması, yamada yakınlık kuplajlı besleme ve gömme besleme kullanımı, çok katmanlı anten tasarımı vb. mevcut band genişliğini artırma yöntemlerinin tek başına ya da birlikte kullanılmasıyla anten performansının band genişliği bakımından iyileştirilmesi de hedeflenen sonuçlar arasındadır.

Bir antenin band genişliği, antenin genel özelliklerinin standart değerlerini koruyarak çalışabildiği frekans aralığı olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle, band genişliği; antenin merkez frekansı civarında kalan ve antenin giriş empedansı, ışıma deseni, ışın genişliği, kutuplama vb. parametrelerinin kabul edilebilir değerleri koruduğu bölgeyi kapsar. Tez çalışmasında ifade edilen band genişliği, giriş empedansı ya da dönüş kaybına dayanır. Antenin band genişliği genellikle 50Ω olan sabit bir empedansa karşılık yapının kullanılabilen bir band genişliğine sahip olduğu frekans aralığı olarak tanımlanır ve sıklıkla S_{11} 'in -10dB 'in altında olduğu frekans bandı ile temsil edilir. Şekil 1.3 yama antenin frekansa karşılık gelen empedans band genişliğini göstermektedir. S_{11} 'in -10dB 'in altında kaldığı frekans bölgesi antenin empedans band genişliği olarak tanımlanır (Bakshi 2010).



Şekil 1.3: Frekansa karşılık empedans band genişliğinin gösterimi

Mikroşerit yama antenlerin kullanım alanlarını kısıtlayan en büyük faktörlerden biri sahip oldukları dar band genişlikleridir. Doğrusal kutuplamalı bir yama antenin çalışma band genişliği antene ait giriş genlik duran dalga oranı (VSWR) değeri ile doğru (veya yansıma kaybı) ve yama rezonatörünün Q - faktörü ile ters orantılıdır. Tipik kesirsel band genişliği değerleri % 2 ila % 4 arasında değişmektedir. Bu değerlerin günümüz geniş band uygulamaları için yetersiz kalacağı açıktır. Bu yüzden son yıllarda mikroşerit antenlerin band genişliğini arttırmaya yönelik pek çok girişim mevcuttur. Bu tez çalışmasında da geniş band mikroşerit yama antenlerin tasarlanmasına olanak sağlayacak çeşitli yöntemlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Kesirsel BG, çalışma frekansı f_0 arttıkça artar (Gupta 1988, Garg ve ark 2001). Birden fazla frekansta rezonansa uğrayan ve geniş bir bölgede çalışan antenler için kesirsel band genişliğini hesaplariken aşağıdaki formülden faydalanılır:

$$\%KBG = 2 \times \frac{(f_2 - f_1)}{(f_2 + f_1)} \times 100 \quad (1.1)$$

Empedans band genişliğini hesaplariken ise aşağıdaki ifade kullanılır:

$$\%EBG = \frac{(f_2 - f_1)}{f_0} \times 100 \quad (1.2)$$

Burada f_0 , en küçük dönüş kaybı değerini veren ve antenin çalışması istenilen rezonans frekansını, f_1 ve f_2 ise sırasıyla dönüş kaybı grafiğinin -10dB değerlerini kestiği noktalara karşılık gelen alt ve üst frekans değerleri olarak ifade edilir.

Günümüzde geniş band uygulamaları ağırlık kazandıkça pek çok uygulama alanında tercih edilen mikroşerit antenlerin kullanım alanları dar band genişliği dezavantajlarından ötürü sınırlanmaktadır. Eğer en uygun ve verimli band genişliğini arttırma yöntemi tespit edilerek mikroşerit yama antenlerin band genişliği seçilen uygulamaya bağlı olarak istenilen ölçüde arttırılabilirse tasarlanacak cihaz ve kullanılacak uygulama alanlarının da genişlemesinin önü açılacaktır.

Tez çalışmasının hedeflerinden olan hangi band genişliğini arttırma yönteminin daha etkin performans sergileyeceğinin belirlenmesinin gerçekleştirilmesiyle gelecekte bu alanda çalışma yapacak olanlara da yol gösterilmiş olacaktır.

Tezde ayrıca farklı özelliklere sahip taban malzemeleri kullanılarak tasarlanan antenlerde hangi band genişliğini arttırma yönteminin daha iyi sonuç sağlayacağı değerlendirilecektir. Böylece o tipte bir band genişliğini attırma yöntemi kullanmaya karar verilmesi halinde seçilmesi gereken malzeme tipi ve bu malzemenin sahip olması gereken özellikler de belirlenerek literatür ile paylaşılacak ve yine gelecekteki tasarımcılara bu tez çalışması ile fikir verilmiş olacaktır.

Bir antenin performansının tam anlamıyla görülebilmesi için bu antenin üretimi yapılarak gerekli ölçümlerin tamamlanması gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda simülasyonlar ve teorik hesaplamalar antenlerin gerçek çalışmasını tam olarak yansıtamamaktadır. Çünkü antenlerin çalışacağı ortamlarda pek çok bozucu etken mevcuttur. Ayrıca hiçbir simülasyon yazılımı ya da parametreler hesaplanırken kullanılan

anten modeli % 100 doğrulukta değildir. Bu nedenlerden dolayı, tez çalışmasında hesaplamalar, simülasyon ve ölçümlerin birarada gerçekleştirilmesiyle en doğru sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir.

Mikroşerit antenler mikrodalga frekanslarında çalıştıklarından ötürü küçük boyutlu olup aynı zamanda mm ve μm hassasiyetindedirler. Mikroşerit anten üretimindeki problemler antenlere özel malzeme üretimi olmadığı için bu malzemelerin dielektrik sabiti ve kalınlığı istenilen değerlerde ayarlanamaması ve üretim esnasındaki lehimleme ve kazıma hataları ile kazımadan sonra oluşan baskı çökmeleri en sonda elde edilen antenin fiziksel boyutlarını dolayısıyla da performansını değiştirmesi olarak sıralanabilir. Mikroşerit antenin yama veya toprak düzlemi kenarında oluşan çapaklanmalar ya da besleme noktasının veya yama boyutlarının hatalı üretimi, antenin çalışacağı frekansı, band genişliğini ve ışıma desenini bozucu yönde değiştirebilmektedir. Bu durumların önüne geçilebilmesi amacıyla tezde farklı üretim teknikleri denenmiştir. Antenlerin pek çoğu PCB prototip üretim makinası ile tam olarak istenilen ölçülerde üretilmiştir. Yine network analizör ile yapılan ölçümler birkaç kez tekrarlanarak sonuçların doğruluklarından emin olunmuştur.

1.3. Literatür Taraması

Genişband antenler üzerine çalışan araştırmacılar ayrıca geleneksel darband antenler üzerinde de pek çok avantaja imza atmaktadır. Yapılan çalışmalara genel olarak bakılırsa; (Lee ve ark 1997)'de koaksiyel proba beslenen dikdörtgen yama üzerine U-şekilli yanık yüklemesiyle %20 ila %30 civarında bir empedans band genişliği elde edilebilmiştir. Fano'nun yayın uyumlandırma tekniğinin kullanılmasıyla empedans band genişliğinin 3.9'lük bir faktörle arttırıldığı bir empedans uyumlandırma ağı çalışması (Pues ve Vandecapelle 1989)'da incelenmiştir. Koaksiyel proba beslenen E-şekilli yama anten ise (Yang ve ark 2001)'da % 30'luk bir empedans band genişliği sağlamıştır. (Ge ve ark 2004)'de sunulan başka bir E-şekilli yama çalışması ise besleme mekanizması olarak mikroşerit iletim hattı kullanmış ve % 19.5'lik bir empedans band genişliği sağlamıştır. Bahl ve arkadaşları (2001) çok katmanlı yığılı elemanlar empedans band genişliğini arttırmak amacıyla kullanılmıştır (Bahl ve ark 2001). Kısa devre pini ve duvarıyla çeyrek dalga boyu yamasında % 20.7'lik bir empedans band genişliği elde edilmiştir (Mok ve ark 2003). Bu yöntem aynı zamanda yama boyutunu belirgin şekilde

azaltmaya yardımcı olmaktadır. Aynı yapıdaki kısa devre duvarı üçgen şekilli yamayla birleştirilerek %30' luk bir empedans band genişliği elde edilmiştir (Li ve ark 2004). Nispeten daha küçük bir toprak düzlemiyle birlikte %35'lik bir empedans band genişliği sunan U-yarık yüklü modifiye edilmiş E-şekilli (USLMES) genişband yama anteni çalışılmıştır (Bakshi 2010). U-yarık genişband performansı elde etmek için mecburi bir parametre olarak kabul görmektedir. İlaveten, yama yüzeyi ile toprak düzlemi arasındaki hava boşluğu yüksekliğinin değişimi USLMES'in empedans band genişliğini etkilediği görülmektedir. Ayrıca, koaksiyel probun koaksiyel prob nedeniyle yüksek çapraz kutuplama üretiminden kaçınmak için yama alanının dışında bulunması durumu göz önüne alınmıştır. Yama, gerçek bir mikrodalga tabanı olan ve bundan dolayı koaksiyel probun Foam malzeme kullanılmasından daha kolay lehimlenmesinin mümkün olduğu düşük maliyetli FR-4 taban üzerine basılmıştır. USLMES yama anteni baz istasyonu antenlerine ilaveten diğer benzer kablosuz haberleşme uygulamaları gibi uygulama alanları bulabilir (Bakshi 2010).

Mikroşerit antenin band genişliğinin artırılması için, anten boyutu, toprak düzlemi boyutları ve şekli, kullanılan dielektrik malzemenin özellikleri gibi temel parametreler üzerine de çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yama şeklinin seçimi, band genişliği üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Geleneksel geometrilerin yanında yüzey alanı ve kutuplama gibi avantajlarından dolayı farklı şekillerde yamalar da tasarımlarda tercih edilmektedir (Chen ve ark 2010, Uzer ve Gultekin 2012, Imeci 2015, Patre ve Singh 2015, Rawat ve Sharma 2015). Ayrıca fraktal yapı, yama ya da toprak düzlemi üzerine çeşitli şekillerde açılacak yarıkların yapısının belirlenmesinde de kullanılabilir (Sung 2011). Yine fraktal yapı kullanımıyla band genişliğinin artırılmasının yanında mikroşerit anten boyutunda da küçültme sağlanabilir (Mirzapour ve Hassani 2008).

Literatürde yaygın kullanılan band genişliğini artırma yöntemlerinden bir diğeri de yama üzerine çeşitli şekillerde yarıklar açmaktır (Sung 2012, Yang ve ark 2012, Chattopadhyay ve ark 2013, Ojaroudi ve Ojaroudi 2013, Shirzad ve ark 2013, Shinde ve Shinde 2015). Bu sayede yama yüzeyindeki akımın izleyeceği yol uzatılarak aynı boyuttaki antenin daha düşük frekanslarda ya da birden fazla frekansta ışıma yapması sağlanarak band genişliği artırılmış olmaktadır (Eskandari ve Azarmanesh 2009, Song ve ark 2009). Yarıklar istenilen geometrik şekilde seçilebilir. Yaygın olarak U, E ve O şekilli yarıklarla dikdörtgen yarıklar ve yama şekliyle uyumlu geometriye sahip yarıklar tercih edilmektedir (Sze ve Wong 1999, 2000, Guo ve ark 2001, Bhalla ve Shafai 2002,

Jang 2002, Weigand ve ark 2003, Deshmukh ve Kumar 2005, 2006, Ansari ve Ram 2008, Ansari ve ark 2009, AbuTarboush ve ark 2010, Qin ve ark 2010, Slomian ve ark 2013, Verma ve Ansari 2015). Yarıkların konumu ve boyutları da, şekli kadar anten performansını ve band genişliğini etkileyen faktörlerdendir (Gultekin ve Uzer 2011, Sameena ve Mulgi 2011, Uzer ve ark 2012).

Yarıklar yama yüzeyine açılabilceği gibi toprak düzlemi üzerine de çeşitli şekillerde açılmasıyla band genişliğinin artırılması ve diğer anten parametrelerinin iyileştirilmesi sağlanmıştır (Mandal ve Sarkar 2015, Prajapati ve ark 2015). Yine fraktal yapıda yarıklar açılarak değiştirilen toprak düzlemi kullanımı da band genişliğini arttırmada tercih edilmeye başlanan yöntemlerden biri haline gelmiştir.

Toprak düzlemi boyutlarının ve şeklinin değiştirilmesi anten band genişliği üzerinde olumlu etkiler yaratabilmektedir (Dundar ve ark 2011). Yine son zamanlarda güncel çalışmalarda toprak düzlemi üzerine çeşitli şekil ve boyutlarda yarıklar açılarak, besleme hattı yalnızca yama yüzeyi boyunca sınırlandırılarak ya da toprak düzlemi üzerinde benzer değişiklikler yapılarak antenlerin band genişliği ve diğer parametrelerinde iyileştirmeler sağlanmaktadır (Chair ve ark 2000, Mak ve ark 2003, Paulson ve ark 2003, Latif ve ark 2005, Xiao ve ark 2006, Bi ve Yu 2008, Sim ve Han 2008, Assila ve ark 2009, Prombutr ve ark 2009).

Literatürde genellikle mikroserit antenlerin boyutunun küçültülmesinde kullanılan bir yöntem olan kısa deve elemanı ilavesi aynı zamanda antenin band genişliği üzerinde de bir artışa yol açmaktadır. Yama iletkeni ile toprak düzleminin çeşitli pin, saplama ve iletken duvar elemanı ilaveleriyle antenin ışıma yapacağı frekans değerinin de belirlenmesi mümkün olmaktadır. (Fan ve Lee 1992, Lee ve ark 1995, Kuga ve Arai 1996, Porath 2000, Chair ve ark 2003, Mok ve ark 2003, Li ve ark 2004, Latif ve ark 2005, Row 2005, Mahmoud ve Sheta 2006, Xiao ve ark 2006, Liu ve ark 2008, Choi ve ark 2010, Sharma ve Rattan 2010, Zebiri ve ark 2011, Aydın ve Can 2012, Chaimool ve ark 2012, Chaimool ve ark 2012, Khotso ve ark 2012, Islam ve ark 2013, Mendhe ve Kosta 2014, Chen ve ark 2015, Kaka ve ark 2015, Razi ve ark 2015). Rezonans frekansı ve boyuttaki küçültme miktarı kısa devre elemanının boyutu, şekli ve konumuyla ilişkilidir. Bu yöntemin kullanıldığı bazı çalışmalarda band genişliğinde azalmalar görülsede, uygun anten ve eleman tipinin belirlenmesiyle bu yöntem de band genişliğini arttırmada ve anten performansını iyileştirmede kullanılabilir (Uzer ve Gültekin 2015).

Band genişliğini arttırma yöntemlerinin pek çoğunda matematiksel ifadeler henüz belirlenmemiş olup genellikle deneme yanılma yoluyla ve simülasyon yazılımları kullanılarak en iyi anten parametreleri belirlenmektedir. Yine bu amaçla çeşitli yapay zekâ teknikleri de band genişliğini arttırmada kullanılan yöntemlerin parametrelerinin belirlenmesinde etkin rol almaya başlamıştır (Gultekin ve Uzer 2011, Uzer ve ark 2012, Uzer ve ark 2012, Uzer ve ark 2012, Can ve ark 2013, Toktas ve ark 2013, Can ve ark 2014).

Mikroşerit antenleri mekanik olarak dış etkenlerden koruması amacıyla anten üzerine eklenen dielektrik kapakların ve yama yüzeyini kaplayan dielektrik malzemelerin band genişliği üzerinde olumlu etki yaratabileceği gözlenmiştir (Madhuri ve ark 2010, Uzer ve ark 2015). Burada kullanılan dielektrik malzemenin kalınlığı ve dielektrik sabiti önem arz etmektedir. Kalın ve düşük dielektrik sabitli malzemelerin seçilmesi band genişliğinin daha fazla arttırılabilmesine imkân tanımaktadır (Fan ve Lee 1992, Lee ve ark 1995, Row 2005, Zebiri ve ark 2011, Chaimool ve ark 2012, Chaimool ve ark 2012, Islam ve ark 2013, Mendhe ve Kosta 2014, Chen ve ark 2015, Kaka ve ark 2015, Razi ve ark 2015).

Bazı durumlarda tek bir BAY kullanımı, antenden istenilen performansı elde etmede yetersiz kalabilmektedir. Bu gibi durumlarda birden fazla BAY aynı anda antene uygulanarak istenilen iyileştirmeler elde edilebilir (Sim ve Tu 2007, Yadahalli ve ark 2007, Singh ve Meshram 2008, Choi ve ark 2009, Choi ve ark 2010, Khodae ve ark 2013, Akbari ve ark 2015, Malekpoor ve Jam 2015, Singh ve ark 2015). Birden fazla BAY' nin getireceği bazı zorluklar ise, deneme yanılma yoluyla yapılan çalışmalarda her bir yöntem için denenecek parametre sayısının ve dolayısıyla deneme sayılarının artışıdan farklı BAY'nin birbirleri üzerindeki etkilerinin çoğu durumda göz önünde bulundurulmaması ve olumlu beklenen sonuçlar yerine olumsuz sonuçların elde edilmesi olarak örneklenebilir. Yine, anten hacminde oluşacak artış ya da antenin analizinin zorlaşması da bu tipteki kullanımların dezavantajlarındandır.

2. BAND GENİŞLİĞİNİ ARTTIRMA YÖNTEMLERİ (BAY)

Mikroşerit yama antenin band genişliğini etkileyen faktörler; temel olarak yama şekli, besleme metodu, taban ve ışıyan yamalarla parazitik elemanların yerleşimidir. Yaklaşık yirmi yıldır literatürde bu faktörlere yönelik çok çeşitli band genişliğini artırma yöntemleri kullanılmaktadır.

Bir mikroşerit yama antenin band genişliği, düşük Q kalite faktörü değerine ve iyi şekilde uyartılan çoklu rezonans modlarına bağlı olarak artırılabilir. Eğer anten yüksek bir Q filtresi olarak dikkate alınır, yamanın çevresindeki enerjinin azaltılmasıyla Q 'yu küçültmek veya kayıpları azaltmak rezonans anındaki band genişliğini arttıracaktır. Bunun yanında, genişband empedans devresini antenle besleme hattı arasına yerleştirerek, geniş bir frekans aralığında iyi bir uyumlandırma elde edilebilir. Eğer iki ya da daha fazla bitişik mod eş zamanlı olarak yüksek kazançla beraber uyartılırsa, band genişliği tek rezonansa olandan iki ya da daha fazla katına çıkabilir.

Yine, düşük dielektrik sabitine sahip kalın bir taban bu antenlerin empedans band genişliklerinin artırılması için iyi bir seçimdir. Bu seçim de belirgin bir şekilde Q 'yu azaltır ve band genişliğini artırır.

Bir diğer önemli yapılandırma da ışınım verimini azaltan ve istenmeyen yüzey dalgalarından dolayı oluşan kayıpları arttırmak, sahte ışınmaları uyartmak ve ışınım desenlerini küçültmektir. Araştırmalar göstermiştir ki taban kalınlığıyla ışınım verimi hızlı bir şekilde azalırken empedans band genişliği belirgin olarak artar. Yine de, gerçekleştirilebilir band genişliği, taban kalınlığı belirli bir değeri geçtiğinde azalacaktır.

Geniş alana sahip bir mikroşerit yama anten kapalı alanın toplam hacminden daha verimli bir şekilde yararlanılamamasından dolayı düşük bir band genişliğine sahip olacaktır. Bu yüzden, mikroşerit bir yama anten yüksek Q devresi olarak düşünülebilir bu durumda dar band genişliği sorununun çözümü de Q değerini küçültmekten geçer. Araştırmalar göstermiştir ki yama şekli, en büyük boyutları aynı olsa bile, empedans band genişliğini etkilemektedir. Bu durumda, band genişliğindeki artış oldukça sınırlıdır. Çalışma modlarını etkileyen yamanın şekli antenin ışınım performansı için oldukça önemlidir. Bu sebepten ötürü, bu yöntem pratik tasarımlarda hemen hemen hiç kullanılmaz.

Band genişliği aşağıdaki yöntemler kullanılarak artırılabilir:

- Düşük dielektrik sabitli taban kullanımı
- Parazitik yama kullanımı (Panayi ve ark 1999)

- Yığılı elemanların kullanımı (Tong ve ark 2000)
- Toprak düzlemi boyutlarının değiştirilmesi (Huynh ve Stutzman 2003)

Mikroşerit antenin empedans band genişliği öncelikle tabanın dielektrik permitivitesi ve kalınlığına bağlıdır. Düşük dielektrik permitiviteli kalın bir taban basılı yamanın band genişliğini arttırabilir. Bu seçimlerin her ikisi de eğer tabanın kalınlığı antenin diğer mikrodalga devrelerle birleştirilmesinde bir zorluk yaratmıyorsa ve yüzey dalga yayılımına ve antenin giriş empedansının endüktif kısmının rezonansı engeleyecek şekilde büyümesine sebep olmuyorsa band genişliğini artırma problemine bir çözüm getirebilir. Böylece, taban seçiminde makul bir kalınlık dikkate alınmalıdır ve bandgenişliği ilave yöntemler kullanılarak genişletilmiş olacaktır. Bu yöntemlerden en yaygın ve etkili olanları:

- a) Basılı elemanın yüzeyini çeşitli şekillerdeki yarıklara yüklemek
- b) Mikroşerit yamanın kenarlarına farklı boyutlarda çentikler yerleştirmek

olarak sıralanabilir.

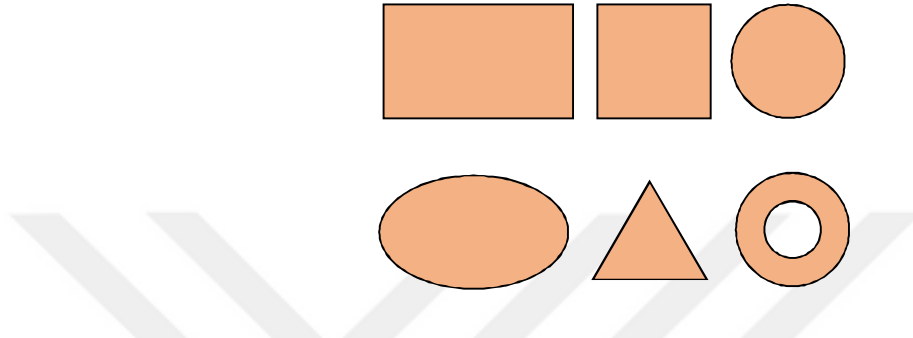
Band genişliğinin arttırılması için kullanılan diğer etkili yöntemler kısa devre edilmiş ya da edilmemiş yamaların yığılı biçimde yerleştirilerek kullanımı (Zaid ve ark 1999, Chair ve ark 2000, Hsiao ve Wong 2002) ve birden fazla mikroşerit rezonatör kullanımı (Wu ve Wong 1999) olarak açıklanmıştır. Yığılı yamalar yöntemi, band genişliğinin genel olarak dalgaboyu mertebesinde anten hacmiyle orantılı olmasına dayanır; fakat aynı zamanda göreceli olarak geniş bir anten hacmi pek çok uygulama için dezavantaj yaratır. Yığılı yama yöntemine göre, yarık ya da çentik yüklü yama yöntemi daha üstündür; çünkü bu yöntemlerde antenin küçük boyutlu ve düşük hacimli olması sağlanır (Nasimuddin ve ark 2011).

2.1. Yama Şeklinin Seçimi

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki, mikroşerit yama antenin hacmiyle band genişliği orantılıdır. Bu sebepten ötürü antenin uzunluk ve genişliğiyle dielektrik tabanın kalınlığı arttırılarak da band genişliği arttırılabilir; fakat sıralanan parametrelerin arttırılması bazı dezavantajlara yol açmaktadır. Öncelikle anten uzunluğu tasarımın yapıldığı dalga boyuyla ilişkili olduğundan tabanın dielektrik katsayısı küçültülerek boyutta artışa gidilebilir. Fakat bu yöntem kullanılırken besleme hattının daha çok enerji yayacağı göz önünde bulundurularak çapraz kutuplama ve yan kulakçık seviyeleri dikkatle incelenmelidir. Yine anten genişliğinin arttırılmasının boşlukta yüksek

dereceden modların uyarılmasına yol açabileceği unutulmamalıdır. Taban kalınlığının artırılmasıyla ise, yüzey dalgaları ve yüzeyde oluşacak kayıplar artmaktadır. Bu sebeplerden ötürü boyut arttırımından ziyade taban üzerine parazitik elemanların ilavesi tercih edilmektedir (Yazgan 2006).

Yıllardır mikroşerit yama antenler için pek çok iletken şekli önerilmiş ve araştırılmıştır. En yaygın kullanılan mikroşerit yama anten şekilleri Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1: Yaygın yama iletkeni şekilleri

Aşağıda kısaca bu şekillerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları sıralanmıştır.

a) Dikdörtgen ve kare yamalar ilk ve belki de en çok kullanılan yama iletkeni geometrileridir. Dikdörtgen yamalar diğer yaygın yama şekilleriyle karşılaştırıldığında en büyük band genişliğine sahip olma eğilimindedir. Bunun en basit sebebi, yama şeklinin boyut olarak diğerlerinden daha büyük olmasıdır. Kare yamalar ise genellikle dairesel kutuplama elde etmede kullanılırlar.

b) Dairesel ve elips şekilli yamalar ikinci sıradaki en yaygın şekillerdir. Bu yamalar dikdörtgen eşdeğerlerine göre biraz daha küçüktür ve bu yüzden daha düşük kazançla, aynı zamanda daha dar bir band genişliğine sahiptirler. Dairesel geometrinin başlıca kullanım sebebi, geçmişte kendine özgü simetri özelliğinden dolayı kapsamlı şekilde incelenmiş olmasıdır. Bu durum dikdörtgen eşdeğerine göre hesaplama bakımından daha verimli yazılacak olan bir spektral domen tekniği kullanan tam dalga analizi araçlarına imkân tanımıştır. Ensemble ve IE3D sistemleri gibi birkaç hassas, hesaplama bakımından hızlı tam dalga tasarım aracın gelişiyle birlikte, dairesel yama antenlerin kullanımı gittikçe azalmaktadır.

c) Üçgen ve daire dilimi yama geometrileri, band genişliği ve kazançta daha fazla bir küçülmeye yol açsa da, boyut olarak dikdörtgen ve dairesel eşdeğerlerinden daha küçüktür. Üçgen yamalar aynı zamanda daha yüksek çapraz kutuplama seviyeleri

üretmeye meyillidir. Çünkü yapılarında bir simetri mevcut değildir. Çift kutuplamalı yamalar bu tip iletken şekilleri kullanılarak geliştirilebilir. Yine de band genişliği tipik olarak çok dardır.

d) Dairesel halka geometrileri, yine band genişliği ve kazançtaki azalmayla beraber en küçük iletken şeklidir. Dairesel halkayla alakalı bir sorun ise en düşük modların uyarımının kolay bir süreç olmaması ve rezonansta iyi bir empedans uyumu yakalanamamasıdır. Bu tipte tasarlanan yamalarda temassız uyarım biçimlerinin kullanılması gerekmektedir (Waterhouse 2001).

Yama şekli belirlenirken kullanılacak yamanın boyutları ve bu boyutların anten performansı üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulmaktadır.

Tez çalışması dâhilinde, Selçuklu Yıldızı (SY) şekilli mikroşerit bir anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu yama şekli tasarımına başlanırken; dairesel mikroşerit anten ile bir karşılaştırma yapabilmek hedeflenmiştir. Bu yüzden Selçuklu Yıldızı şekilli mikroşerit anten tasarlanırken (SYMŞA), literatürdeki geleneksel dairesel mikroşerit anten tasarım ifadelerinden faydalanılmıştır. Denklem 2.1 ve 2.2’de rezonans frekansı ve etkin yama yarıçapını hesaplamakta kullanılan ifadeler görülmektedir (Garg ve ark 2001):

$$f_r = \frac{8.791 \times 10^3}{r_{eff} \times \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.1)$$

$$r_{eff} = r \left\{ 1 + \frac{2h}{\pi r \epsilon_r} \left(\ln \frac{\pi r}{2h} + 1.7726 \right) \right\}^{1/2}, \frac{r}{h} > 1 \text{ için} \quad (2.2)$$

Formülde f_r “MHz” cinsindedir. Sonuç “cm” olarak bulunacaktır. r_{eff} , yamanın etkin yarıçapı, f_r , rezonans frekansı, ϵ_r , tabanın dielektrik sabiti, h , tabanın kalınlığı ve r yama yarıçapı olarak açıklanabilir. Burada, geleneksel dairesel antenden farklı olarak, SY’nin bir köşesi ile yama merkezi arasındaki uzaklık, yarıçap olarak belirlenmiştir. Fakat yarıçap değeri yerine etkin yarıçap değeri kullanılarak tasarım gerçekleştirildiğinde, simülasyonlarda elde edilen sonuçların daha yüksek doğrulukta olduğu gözlenmiştir. f_r ifadesinde, r_{eff} çekilip diğer değerler yerine konulursa, yama boyutunu belirlerken kullanılacak değer kolayca hesaplanabilir. SYMŞA tasarımıyla ilgili ayrıntılı bilgi 3.Bölüm’de verilmiştir.

2.1.1. Fraktal yama kullanımı

Fraktallar kendinden türetilen yapılar anlamına gelir ve antenler gibi birçok yapı fraktalların kendisinden türetilme özelliğinden yararlanılarak tasarlanabilir. Fraktal antenler, anten literatüründe birkaç yıllık geçmişi olan ve çoklu bant özellikleri nedeniyle de birçok iletişim sisteminde yaygın uygulama alanı bulmaya aday antenler olarak gözükmetedir.

“Fraktal” kelimesini matematiksel olarak tanımlamak zordur; fakat genel olarak fraktal geometrilere bazı anahtar özellikler görülür. Sıklıkla fraktallarda bazı özbenzerlik dereceleri vardır. Bu da eğer fraktalin küçük bir kısmı büyütülürse, tüm yapıya benzer özellikler elde edilebilir anlamına gelmektedir (Jaggard ve Kim 1987). Fraktal bir anten materyalin uzunluğunu belli bir yüzey alanında en büyük değere çıkartabilmek amacıyla özbenzer bir tasarım kullanır. Bu da fraktal antenleri genişbandlı hale getirir (Engel 1983). Fraktal elemanı pek çok farklı rezonansa sahip olmasına müsaade eder. Böylece yapı, farklı pek çok elektromanyetik frekansa sahip bir anten gibi davranır ve farklı rezonanslar ortaya çıkar (Baliarda ve ark 2000).

Mandelbrot’un “Fraktal” terimini icadından sonra, (Engel 1983), Jaggard “Fractal Elektrodynamics” (Jaggard 1990) terimini icat ederek bilim insanlarının elektromanyetik ve fraktal geometrisini yeni bir disiplin olarak harmanlamalarının önünü açmıştır. Genelde literatürde fraktal anten rezonans frekansları, fraktal yapının boyutları göz önüne alınarak empirik biçimde ve kullanılan tabanın dielektrik sabiti dikkate alınmadan hesaplanmaktadır (Ferguson 2012).

2.2. Dielektrik Taban Seçimi

Mikroşerit yama antenin üzerine tasarlanacak dielektrik tabanın boyutları ve elektriksel özellikleri, anten performansında önem taşımaktadır. Bu özelliklerin anten performansını nasıl etkileyeceği aşağıda açıklanmıştır.

2.2.1. Dielektrik sabiti (ϵ_r)

Yaygın kanı, dielektriklerin bir elektromanyetik alanın elektrik kısmını etkileyebilen ve bu kısmından etkilenebilen malzemeler olduğu yönündedir. Maxwell denklemleri bir malzemenin elektromanyetik alana cevabını belirleyen iki terim tanımlar.

Bunlar elektrik permitivite ϵ ve manyetik permabilite μ 'dür. Eğer bir malzemenin bu büyüklükleri bilinirse, malzemenin bir dalgaya göstereceği tepki de tam anlamıyla belirlenebilir. Burada, ϵ^* , dielektrik malzemenin permitivitesi olarak tanımlanabilir. Genel anlamda permitivite $\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$ şeklinde karmaşık bir büyüklüktür. Çoğunlukla malzemelerin permitivitesi serbest uzayın permitivitesiyle karşılaştırılır. Gerçel kısım ϵ' dielektrik sabiti ve imajiner kısım ϵ'' ise kayıp faktörü olarak isimlendirilir. Serbest uzayın permitivitesinin altında bir değere sahip pasif malzeme bulunmamaktadır. Bu sebeple dielektrik sabiti değerleri her zaman 1'den büyüktür. ϵ''/ϵ' oranı ise kayıp tanjantı olarak isimlendirilir. Dielektrik kısım, içinden geçen elektrik akı yoğunluğunu artırır. Doğal malzemelerin pek çoğu 2 gibi düşük ya da birkaç 1000 gibi çok büyük dielektrik sabiti değerlerine sahiptir. Yapay dielektrik malzemeler ise istenilen etkin dielektrik sabiti değerini verecek şekilde çeşitli değerlere sahip malzemelerin birleşiminden oluşur. Bir dielektrik malzeme, elektromanyetik dalganın dalgaboyunu dielektrik sabitinin kareköküyle orantılı biçimde azaltacaktır. Bu sonuç, elemanların fiziksel boyutunu küçültme uygulamalarında kullanılmaktadır. Devre kartı ya da yama anten uygulamalarında, yüksek dielektrik tabanlar tasarımcıya tüm elemanın boyutunu küçültme imkânı tanır. Fakat bu durumda, yüksek dielektriğin depolayacağı enerji de azalacağından, band genişliği ya da verimde azalmalar gözlenecektir.

Bir dielektrik serbest uzaydaki bir dalganın yansımaya ve dielektrik yüzeyine çarptığında kırılmasına sebep olacaktır. Dielektrikler sıklıkla anten hüzmelerini şekillendirmede lens olarak ya da Luneberg lensleriyle birlikte enerjiyi odaklamak için kullanılırlar. Lens kullanımı, küresel bir dalgayı, antenin yönelticiliğini arttıracak düzlemsel bir dalgaya dönüştürebilir. RF/mikrodalga alanında, dielektrikler öncelikli olarak elektromanyetik enerjiyi modifiye etmekte, sıkıştırmakta veya yeniden yönlendirmekte kullanılırlar. Yine, kontrollü yansıtıcılar ya da lensler üzerinden, elektromanyetik enerjinin izleyeceği yolu değiştirerek, antenlerin veya diğer elemanların boyutlarını küçültmede de kullanılmaktadırlar.

Mikroşerit yama antenler; alt yüzü toprak düzlemi, üst yüzü ise yama antenin oluşturulacağı, iki yüzü bakır, altın, vb. iyi bir iletken malzemeyle kaplı dielektrik malzemeler üzerine gerçekleştirilirler. Kullanılan dielektrik taban malzemesinin dielektrik sabiti değeri, malzeme içinde hareket edecek dalganın yayılma hızını, dolayısıyla antenin rezonans frekansını doğrudan etkilediği için oldukça önemlidir. Genel olarak, mikroşerit yama anten tasarımları yapılırken bu yüzden taban malzemesi olarak dielektrik değeri kesin olarak bilinen malzemeler tercih edilir (Dixon 2012). Seçilen

tabanın dielektrik sabitinin küçük ya da 1'e yakın olarak tercih edilmesi de band genişliğini arttıran etkenlerdendir.

Tüm mikroşerit antenlerin tasarımında dielektrik malzeme kullanılır. Dielektrik sabitinin değeri antenin doğru tasarlanması açısından çok önemlidir. Eğer dielektrik sabiti farklı olursa, antenin rezonans frekansı değişecektir.

Pek çok durumda elektromanyetik çalışma esnasında girişime yol açacak bir materyal kullanılmaksızın bileşenler arasında fiziksel bir boşluk yaratılması istenmektedir. Bu amaçla çok düşük dielektrik sabitine sahip materyallerin kullanımı tercih edilir. Genel olarak, öncelikle hava ve Foam (köpük) türevi materyaller gibi düşük dielektrik sabitine sahip bu materyaller mikrodalgalar tarafından algılanamazlar. Ayrıca bu materyaller bazı durumlarda yapısal mukavemet de sağlarlar (Dixon 2012).

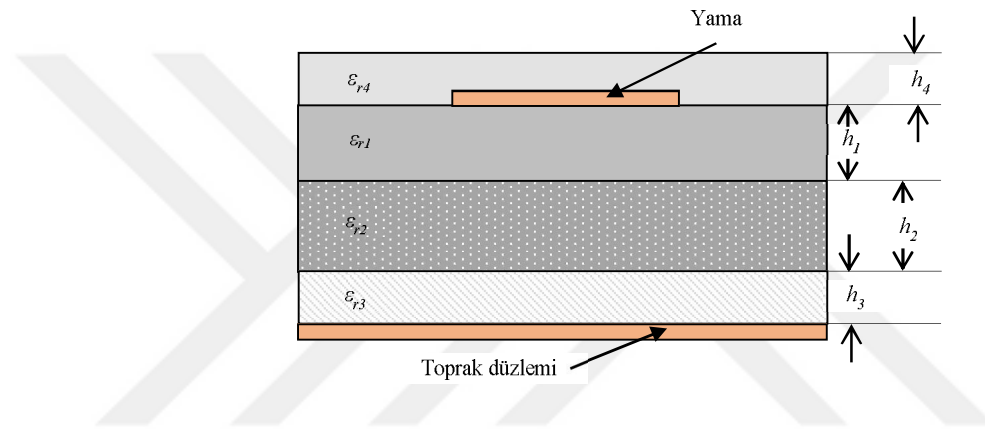
2.2.2. Dielektrik taban kalınlığı (h)

Elektriksel olarak kalın bir dielektrik taban kullanımı, antenin band genişliğini arttıracaktır. Bir mikroşerit antenin taban malzemesinin görevi, temel olarak ışına yapan yamaya mekanik destek sağlamak ve toprak düzlemi ile yama arasında gereken boşluğu yaratmaktır. Yüksek dielektrik sabitine sahip taban malzemeleriyle, yükleme etkisine bağlı olarak yama boyutu da küçültülebilir. Fakat küçülen anten hacmiyle birlikte, büyük dielektrik sabiti antenin band genişliğini de azaltacaktır. Mikroşerit anten için taban malzemesi seçilirken istenilen yama boyutu, band genişliği, ilave kayıplar, ısı kararlılık, maliyet, vb. etmenlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Balanis 1982).

2.2.3. Çok katlı taban ve dielektrik kapak kullanımı

Çok katlı mikroşerit anten yapısı taban üzerine bir tabaka ilavesini içerir. Mikroşerit anten dielektrik bir tabakayla kaplandığında ise, rezonans frekansı, kazanç ve band genişliği gibi özellikleri sistem performansını ciddi şekilde azaltacak ölçüde değişebilir (Luk ve ark 1989, Svacina 1992, Zhong ve ark 1994, Gupta ve Singh 2012). Dielektrik tabakaların kalınlıklarının dikkatli biçimde seçilmesi pratik uygulamalar için ciddi kazanç iyileştirmeleri sağlayabilir (Attia ve ark 2011, Gupta ve Singh 2012). Dielektrik tabaka üzerine bir kapak tabakası eklenmesi rezonans kazancı metodu olarak adlandırılan yapısal bir rezonans ile sonuçlanır. Bu yüzden, darbandlı mikroşerit antenler çoklu dielektrik tabakalar kullanılarak tasarlanırken rezonans frekansındaki kaymanın

küçük olduğundan emin olmak gerekir (Yadav ve Yadava 2011). Mikroşerit antenlerin uzay aracı, uçaklar, füzeler ve bu gibi uygulamalarında çevresel etkenlere karşı korunması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı dielektrik tabakayla kaplanması istenen bir durumdur. Ayrıca dielektrik tabaka ilavesiyle anten kazancı da artırılabilir. Genelleştirilmiş iletim hattı modeli kullanılarak dielektrik kapak ilaveli ya da çok katmanlı tabaka kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenler tek bir dielektrik taban varmış gibi modellenebilir. Bu durumda dielektrik tabakaların etkin permitivitelere rezonans frekansının doğru olarak belirlenmesinde önemli hale gelmektedir (Gupta ve ark 2008). Şekil 2.2’de çok katlı taban ve dielektrik kapak ilaveli mikroşerit anten tasarımına bir örnek görülmektedir.



Şekil 2.2: Çokkatlı taban ve dielektrik kapak ilaveli mikroşerit anten tasarımı

Mikro şerit yama antene dielektrik kapak ilavesi, antenin rezonans frekansında aşağıya doğru bir kaymayla sonuçlanır. Bu esnada diğer parametreler de ufak değişimler sergilerler. Özellikle, dielektrik kapağın dielektrik sabiti ve kalınlığı ile rezonans frekansı değeri artar. Buna ilaveten, dönüş kaybı ve Gerilim Duran Dalga Oranı'nın (VSWR) arttığı, buna rağmen band genişliği ve kazancın dielektrik kapak kalınlığı ve kapağın dielektrik sabitiyle azaldığı görülmüştür. Daha kalın bir dielektrik kapak kullanılması halinde giriş empedansı değeri de artacaktır. Dielektrik kapaklar yamayı iklim şartlarından ve çevresel faktörlerden korurken aynı zamanda anten performansını da iyileştirirler (Bahl ve ark 1982). Malzeme kalınlığı yanında dielektrik sabiti değeri de önemli bir rol oynamaktadır. Düşük değerli bir ϵ_r yamanın saçılma alanını ısıyan güçle beraber artıracaktır. Yüksek bir kayıp tanjantı dielektrik kaybını artıracak dolayısıyla anten performansını azaltacaktır. Düşük değerli dielektrik sabitine sahip materyallerin kullanılması verimi, band genişliğini ve ışımayı iyileştirir (Hussain 2009).

Kapak (koruyucu) etkileri:

Dielektrik bir kapak veya koruyucu katman ilaveli mikroşerit antenin parametre karakteristikleri dielektrik kapak katmanının bir fonksiyonu olarak değişir. Dielektrik kapak katmanlı mikroşerit antenin özellikleri iletim hattı teorisinden faydalanılarak çalışılmıştır (Bahl ve Bhartia 1980). Dielektrik kapak katmanıyla kaplanmış mikroşerit antenin rezonans frekansı, yapının etkin dielektrik sabiti biliniyorsa tanımlanabilir.

Dönüş kaybını temsil eden veriler dielektrik kapak kalınlığının değişimiyle orantılı biçimde değişir. Mikroşerit antenin band genişliği de düşük dielektrik sabitli malzemeler için levha kalınlığının artmasıyla artarken yüksek dielektrik sabitli malzemeler için tam tersi biçimde kalınlığın artmasıyla azalır. Dielektrik kapak kalınlığının artmasıyla Gerilim Duran Dalga Oranı değeri de artar ve bu durumda rezonans frekansının monoton biçimde azaldığı gözlenmiştir. Empedans karakteristiklerinin genel eğilimi hem giriş empedansının hem de reaktansının kapak kalınlaştıkça artacağı yönündedir. Yüksek Güç Band Genişliği (HPBW) kapağın kalınlığına ve dielektrik sabiti değerine göre artıp azalır (Saidulu ve ark 2013, Biswas ve Mandal 2015).

2.2.4. Metamateryal ve elektromanyetik band boşluğu kullanımı

Mikroşerit antenlerin dar band genişliği sorununu çözmek amacıyla antenlerin potansiyel parametrelerini geliştirmede kullanılan farklı materyallere yönelinmektedir. Bunların içinde en uygun olanları metamateryallerdir (Gupta 1988). Metamateryaller yapay olarak yapılandırılan materyallerdir ve elektromanyetik özellikleri genellikle doğada bulunmayan (negatif kırılma endeksi) türdendir (Siakavara 2011). Metamateryeller (MTM) yapay malzemelerdir ve bulunmaları 1960' ların sonlarına doğru olmuştur. Metamateryaller aynı zamanda solak materyaller (Left Handed Materials, LHM) olarak da bilinirler. Burada permabilite ve permitivite değerleri benzer şekilde negatiftir (Veselago 1968). Rus fizikçi Victor Veselago 1967'de ilk olarak metamateryal yapısını keşfeden bilim insanıdır (Smith ve ark 2001). Pozitif permabilite ve permitivite değerine sahip doğada yaygın olarak bulunan materyaller Çift pozitif materyaller (DPS) olarak isimlendirilirler. Metamateryaller ise çift negatif materyeller (DNG) olarak anılırlar (Thomas ve Prakash 2013).

Günümüzde, alışılmadık elektromanyetik özellikleri dolayısıyla çeşitli periyodik yapıları içeren metamateryaller araştırılmaktadır (Guo ve ark 2013). Bu yapıların arasında, Elektromanyetik Band Boşluğu (EBB) yapısı yüksek kazanç, düşük arka kulakçık seviyeleri ve dizi elemanları arasında yüksek izolasyon sağlamaları sebebiyle anten sistemi uygulamalarında sıklıkla yer bulmaktadır (Abutarboush ve ark 2012, Guo ve ark 2013). Genel olarak EBB yapılarının çalışma mekanizmasının anlaşılması adına yansıma fazı ve yapay iletken teorisi kullanılmaktadır.

EBB yapıları metal ya da dielektrik elemanlardan oluşan periyodik hücre yapısındadır. EBB yapılarının eşsiz özelliği frekanslar için yasaklı bir band üretebiliyor olmalarıdır. Böylece mikroşerit antenlerin en büyük sorunlarından biri olan ve anten performansını düşüren yüzey dalga yayılımının engellenmesi mümkün olmaktadır (Abutarboush ve ark 2012, Patil ve Joshi 2015). Anten yasaklanan frekans bandında çalıştığında, kazanç, dönüş kaybı ve band genişliğinin artması gibi belirgin iyileşme özellikleri sergileyecektir.

2.3. Toprak Düzlemi Boyutlarının ve Şeklinin Belirlenmesi

Toprak düzlemi boyutları, uygulaması gerçekleştirilen antenin birlikte çalışacağı cihaz ve anten performansı açısından etkilidir. Yapılan anten tasarımlarında sıklıkla taban şekli ve boyutları da toprak düzlemiyle aynı seçilmektedir. Mikroşerit antenlerin tasarımında ve analizinde toprak düzlemi boyutunun sonsuz olduğu kabulüne gidilir. Gerçek kullanımda sadece sonlu boyutta bir toprak düzlemi gerçekleştirilebilir. Burada amaç anten boyutunu küçültmek ve toprak düzlemi boyutlarının yama boyutlarından çok fazla büyük yapmamaktır. Ayrıca toprak düzleminin küçük tutulmasıyla bakır kayıpları da azaltılabilir.

İletim hattı modeli sadece sonsuz toprak düzlemlerine uygulanabilir. Yine de, pratikte, sonlu boyutlara sahip, uygulaması gerçekleştirilebilen bir toprak düzlemi gereklidir. Eğer toprak düzleminin boyutları tüm çevre boyunca yama boyutlarından yaklaşık olarak taban kalınlığının altı katı kadar büyükse, sonlu ve sonsuz toprak düzlemleri için benzer sonuçların elde edildiği gösterilmiştir (Ray ve Kumar 2003).

$$L_{gnd} = 6h + L \quad \text{ve} \quad W_{gnd} = 6h + W \quad (2.3)$$

Sayısal ve analitik teknikler böyle antenleri analiz etmede kullanılmaktadır (Huang 1983, Lier ve Jakobsen 1983, Kuboyama ve ark 1985). Sonlu toprak düzlemi

toprak düzlemi kenarlarında oluşan ışınma saçılımına yol açar ve bu durum ışınma desenindeki, ışınma iletkenliğindeki ve rezonans frekansındaki değişimlerle sonuçlanır. Kuboyama ve ark (1985), rezonans frekansı, ışınma deseni ve toprak düzlemi boyutlarının bir fonksiyonu olan dikdörtgen yamanın kazancı üzerine deneysel araştırma sonuçları sunmuşlardır (Kuboyama ve ark 1985). Toprak düzlemi boyutları yama boyutlarına eşit olan dikdörtgen bir anten için rezonans frekansının sonsuz boyutlu toprak düzlemlili antene göre daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Sonlu toprak düzleminin ışınma alanları üzerindeki etkisi Huang tarafından tekdüze geometrik saçılma teorisi (GTD) ve ışınma için açıklık modeli kullanılarak çalışılmıştır. Kenar saçılması üzerindeki taban etkileri hesaplamalarda dikkate alınmamıştır (Huang 1983). Çok küçük toprak düzlemleri için ($\ll \lambda_0$), geniş açı aralıklarında desende dalgalanmalar meydana gelir. Toprak düzlemi boyutları arttıkça, ana desende dalgalanmalar azalır. Ayrıca, sonlu bir toprak düzlemi geriye doğru olan saçılma ışınmasına yol açar. Bandgenişliği, toprak düzlemi boyutlarının değiştirilmesiyle artırılabilir (Huang 1983, Dundar ve ark 2011).

Son zamanlarda sıklıkla başvurulan bir diğer yöntem ise değiştirilmiş toprak düzlemi (Modified ground plane, MGP) kullanımınıdır (Bao ve Ammann 2006, Prombutr ve ark 2009). Burada, genellikle toprak düzlemi, tüm tabanı değil de sadece mikroşerit besleme hattının altında uzanacak boyutlarda seçilmektedir. Başka bir yaygın uygulama ise, toprak düzlemi üzerine çeşitli boyut ve şekillerde yarıklar açılarak, ışınma etkilerinin değiştirilmesi ve band genişliğinin artırılmasının sağlanmasıdır (Kuo ve Wong 2001, Mallikarjun ve ark 2009, Gopakumar ve Mathew 2011).

2.4. Besleme Tipinin Belirlenmesi

Mikroşerit yama antenlerin beslemesinde kullanılan en yaygın teknikler; mikroşerit hat besleme, bunun bir çeşidi olan gömme besleme, koaksiyel hat besleme, açıklık kuplajlı besleme ve mesafe kuplajlı besleme olarak sıralanabilir. Bunlardan hat besleme ve koaksiyel beslemeler doğrudan, diğerleri ise temassız besleme tipleri olarak ikiye indirgenebilir. L-prop (Kuo ve Wong 2000) gibi yeni uyartım teknikleri geliştirilse de, bu teknikler de eski tekniklerin bir araya getirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Çizelge 2.1 ile çeşitli besleme tiplerinin karşılaştırılması yapılmıştır (Pozar ve Kaufman 1987, Menzel ve Grabherr 1991, Smith ve Williams 1992, Targonski ve ark 1998, Garg ve ark 2001).

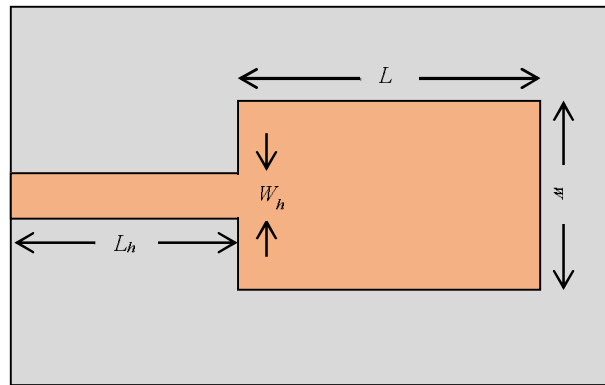
Çizelge 2.1 Mikroşerit Yama Antenler için Çeşitli Tipteki Besleme Yapılarının Karşılaştırılması

	Mikroşerit Besleme Tipleri							Eşdüzlemli dalga kılavuzu (CPW) Beslemesi
	KB	Işıyan Kenar Kuplajlı	Işımayan Kenar Kuplajlı	Boşluk Kuplajlı	GMŞH	MKB	AKB	
Yapı Özellikleri	Düzlemsel değil	Eşdüzlemli	Eşdüzlemli	Eşdüzlemli	Eşdüzlemli	Düzlemsel	Düzlemsel	Düzlemsel
Sahte besleme ışması	Çok	Az	Az	Çok	Çok	Çok	Çok	Az
Kutuplama saflığı	Zayıf	İyi	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Mükemmel	İyi
Kolay üretim	Delme ve lehimleme gerekli	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay	Sıralama gerekli	Sıralama gerekli	Sıralama gerekli
Güvenilirlik	Lehimlemeden dolayı zayıf	Daha iyi	Daha iyi	Daha iyi	Daha iyi	İyi	İyi	İyi
Empedans Uyumlandırma Bandgenişliği (başarılı empedans uyumlandırmasıyla beraber)	Kolay	Zayıf	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay
	%2-5	%9-12	%2-5	2%	5	13%	21%	3%

Aşağıdaki başlıklar altında her bir besleme tipi özetlenmiştir.

2.4.1. Mikroşerit hat besleme

Mikroşerit yama anten için orijinal uyartım tekniklerinden biri de kenar besleme ya da diğer bir adıyla mikroşerit hat besleme tekniğidir (Munson 1974). Şekil 2.3'ten görüldüğü gibi, L_h uzunluğu ve W_h genişliğindeki bir mikroşerit hat doğrudan L ve W boyutlarındaki dikdörtgen yama iletkenine bağlanmıştır.



Şekil 2.3: Kenar beslemeli mikroşerit yama anten gösterimi

Tipik olarak mikroşerit hat yamanın ışımayan kenarlarından birine bağlanırken, hattın yamanın ışımayan kenarı boyunca çeşitli konumlarda yerleştirildiği durumlar da mevcuttur. Kenar beslemeli yamaların diğer besleme tekniklerine göre birkaç üstünlüğü vardır. Bu teknolojinin anahtar özelliklerinden biri, beslemenin ve yamaların aynı taban

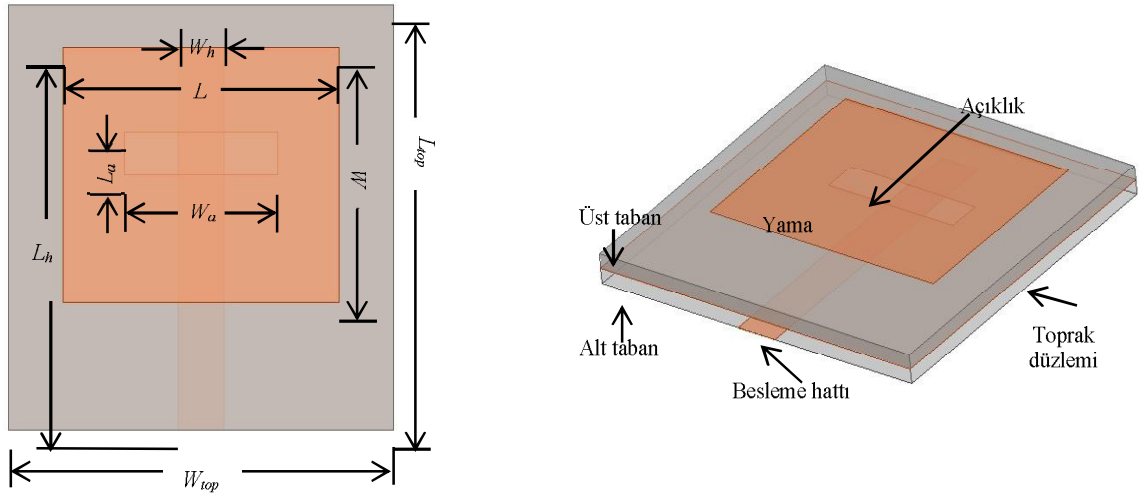
üzerinde yerleştirilmelerinden ötürü üretiminin kolay olmasıdır. Bu sebepten, pek çok geniş düzlemsel dizi anten kenar beslemeli yamalardan meydana gelmektedir. Ayrıca kenar beslemede giriş empedansını da kontrol etmek oldukça kolaydır. Sadece besleme hattını yama iletkeninin içine ilerleterek rezonanstaki empedans değeri 150-250 Ω 'luk bir aralıkta ayarlanabilir. Besleme hattının yamanın ışıyan kenarıyla birleşme noktası, yama merkezine yakınsa empedans değeri düşecektir. Eğer elektriksel olarak ince malzemeler anten tasarımında kullanılıyorsa, kenar beslemeli yamaların tasarımı oldukça kolaydır. Basit iletim hattı modelleri antenin giriş empedansı performansı hakkında tahminde bulunma imkânı tanır. Daha kalın taban malzemelerinin kullanılması halinde, antenin performansının modellenmesi daha karmaşık hale gelir. Bunun sebebi, mikroşerit hat ile yama antenin birleşim noktasıyla ilişkili süreksizliklerin akım dağılımıdır. Kenar beslemeli mikroşerit antenlerin band genişlikleri nispeten daha küçüktür. Eğer bu tip beslemeye sahip antenlerin tasarımında yüksek dielektrik sabitli taban malzemeleri kullanılırsa, yüzey dalga verimi zayıflar. Ayrıca, bu besleme tekniği nispeten yüksek sahte besleme ışımalarından olumsuz etkilemez. Bunun sebebi ise, besleme hattının antenden ayrı olmaması ve bu yüzden antenin verimli ışması için uygun olan malzemenin aynı zamanda hattın ışmasına da yol açmasıdır (Waterhouse 2001).

Genel olarak bu besleme tipi yamanın ışıyan kenarı (W) boyunca gerçekleştirilir ve iyi bir kutuplamaya sahiptir. Fakat aynı zamanda mikroşerit antenlerin kenar dirençlerinin 150 ila 300 Ω arasında değişmesinden ötürü empedans uyumlandırmasına ihtiyaç duyması ve sahte ışmaların varlığı bu yöntemin dezavantajlarıdır (Pozar ve Schaubert 1995, Balanis 1997, Leung ve Splitt 2002).

2.4.2. Açıklık kuplajlı besleme

Açıklık kuplajlı besleme yamayı dolaylı yoldan besleme tekniklerinden biridir. Yapı iki adet taban içerir. Bunlardan bir tanesi ışıyan yamanın bulunduğu tabanken diğeri ise Şekil 2.4'ten görüleceği gibi besleme hattının üzerinde bulunduğu tabandır. İlk defa Pozar tarafından tanıtilen açıklık kuplajlı besleme yöntemi diğeri besleme tiplerine göre anteni sahte besleme ışmasından koruma, besleme ve yama için farklı dielektrik taban seçilebilmesi ve bandgenişliğini arttırmak amacıyla daha kalın bir dielektrik taban tercihi gibi avantajlar sağlamaktadır. Bu yöntemle beslenen bir yama anten Şekil 2.4'te görülmektedir (Pozar 1985).

Mikroşerit yama, mikroşerit hat tarafından toprak düzleminde açılan açıklık yoluyla beslenir. Besleme hattı açıklıkta yama üzerinde yüzey akımları indükleyen bir elektrik alan oluşturur. Besleme hattına dik olan yama kenarları ise serbest uzayda ışın saçılma alanları oluştururlar. Bu tip beslemenin temel avantajı dizilere kolay uyarlanabilmesidir. Yama ve besleme hattı arasındaki kuplajlama toprak düzleminde bulunan bir yarık veya açıklık üzerinden yapıldığı için, toprak düzlemi yama ile besleme hattını ayırarak besleme hattından yapılan ışımanın ana ışıma deseniyle girişimini engeller ve böylece sahte ışımlar en aza indirilir (Kumar ve Ray 2002). Açıklığın boyutları, şekli ve konumu, alt tabakaların dielektrik sabitleri ve kalınlıkları ile mikroşerit besleme hattının boyutları anten performansını etkileyen faktörlerdendir (Günay 2012).



Şekil 2.4: Açıklık Kuplajlı mikroşerit yama anten (Garg ve ark 2001)

Bu tip beslemeye sahip antenin performansını etkileyen yama boyutları, açıklık uzunluğu ve genişliği, açıklığın yamaya göre konumu, kuplaj açıklığının şekli, her bir katmanın dielektrik taban özellikleri gibi birkaç faktör vardır (Rathi ve ark 1996, Kumar ve Ray 2002). En büyük kuplajı elde etmek için yama, tabanın merkezine konumlandırılmalıdır (Aijaz ve Shrivastava 2011). Dikdörtgen bir yama için, Şekil 2.5'te gösterildiği gibi, H-şekilli açıklık (Shin ve Kim 2002, Zhang ve ark 2005, Fu ve ark 2008), köpek kemiği şekilli açıklık (Pozar ve Targonski 1991), papyon şekilli açıklık (Soliman ve ark 1999, Eldek ve ark 2003, 2004, Sagnard ve Rejiba 2011), U-yarık açıklık (Bhalla ve Shafai 2002, Shackelford ve ark 2003, Sürmeli ve Türetken 2011), E-şekilli açıklık (Yang ve ark 2001, Izadi ve Mehrparvar 2010, Deshmukh ve ark 2011), daha geniş bir kuplajlama ve genişletilmiş bir bandgenişliği amacıyla kullanılabilir. Kum saati şekilli bir açıklık köpek kemiği ve papyon şekilli açıklıkların özelliklerini keskin bir kenarı olmaksızın birlikte kullanır ve böylece maksimum kuplaj elde edilir (Kumar ve Ray

2002). Açıklık kuplajlı mikroşerit yama antenler belki de günümüz küresel pazarında en çok kullanılan mikroşerit yamalardır (Waterhouse 2001, Günay 2012).



Şekil 2.5: Yaygın kullanılan açıklık şekillerinden bazıları

Açıklık beslemeli anten tasarım parametreleri:

Açıklık beslemeli bir tasarımda, anteni ayarlamak için kullanılan pek çok parametre mevcuttur (Pozar 1996):

Yarık uzunluğu (L_a): Bu parametre arka ışınma seviyesini olduğu kadar üstteki yamayla olan kuplajlama seviyesini belirler ve empedans uyumandırması için iyileştirilmesi gerekmektedir. Yarık uzunluğunun tipik değerleri düşük dielektrik sabitleri ($\epsilon_r=2.54$) için $0.082\lambda_0$ ve ($\epsilon_r=10.2$) gibi yüksek dielektrik sabitleri için ise $0.074\lambda_0$ civarındadır (Sainati 1996).

Yarık genişliği (W_a): Yarığın genişliği kuplajlama seviyesini etkiler, yine de çok büyük bir etkiye sahip değildir ve genellikle yarık uzunluğunun $1/10$ 'u kadar seçilir.

Besleme hattı genişliği (W_h): Besleme hattının karakteristik empedansını belirler ki bu değer de tipik olarak 50Ω 'dur.

Yamanın yarığa göre olan konumu: Maksimum kuplajlama için yama yarığın merkezinin üstünde bir yere konumlandırılmalıdır. Yamayı H-düzleminde (y -yönünde) yarığa doğru hareket ettirmek giriş empedansı üzerinde küçük bir etkiye sahip olacaktır; buna rağmen yamayı E -düzleminde (x -yönünde) yarığa göre hareket ettirmek ise kuplajlamayı azaltılır (Leung ve Splitt 2002).

Bu tip beslemeli yamalarda, bir yama toprak düzlemi üzerindeki düşük dielektrik sabitine sahip bir taban üzerine basılıdır ve besleme toprak düzleminin altındaki yüksek dielektrik sabitine sahip bir taban altına basılıdır. Şekil 2.4'ten görüleceği gibi, h_1 ve h_2 yüksekliklerine sahip iki dielektrik levha vardır. Yaygın olarak 50Ω 'luk mikroşerit hat ışık yayan yamayı beslemede kullanılır. Besleme hattı genişliği besleme hattının karakteristik empedansını belirler. Bu yüzden de gerekli empedansı verecek değerde seçilir. Ayrıca

maksimum kuplajlama için, besleme hattı yarık merkezine dik bir açıyla yerleştirilmelidir (Raina ve ark 2012).

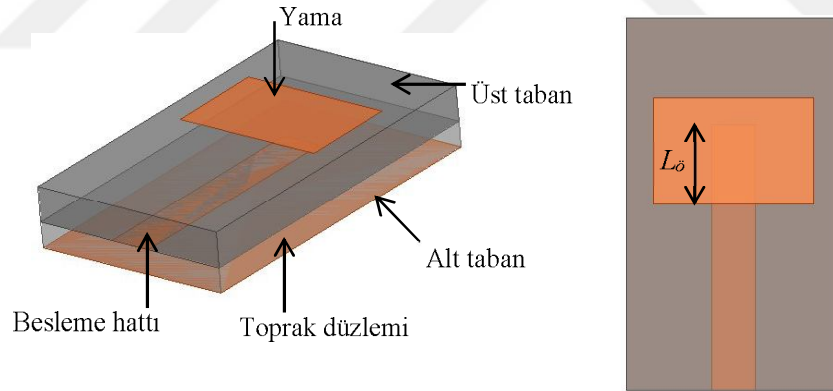
2.4.3. Mesafe kuplajlı besleme

Mesafe kuplajlı besleme tipi de, açıklık kuplajlı besleme gibi, koaksiyel beslemeye göre pek çok avantaja sahiptir. Bunlardan bazıları:

- Besleme hattıyla ışıyan eleman arasında fiziksel bir bağlantı bulunmaması,
- Herhangi bir delme işlemine gerek duyulmaması,
- Daha az sahte ışımanın oluşması,
- Dizi yapılarına daha uygun olması,
- Yüksek dereceli modların daha iyi engellenmesi

olarak sıralanabilir.

Mesafe kuplajlı bir anten, 50Ω 'luk bir besleme hattı ve arkasında toprak düzlemini içeren besleme katmanı ve ışıyan yamayı içeren bir üst katmana sahiptir. Şekil 2.6'da mesafe kuplajlı anten görülmektedir (Sainati 1996).

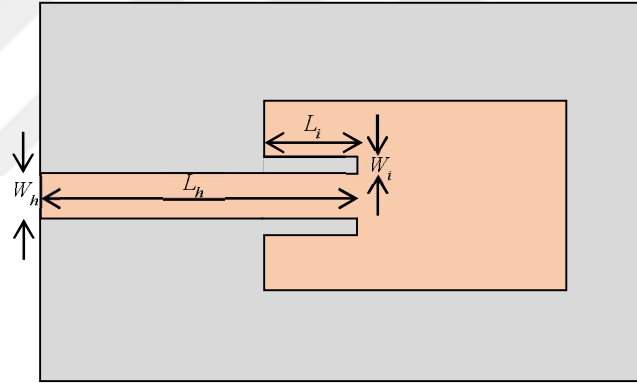


Şekil 2.6: Mesafe kuplajlı anten

Kuplaj seviyesi (L_0): L_0 örtüşme uzunluğuyla ayarlanabilir. En fazla kuplaj, örtüşme uzunluğu yama boyunun yarısı olarak seçildiğinde elde edilir. Tipik bir tasarımda yarı yama uzunluğundaki örtüşme için rezonans frekansı %1 veya % 2 oranında artırılarak ışıyan yamanın boyutları daha küçük bir frekans için tasarlanabilir (Sainati 1996, Leung ve Splitt 2002).

2.4.5. Gömme besleme

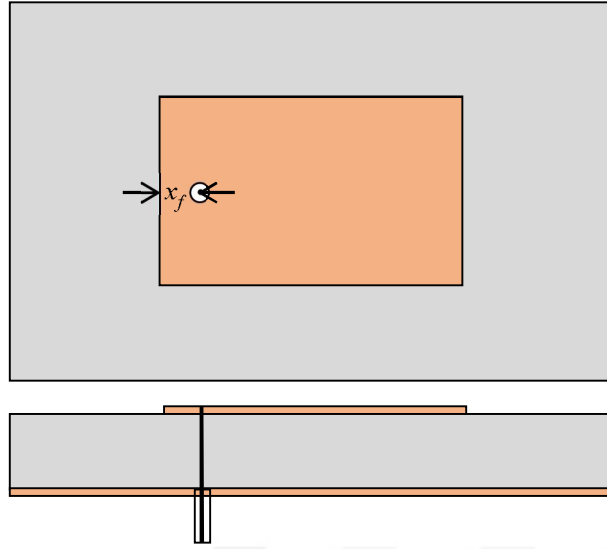
Pek çok mikroşerit hat beslemeli antende, yama boyutlarına ve kullanılan taban malzemesine bağlı olarak genellikle birkaç yüz ohm olan yama kenarındaki ışıma direnci olduğu için besleme hattı empedansı (50Ω) her zaman aynıdır. Bu durumun bir sonucu olarak giriş empedansı uyumsuzluğu anten performansını etkiler; çünkü maksimum güç transferi gerçekleştirilemez. Bir uyumlandırma devresi beslemeye uygunlandırıldığında antenin performansı daha az yansıma olmasından ötürü iyileşme gösterir. Antenin uyumlandırmanın farklı bir metodu da gömme besleme kullanmaktır. Böylece direnç yama uzunluğu boyunca \cos^2 nin bir fonksiyonu olarak değişir ve yama kenarından belli bir uzaklıkta 50Ω değeri bulunabilir (Carver ve Mink 1981). Bu mesafeye gömme mesafesi denir ve tezde L_i ile ifade edilmiştir. Gömme beslemeli yama anten şekli Şekil 2.7’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.7: Gömme beslemeli mikroşerit anten

2.4.6. Koaksiyel besleme

Mikroşerit yama anteni proba beslemek 1970’lerin ortalarında önerilen bir diğer orijinal uyartım tekniği biçimidir. Şekil 2.8’den bu besleme tekniğinin şematik bir diyagramı görülebilir. Burada, r_0 yarıçaplı bir prob toprak düzleminden uzanır ve yama iletkenine lehimlenerek bağlanır. Prob ya da besleme pini genellikle koaksiyel bir hattın iç iletkenidir, bundan dolayı prob besleme, koaksiyel besleme olarak da bilinir. Prob konumu, kenar beslemeyi yama içine gömme benzeri bir mantıkla empedans kontrolü sağlar. Besleme iletim hattıyla antenin yama kısmı arasındaki doğrudan bağlantı sebebiyle, prob besleme doğrudan bağlı uyartım mekanizması olarak adlandırılır.



Şekil 2.8: Koaksiyel hat beslemeli mikroşerit anten

Prob beslemeli yama birkaç temel avantaja sahiptir. Öncelikle, faz kaydırıcılar ve filtrelerin yerleştirilebildiği, ışınma elemanlarını bir toprak düzlemiyle izole eder. Bu özellik her bir katın birbirinden bağımsız iyileştirilmesine imkân tanır. İkinci olarak, tüm uyarım teknikleri içerisinde, prob besleme belki de en verimli olanıdır; çünkü besleme mekanizması antenle doğrudan bağlantılıdır ve besleme hattının büyük kısmı sahte ışınmaları en aza indirerek yamadan izole edilmiştir. Bu basılı antenin yüksek verimliliği gelişen bağlantıya eklenen karmaşıklığa rağmen, prob beslemeli tarzdaki yama için bir uyanış olmuştur. Prob beslemeli mikroşerit yamalar kenar beslemeli yamalarla benzer durumlara sahiptir. Yani, prob beslemeli yamaların da band genişlikleri biraz küçüktür ve bu tip basılı antenlerin tam analizi biraz zordur. Yamaya güç aktarımı için kullanılan prob, elektriksel olarak kalın tabanlar kullanılması halinde, bazı yüksek çapraz kutuplamalı alanlar üretebilir. Ayrıca antenin tek katlı bir geometriye sahip olmamasından ötürü, besleme hattının konumunun sonucu olarak, üretim daha zordur (Waterhouse 2001).

2.5. Diğer Yöntemler

2.5.1. Yama üzerine yarık açılması

TM_{100} modunda, üretilen rezonans frekansı, yamanın uzunluğuna bağlıdır. Yüksek permitiviteye sahip bir taban dalga yayılım hızını değiştirerek yamanın

elektriksel görünümünü daha geniş hale getiriyorsa, yamayı ayarlamının bir diğer tekniği de yamayı yarıklarla yüklemektir. Yarıklı olmayan yama, yama boyunca düz bir yola izin verir. Hâlbuki yarıklar, akımı daha uzun bir yol izlemeye zorlar. Bu yol, daha uzun bir rezonans uzunluğuna sebebiyet verir. Böylece yama istenilen çalışma frekansına ayarlanarak, rezonans frekansında belli bir küçültmeye karşılık gelir. Yarıklar, akım yolunu değiştiriyorsa, yama boyunca herhangi bir yere konumlandırılabilirler. Yarıkların yerleşiminde dikkat edilmesi gereken nokta, istenilen kutuplama biçimidir. Eğer yarıklar simetrik olarak yerleştirilirse, çapraz kutuplama seviyelerinin yükselmesine sebep olacaklardır. Asimetrik yarıklar için, rezonans akım yolları, sadece tek bir eksen yerine ana eksenlerin her ikisi boyunca da ışınım elemanları üreterek diyagonal olmayan eksen boyunca olduğu gibi, yamanın ana ekseninde kapalı olarak gelişebilir. Artan çapraz kutuplama, dairesel kutuplama için aksenal orandaki zayıflama ile sonuçlanacaktır ve iki köşegen besleme arasındaki kuplajlama artacaktır.

Yarıklar, yüzey akımını daha uzun bir yola yönlendirerek ve böylece yamanın iki kenarı arasında seri olarak yerleştirilen bir indüktörle benzer bir etki oluşturarak yamanın rezonans frekansını aşağı çeker. Yarıklar baskın TM_{100} modu yama uzunluğunun merkezin boyunca olan yama yüzeyindeki yüksek akım bölgesine yerleştirildiklerinde, performans üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Yarıklı genişliğinden daha küçük dielektrik kalınlıkları için, frekans, toprak düzlemiyle yama arasına bir kapasitans eklenmesiyle elde edilen miktardan daha fazla azaltılır. Yama üzerinde kesilen yarıkların şekli band genişliği performansında herhangi bir fark sağlamamaktadır. Bazı yarıklı şekilleri besleme probunun yerleşiminde kolaylık sağlayabilmektedir. Daha fazla frekans azaltımı elde edebilmek amacıyla yama üzerine çoklu yarıklar açılabilir. Yine de band genişliği ya da kazançta herhangi bir değişiklik gözlenmemektedir. Çoklu yarıklar ayrıca yama alanının merkez eksen boyunca serbest bırakmada kullanılabilir. Böylece çok daha fazla uygun besleme probu konumlandırılmasına imkân tanınmış olur. Yarıklı yüklemesi çok daha yüksek permitiviteli materyallerle aynı frekans ayarlamasını elde edebilmek adına düşük permitiviteli tabanların kullanımına izin vermek amacıyla kullanılabilir. Bu durum yüksek kayıp ve kaçınılan yüksek permitivite toleranslarına müsaade eder (Holland 2008).

2.5.1.1. Yarık yüklemeli yama antenler

Yarık yüklemesi, farklı şekillerdeki yarıkların basılı yama içine gömülmesiyle gerçekleştirilir. Yarık boyutları ve yarıkların pozisyonları yamanın ilk iki yansıtıcı-ışıma modunu uyarmak amacıyla uygun biçimde seçilir. Böylece geniş bir empedans band genişliği sağlayacak şekilde rezonans frekansları birbirine yakınlaştırılır. Yarıklar Şekil 2.9'dan da görülebileceği gibi, dişfırçası, çarpı, U-şekilli ya da S dirseği gibi değişik şekillerde olabilir (Li ve ark 2010).

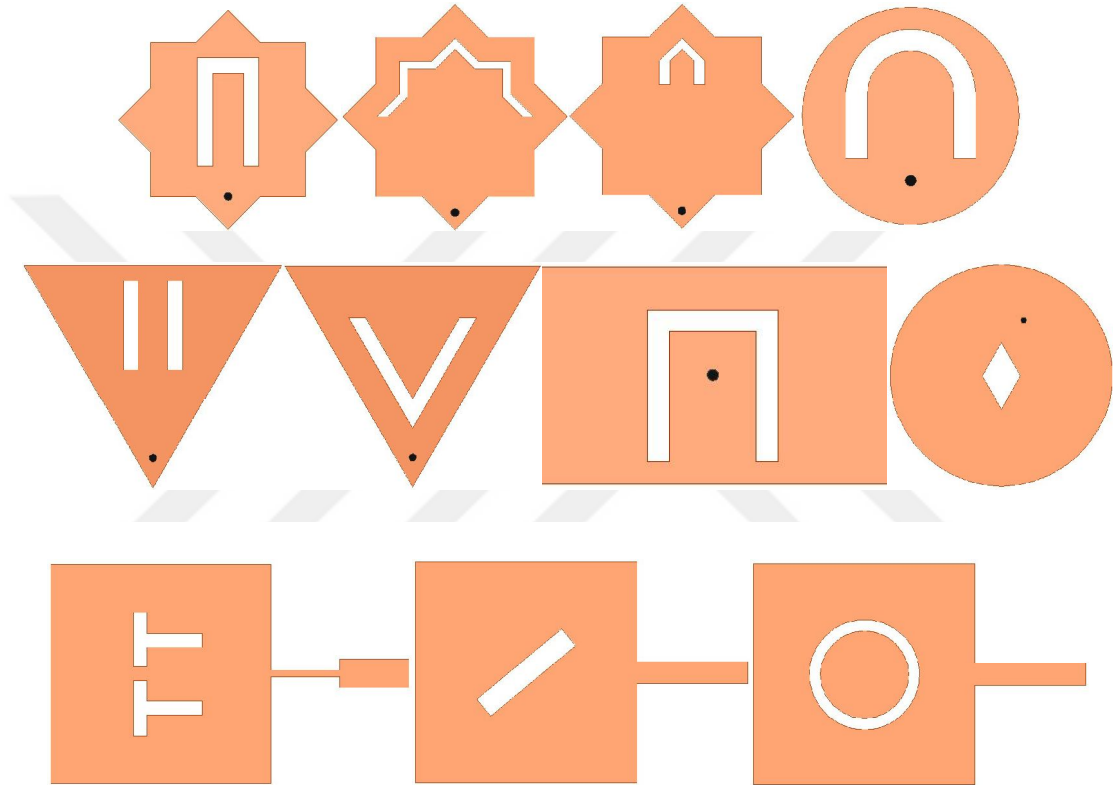


Şekil 2.9: Mikroşerit anten üzerine uygulanan çeşitli yarık şekilleri

U-yarık çok yönlü ışıyan elemanlar olmaları ve sadece geniş band uygulamaları için değil aynı zamanda iki ve üç band çalışma için de tasarlanabilmeleri sebebiyle belki de antenler arasında en yaygın yarık tipi olarak ifade edilebilirler (Huynh ve Lee 1995, Wong ve Hsu 1997, Weigand ve ark 2003, Tong ve Wong 2007, Wang ve ark 2008, Li ve ark 2010). U-yarık ilaveli yama anten ile $0.08\lambda_0$ kalınlığına sahip hava taban kullanılarak % 30'luk ve benzer kalınlıklardaki diğer tabanlar ile % 20'lik bir empedans bandgenişliği elde edilebileceği gösterilmiştir (Tong ve ark 2000). Şekil 2.10'da literatürde yaygın kullanılan yarık şekilleri verilmiştir.

Yama antenin yayın performansını etkileyen parametreler yarık uzunluğu, yarık genişliği ve yarığın konumudur. Yarık genişliğinin yarık uzunluğuna göre kısa olması ve yatay yarık uzunluğundaki değişimlerin yüksek rezonans modlarını etkilediği dikkate alınmalıdır. Oysaki düşük rezonans modları U-yarığın çevresiyle doğrudan ilişkilidir. Ne yazık ki, U-yarık ilaveli anten yapısının doğru geometrisini verecek matematiksel formüller ya da deneysel ifadeler henüz ortaya konulmamıştır. Deneysel ifadeler (Weigand ve ark 2003) ile çalışılsa da, burada küçük band genişlikleri sağlayan elektriksel olarak ince taban kullanımı ile bir sınırlandırma yapılmıştır. Bu yüzden anten tasarımcıları yarığın konumunu ve boyutlarını deneme-yanılma yoluyla veya imkân dâhilinde tahmin ve iyileştirme teknikleri kullanarak ayarlamalıdır. U-yarığa alternatif bir şekil de dikey olarak yarıya bölünmüş U-yarık kullanımıdır ve daha küçük boyutlarla tam

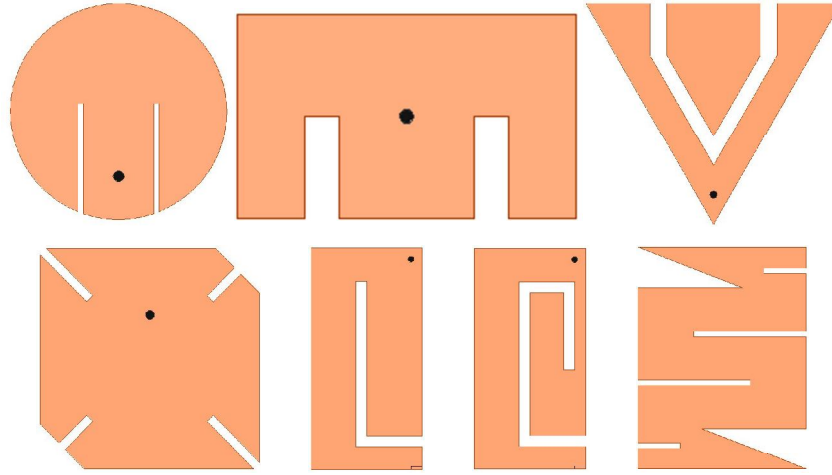
U-yarığa yakın bir empedans band genişliği sunar (Chair ve ark 2005, Deshmukh ve Ray 2009). Elektriksel akım dağılımının simetri çizgisi boyunca aynı olmasından dolayı, yamanın yarısı çıkartılarak akım yolları ve yapının rezonans davranışı belirgin şekilde etkilenmeyecektir. Dahası, tam ya da yarım U-yarığ ilaveli elemana bir kısa devre duvarı eklenirse yama boyutu küçültülebilir (Guo ve ark 2001, Mak ve ark 2003, Shackelford ve ark 2003, Chair ve ark 2005, Deshmukh ve Ray 2009). Bu tip küçük boyutlu geniş band genişliğine sahip tasarımlar özellikler el tipi mobil cihazlarda sıklıkla tercih edilmektedir.



Şekil 2.10: Çeşitli şekillerde yarığ ilaveli mikroşerit yama antenler (Garima ve ark 2011, Zhou ve ark 2012, Ramya Keertana ve ark 2014)

2.5.1.2. Çentik yüklemeli yama antenler

Yama yüzeyi üzerine yarığ açmak yerine, sınırlarda çentik açarak da benzer genişband çalışması elde edilebilir. E-şekilli veya benzer yapılar dikdörtgen, daire ya da üçgen şekilli anten tasarımlarına uygulanabilir (Hsu ve Wong 2000, Wong ve Hsu 2001, Pramod ve ark 2009). Şekil 2.11’de çentik ilaveli çeşitli mikroşerit anten tasarımları görülmektedir.



Şekil 2.11: Çentik ilaveli mikroşerit antenler (Wong 2004, Isfahani 2012)

Çentik ilaveli yamaların genişband performansı birden fazla ardışık rezonans modunun uyartımına dayanmaktadır. Dahası, besleme probu çevresinde çentiklerin bulunması yamanın giriş empedansına kapasitif bir yük ilavesi gerçekleştirir. Bu kapasitif yük yamanın rezonansına etkin bir şekilde katkıda bulunur. Çünkü probun giriş empedansının indüktif kısmını etkisiz hale getirebilir. Bu indüktif kısmın genişband çalışma için kalın bir dielektrik taban seçilmesi halinde inkâr edilemeyecek kadar büyük olacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu yüzden, çentik eklenmesi, çalışma bandını iki şekilde genişletir ve %25'ten daha büyük band genişliğinin elde edilebileceği gösterilmiştir. Antenin frekans bandının genişliği, çentiklerin uzunluğu, genişliği ve konumlarıyla kontrol edilebilir. Çentikler yamayı üç veya daha fazla kısma böler ve her birinde eşdeğer bir rezonans devresi meydana getirir (Peng ve ark 2007, Chen ve ark 2010). Üç rezonans bölgesinin çakışması amacıyla, tek bir genişband çalışma bölgesi oluşturmak için çentikler eşit olmayan boyutlarda seçilebilir. E-yamayla yakın band genişliğini sahip bir diğer yapı ise basılı bir elemana çentiklerin kıvrımlı şekilde ilave edilmesiyle elde edilebilir (Pramod ve ark 2010).

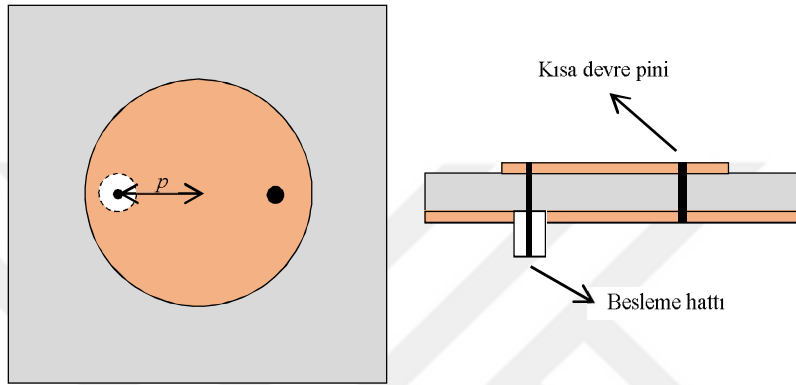
Bir diğer çentik ilaveli tasarım ise yama sınırına birden fazla çentiğin açılmasıyla geniş band elde edilmesidir. Bu yöntem yamaya diğer yapılara ilaveten boyutlarda bir küçülme de sağlar (Xiao ve ark 2006). Gömme besleme ile prob beslemenin bir arada kullanılmasıyla hibrit bir besleme şekline sahip bu tasarımda empedans uyumu daha kolay elde edilebilir. Sayısal bir analiz çalışma band genişliğini artırma ve boyutları küçültme imkânını sağlayabilir. Akım yolu uzunlukları yama uzunluğu ve çentik derinlikleriyle belirlenir.

Çentik ilavesindeki tüm hallerde, çentikler antenin genişband davranışında önemli bir rol oynar. Yine de tekstil yamaların uygun geometrisinin bulunması genellikle zor bir süreçtir. Çünkü matematiksel formüller mevcut değildir. Bu yüzden sonuca yönelik herhangi bir tahmin yapılamaz. Tüm süreç iteratiftir ve yüksek frekans elektromanyetik alan simülasyon yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarla uygulanır (Pramod ve ark 2010, Ramya Keertana ve ark 2014). Bunun yanında, temelinde bir deneme yanılma yöntemi olan Yapay Ağ Algoritmaları ya da Genetik Algoritma, Parçacık Sürü Optimizasyonu veya Farksal Gelişim gibi iyileştirme teknikleri uygulanabilir (Siakavara 2011).

2.5.2. Kısa devre pini ilavesi

Kısa devre pini ilavesi mikroşerit antenlerin band genişliğinin artırılması ve yama boyutlarının küçültülmesi amaçlarıyla yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Pan ve Wong 1997, Rowley ve Waterhouse 1999, Garg 2001, Wong 2004). Kısa devre anten aynı rezonans frekansını standart antenin yaklaşık yarısı kadar bir boyuta sahip olduğunda da sağlayabilir (Sanad 1994). Kısa devre edilmiş mikroşerit anten baskın modda uyarılan sıradan bir antenin sıfır potansiyel düzleminin kısa devre edilmesiyle yapılandırılır. Fiziksel olarak bu kısa devre bakır bir şeridin anten kenarını sarmasıyla tamamlanabileceği gibi kısa devre etme çubuklarıyla da gerçekleştirilebilir. Üretim açısından kısa devre çubuklarının kullanımı çok daha basittir. Mikroşerit antenin kısa devre çubuğuyla yükleyerek, anten boyutu küçültülebilir, çoklu frekans çalışması sağlanabilir, kutuplamanın şekli değiştirilebilir ya da yüksek kazanç ve empedans band genişliği elde edilebilir (Wong ve Chen 1997, Vallecchi ve ark 2003, Uzer ve Gültekin 2015). Uygulamaya bağlı olarak, kısa devre pini yamanın merkezine ya da kenarına konumlandırılabilir. Yine de, kısa deve çubuklarının etkileri, çubuk sayısı, çubukların konumu, her bir çubuğun yarıçapı ve çubukların boyunu belirleyecek olan mikroşerit anten tabanının yüksekliği gibi parametrelere bağlıdır. Temel olarak, kısa deve çubuğu yüksüz yamanın referans rezonans modunu tanımlayan LC rezonans devresine paralel bir endüktans olarak modellenir. Eşdeğer bir devrede, yeni rezonans modu (kısa devre çubuğuyla beraber) yama yapısının statik kapastansıya seri olan endüktansın sonucu olarak ortaya çıkabilir. Endüktif kısım ne kadar büyürse, o kadar küçük bir rezonans frekansı ortaya çıkar. Bu da sabit bir çalışma frekansı için küçültme miktarının artırılması anlamına gelmektedir (Porath 2000). Bu yöntem rezonans frekansının küçültülmesi

amacıyla Waterhouse tarafından ilk kez önerilmiştir (Waterhouse 1995) ve çeşitli yama şekillerine uygulanmıştır (Dey ve Mitra 1996). Mikroşerit antenler kısa devre çubuğu kullanılarak küçültülmüştür (Kan ve Waterhouse 1999, Porath 2000). Ayrıca Waterhouse' un 1995 tarihli çalışmasındaki gibi tek bir kısa devre çubuğu kullanılmasıyla maksimum boyut küçültmesi elde edilebilir (Waterhouse 1995). Burada, dairesel yamanın yarıçapı 3 katına kadar küçültülerek antenin tümleşik haberleşme sistemlerine uygun hale gelmesi sağlanmıştır. Şekil 2.12'de kısa devre pini ilaveli dairesel bir yama örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.12: Kısa devre pini ilave edilmiş prob beslemeli dairesel mikroşerit anten

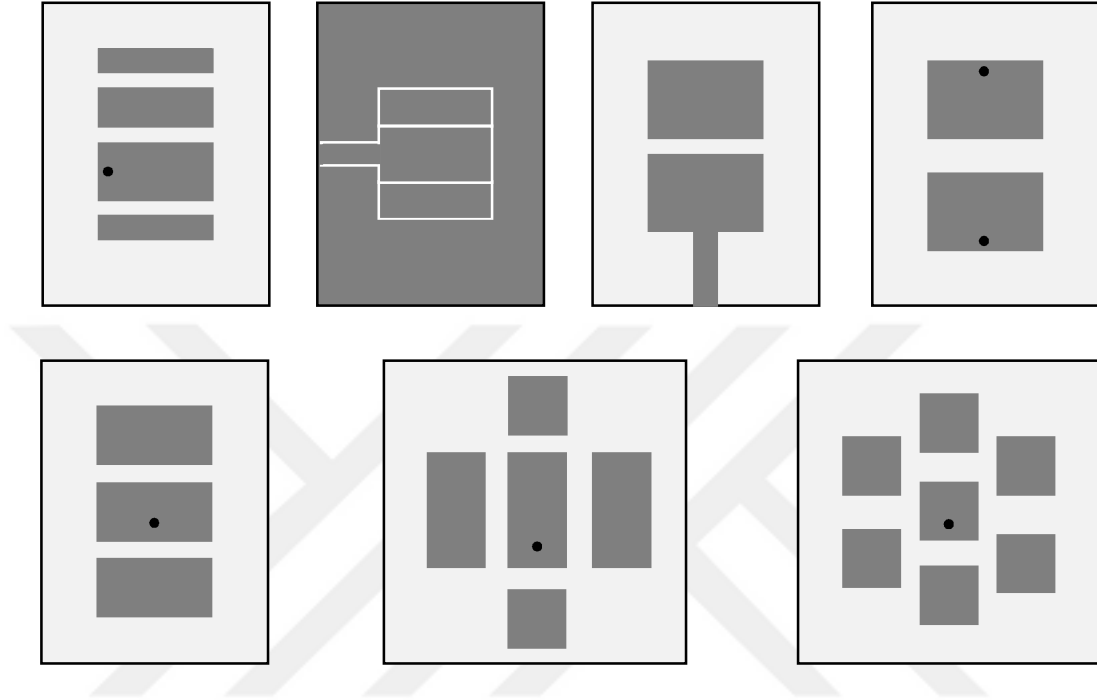
2.5.3. Çoklu yama ve empedans uyumlandırma elemanlarının kullanımı

2.5.3.1. Parazitik yama kullanımı

Mikroşerit yama antenlerde bitişik çoklu rezonanslarda çalışmanın, band genişliğini arttırmanın pratik bir yolu olduğu gösterilmiştir (Chen ve Chia 2006). Bu yaklaşımı kullanarak, iki ya da daha fazla bitişik rezonans eş zamanlı olarak çalışma frekansı bölgesinde iyi şekilde uyartılabilir. Bu yöntem evre ayarlı filtreler gibi RF devrelerinde ve log-periyodik dişli düzlemsel antenler ile log-periyodik dipol diziler gibi diğer anten uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (An ve ark 1993, 1994, Carroll ve ark 1994). En dolaysız yol ana yamaya yakın olacak şekilde konumlandırılacak ilave ışık yamaların oluşturulmasıdır. Bu parazitik yamalar aynı düzlemde olabileceği gibi ana yamanın üstüne, yığılı biçimde de yerleştirilebilir.

Şekil 2.13, bir ya da daha fazla parazitik elemanın sürülen eleman civarına yerleştirildiği eş düzlemli düzenlemeleri gösterir. Küçük boşluklar parazitik elemanların sürülen elemana güçlü bir şekilde kuplajlanmasına imkân tanır. Elemanlar neredeyse aynı

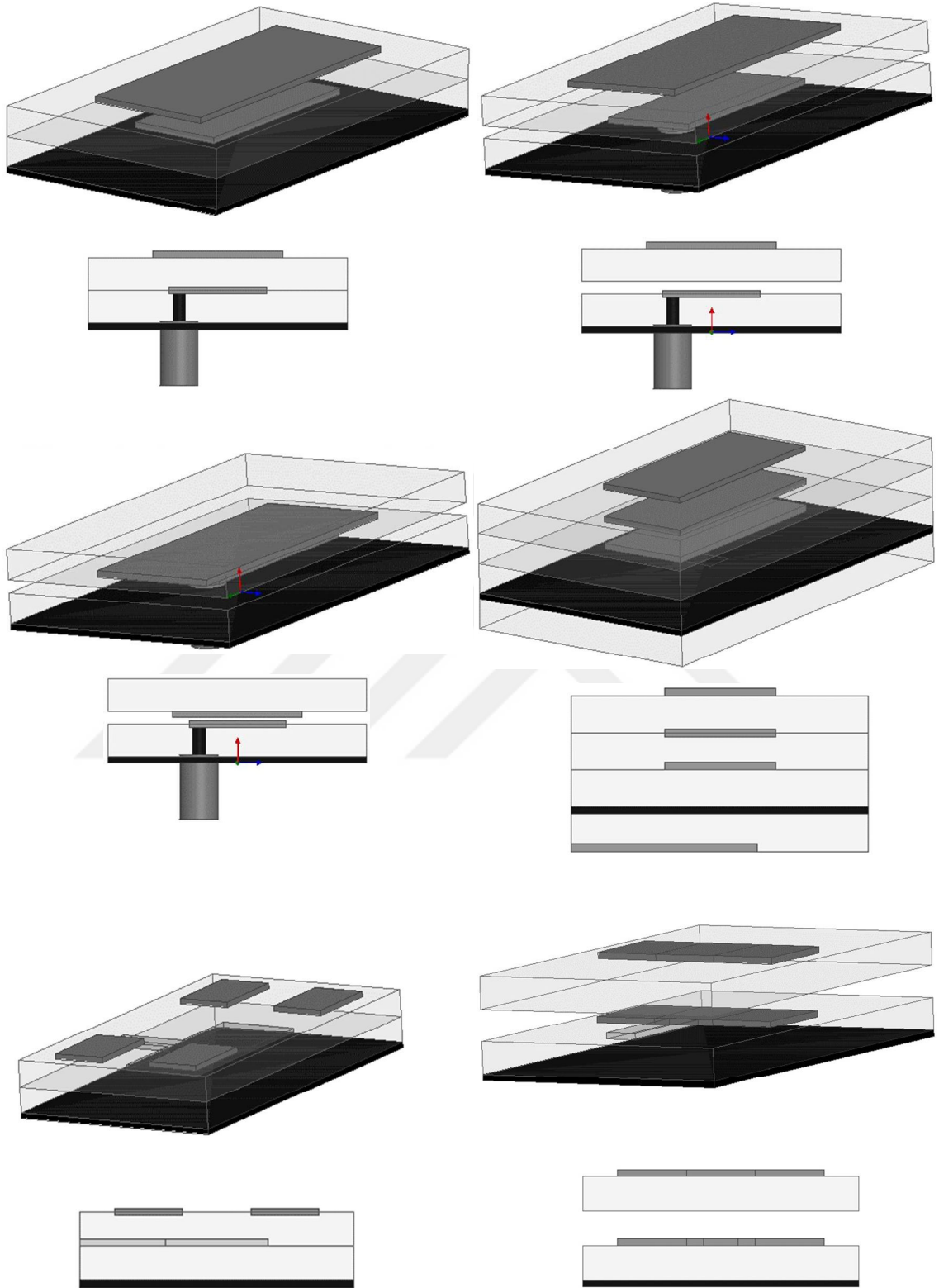
boyuttur. İyi uyartılan rezonanslar birbirine bitişiktir ve böylece genellikle tek bir ışıyan elemanınkine göre birkaç kat geniş iyi uyumlanmış bir band genişliği elde edilmiş olur (Revankar ve Kumar 1992, An ve ark 1993, 1994, Carroll ve ark 1994, Revankar ve Kumar 1994, Iwasaki 1995, Egashira ve Nishiyama 1996).



Şekil 2.13: Eşdüzlümlü kuplajlama şemaları

2.5.3.2. Çok katlı yama kullanımı

Şekil 2.14, parazitik elemanların ana yama(lar)ın altında yer aldığı düzenlemeleri göstermektedir. Yığılı elemanlarla sürülen eleman arasındaki kuplajlama sayesinde, empedans band genişliği oldukça artırılabilir. Genellikle, $V_{SWR}=1.5$ için, özellikle üst yama ile alt yama arasında kalan taban malzemesinin hava ya da düşük dielektrik sabitine sahip bir materyal olması durumunda band genişliği %10-20 civarına ulaşabilir. Boyutu artırmasına rağmen, yığılı mikroşerit anten çeşitleri pratik sistemlere, özellikle dizilere geniş empedans, iyi ışıma performansı ve yüksek kazançlarından ötürü yaygın olarak uygulanagelmektedir (Clenet ve Shafai 1999, Duffy 2000, Chen ve Chia 2006).

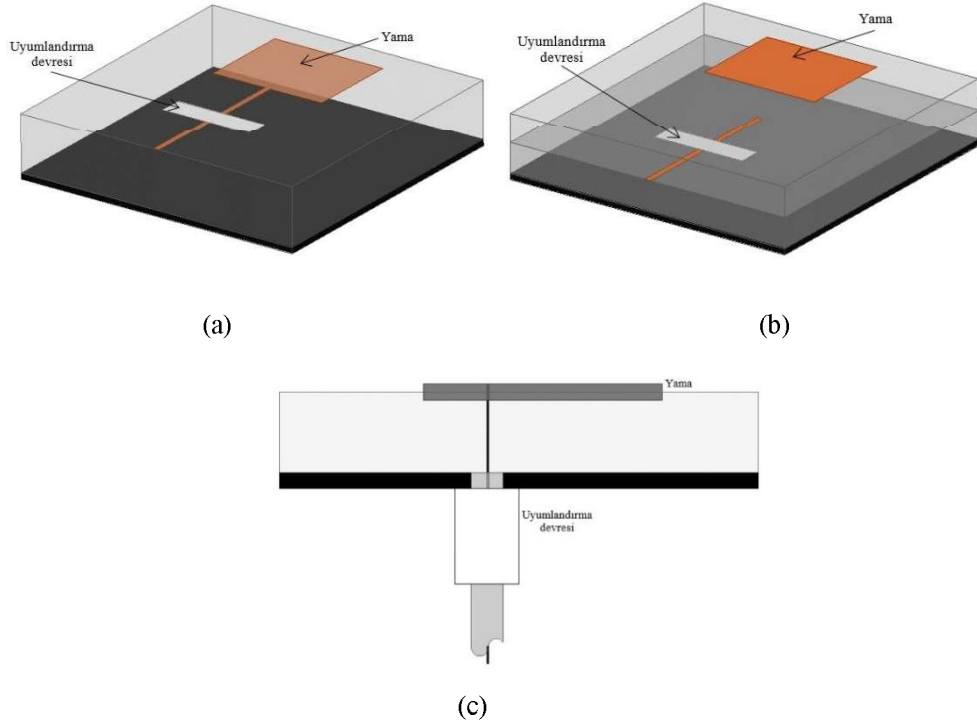


Şekil 2.14: Yığılı kuplajlama şemaları

2.5.3.3. Uyumlandırma elemanlarının kullanımı

Bir empedans uyumlandırma devresi frekansa bağımlı bir empedansa sahip yama ile sabit, karakteristik bir empedansı olan besleme yapısı arasında iyi bir uyumlandırma gerçekleştirmek amacıyla kullanılabilir. Bu durum kuşkusuz daha geniş bir band genişliği sağlayacaktır. Mikroşerit yama antenlerde kullanılan iki yaygın yöntem vardır. Bunlardan birincisi yamayı değiştirmeden ayrı bir uyumlandırma devresi yerleştirmek, ikincisi ise yamaya yarık ya da çentik açarak yama üzerinde bir uyumlandırma devresi oluşturmaktır. Her iki yöntemle de, kayıplı ya da kayıpsız bir empedans uyumlandırma devresinin antenle besleme yapısı arasına ilavesi doğrudan empedans band genişliğini arttırabilir. Bu yöntem yaygın olarak çeşitli anten uygulamalarında kullanılmaktadır.

Uyumlandırma devreleri çeyrek-dalga boyu empedans dönüştürücüsü, ayarlama saplaması, aktif elemanlar veya bunların çeşitleri olabilir (De Aza ve ark 2000, Hudson ve Pozar 2000, Khayat ve ark 2000, Ray ve ark 2003). Şekil 2.15'te teorik empedans uyumlandırma devreleri gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Teorik empedans uyumlandırma devreleri

3. ÇEŞİTLİ BAY'LERİN MİKROŞERİT YAMA ANTENLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

3.1. Farklı Yama Şekillerinin Anten Band Genişliğine Etkisinin Araştırılması

Tezin bu kısmında, farklı yama şekillerinin anten band genişliği üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla çeşitli tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Yama şekli olarak, literatürde yaygın olan daire, kare, eşkenar üçgenin yanı sıra Selçuklu Yıldızı şekilli mikroşerit yama anten (SYMŞA) tasarımları da yapılmış olup bu yeni yama şeklinin diğer yama şekillerine göre olan performansı incelenmiştir.

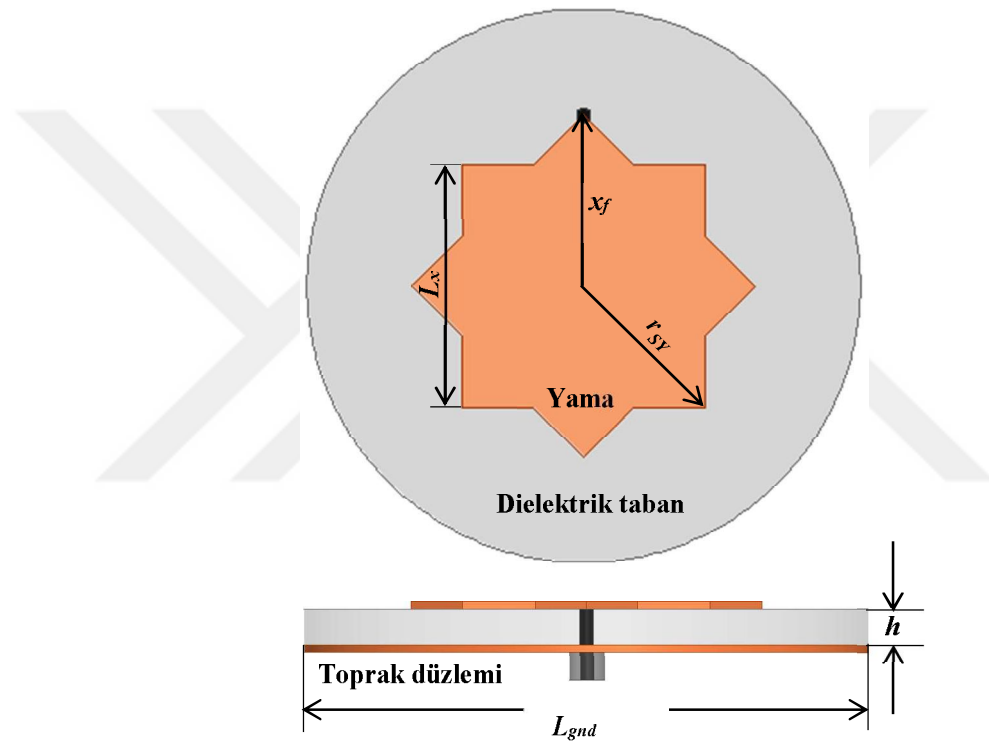
3.1.1. Selçuklu Yıldızı Şekilli Mikroşerit Yama Anten (SYMŞA) Tasarımı

Selçuklu yıldızı (SY); Selçuklu kültürünün temel simgelerinden biri olup, Arapça'da *Rub El Hizb* adıyla da anılır (Yetkin 1965, Mulayim 1992, Oney ve Erginsoy 1992, Büyükcanga 2008). Bu yıldız sekiz köşeye sahiptir ve eşit boyutlu iki karenin birbirine göre 45° farkla yerleştirilmesiyle kolayca elde edilebilir. Yine bu şeklin yüzey alanı, açıları, kenar uzunlukları vb. özellikleri geometrik yöntemlerle kolaylıkla bulunabilir.

Tez çalışmasında, çeşitli band genişliğini arttırma yöntemleri geleneksel ve literatürde mevcut olan mikroşerit yama anten şekillerine uygulanarak bu yöntemlerin band genişliği ve diğer anten parametreleri üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Buna ilaveten, SY olarak isimlendirilen geometrik şekle sahip bir mikroşerit yama anten tasarımı gerçekleştirilerek diğer anten şekilleriyle performansları bakımından karşılaştırılmıştır.

Literatürde farklı yıldız şekilli yama tasarımları mevcut olsa da (Parasnis ve ark 1986, Montrose ve ark 2001, Abbaspour ve Hassani 2008, Mehta ve ark 2008, Costantine ve ark 2009) sekiz köşeye sahip bu yıldız şeklinin yama olarak kullanıldığı bir çalışma mevcut değildir. Bu da yapılan çalışmayı özgün hale getirmektedir. Ayrıca, diğer çalışmalarda bu yama şekliyle beraber kompakt tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak (Parasnis ve ark 1986) hariç, literatürdeki diğer çalışmalarda yıldız şekilli yama tasarımları için herhangi bir tasarım ifadesi kullanılmayıp sadece geometrik yaklaşımlardan faydalanılmıştır.

SYMŞA tasarımına başlanırken, geleneksel DAMŞA tasarımında dairesel yama yerine aynı yarıçap değerine sahip SY şekilli bir yama tasarlanması halinde, oluşacak sonuçların araştırılması amaçlanmıştır. Bu sebeple ilk tasarlanan SYMŞA, tıpkı karşılaştırma yapılan DAMŞA gibi dairesel taban ve toprak düzlemine sahip biçimde tasarlanmıştır. Sonraki çalışmalarda, üretim kolaylığından ötürü, taban ve toprak düzlemi şekli kare olarak değiştirilmiştir. Yama şekli yanında taban ve toprak düzleminin de SY şekilli olduğu tasarımlar mevcuttur. Yine, karşılaştırılacak dairesel yamadan dolayı, besleme şekli olarak da koaksiyel hat tercih edilmiştir. Şekil 3.1’de, tasarlanan SYMŞA görülmektedir.



Şekil 3.1: SYMŞA'ın üstten ve yandan görünüşü

Aşağıda ilgili ifadelerin yıldız yama tasarımı için nasıl kullanıldığı bir örnekle anlatılacaktır.

Tasarım Adımlar:

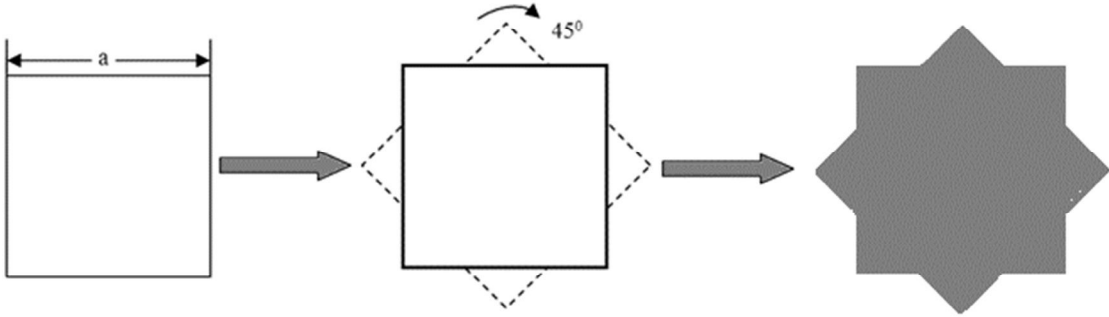
1. Tüm mikroşerit yama anten tasarımlarında temel olan, antenin tasarlanacağı rezonans frekansı (f_r) ile antenin gerçekleştirileceği malzeme seçimidir. Buna göre malzemeye ait dielektrik katsayısı (ϵ_r) ile kalınlık (h) belirlenir.

2. HFSS ortamında yapılan pek çok denemenin ardından r_{SY} değeri olarak r yerine r_{eff} 'in kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. (2.1) no'lu denklem

kullanılarak DAMŞA için r_{eff} etkin yarıçap değeri hesaplanır. Bulunan bu değer SYMŞA'nın yarıçapı r_{SY} olarak kullanılır.

3. r_{SY} , oluşturulacak yıldız şeklinin merkezi ile köşesi arasındaki uzunluk olarak kabul edilirse, SY şeklini oluşturacak olan karelerin bir kenar uzunluğu L_x , geometrik olarak r_{SY} değerinin $\sqrt{2}$ katı alınarak belirlenir.

4. Şekil 3.2'den de görüleceği gibi yıldız oluşturacak olan iki kare çizilir ve birbirine göre 45° döndürülerek birleştirilir. Şekil 3.3'te ise yamanın yüzey alanının hangi adımlarla hesaplanacağı gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Selçuklu Yıldız Şeklinin Oluşturulması

Alan hesaplanırken, Şekil 3.3'teki gri renkli dört adet küçük üçgenin ve ortadaki büyük beyaz karenin alanı ayrı ayrı hesaplanarak toplanır. Temel geometrik eşitliklerden,

$$L_x^2 = b^2 + b^2 = 2 \times b^2 \quad (3.3)$$

ve

$$r_{SY}^2 = L_x^2 + L_x^2 = 2 \times L_x^2 \quad (3.4)$$

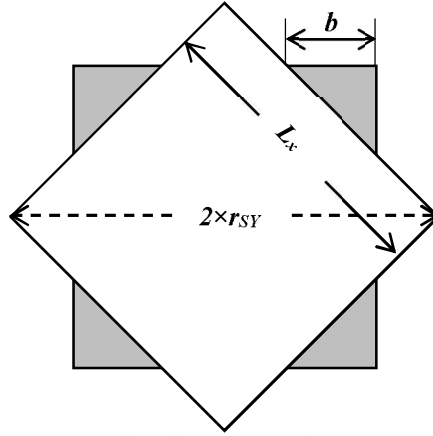
yazılabilir. L_x ve b değişkenleri ilgili formüllerden çekilerek tüm bilinmeyenlerin r_{SY} cinsinden yazılması sağlanırsa:

$$L_x = \sqrt{2} \times r_{SY} \quad (3.5)$$

ve

$$b = \frac{r_{SY}}{(1 + \sqrt{2})} \quad (3.6)$$

şeklinde elde edilir. Bir sonraki adımda kare ve üçgenlerin alanları hesaplanarak toplanır ve SY şeklinin toplam alanı elde edilmiş olur.



Şekil 3.3: SY şeklinin yüzey alanının hesaplanması

$$A_{Kare} = L_x^2 = (\sqrt{2}r_{SY})^2 = 2r_{SY}^2 \quad (3.7)$$

ve

$$A_{Üçgen} = \frac{1}{2} \times b \times b = \frac{1}{2} \times \left[\frac{r_{SY}}{(1+\sqrt{2})} \right]^2 \quad (3.8)$$

Buradan,

$$A_{SY} = A_{Kare} + 4 \times A_{Üçgen} \cong 2.343r_{SY}^2 \quad (3.9)$$

olarak hesaplanabilir. SY'nin çevresi ise;

$$Ç_{SY} = 16 \times b \cong 6.627r_{SY} \quad (3.10)$$

Eğer aynı yarıçap değerine sahip dairesel bir yamanın alanını ve çevresi hesaplanırsa:

$$A_{Daire} = \pi \times r^2 \cong 3.142r^2 \quad (3.11)$$

ve

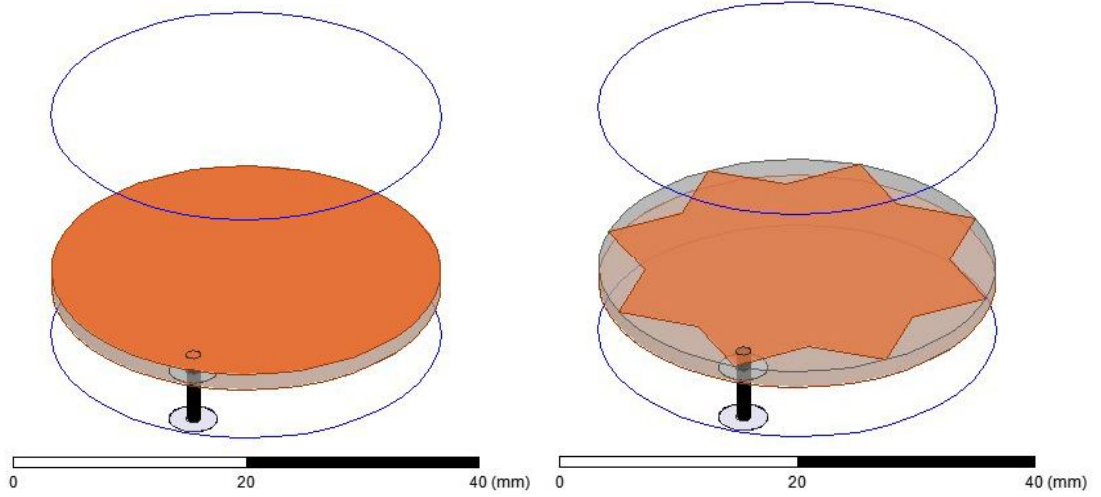
$$Ç_{Daire} = 2 \times \pi \times r \cong 6.283r \quad (3.12)$$

elde edilecektir. Bu durumda, aynı yarıçap değerine sahip iki yama için, yama çevresi ilk duruma göre %5.48 oranında artarken, yama alanında ise %34.09'luk bir azalma olmaktadır. Yama alanındaki bu azalma, oluşacak bakır kayıplarını azaltmanın yanısıra, antenin daha az yer kaplamasından dolayı daha fazla uygulamada kullanılabilmesine imkân sağlayacaktır. Yama çevresinin artışıyla yama yüzeyindeki akımın yolu da uzayacağından, antenin rezonans frekansı ve band genişliği bu uzunluk ayarlanarak değiştirilebilir. Sonraki bölümlerde çeşitli malzeme ve frekanslar için tasarlanan SYMŞA örneklerinin yanında bu antenlerin performansı ile karşılaştırılması hedeflenerek DAMŞA, KMŞA ve EÜMŞA'lar de tasarlanmıştır. Çalışmaların ayrıntıları alt bölümlerde açıklanmıştır.

3.1.2. Daire ve Selçuklu Yıldız Şekli Yamaların Band Genişliği Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

Tezin bu kısmında, tasarım esnasında aynı formüllerin kullanılması nedeniyle DAMA ve SYMŞA tasarımlarının performans karşılaştırılması yapılmıştır. Taban malzemesi olarak Foam seçilmiştir. Taban şekli olarak dairesel yama geometrisiyle uyumlu olan disk şekli seçilmiştir. Yamaların toprak düzlemi ve besleme hattı konumları HFSS ile parametrik analize tabii tutularak en iyi frekans ve band genişliği değerlerini veren konumlar belirlenmiştir. Her bir yama şekli için bulunan besleme noktası konumları, diğer tipteki yamaya da uygulanarak antenlerin yalnızca yama şekli farklılığına sahip biçimde karşılaştırılmaları sağlanmıştır. Ayrıca, yama boyutları da eşit tutularak şeklin anten performansı üzerindeki etkisinin net bir şekilde görülebilmesi amaçlanmıştır. Şekil 3.4'te tasarlanan DAMŞA ve SYMŞA'lar görülmektedir. Çizelge 3.1'de ise üç farklı toprak düzlemi boyutu ve besleme noktası için DAMŞA ve SYMŞA tasarımlarının simülasyon sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.1'den de görüleceği üzere, SYMŞA tasarımlarının çoğunda rezonans frekansı teorik değere DAMŞA tasarımlarına göre daha çok yaklaşırken, band genişlikleri ise DAMŞA'lerinden daha büyük değerlere ulaşmıştır. Bu sonuçlar Foam malzeme ve tek bir rezonans frekansı için elde edildiğinden ötürü çalışmanın farklı malzeme ve frekanslar için genişletilmesi amaçlanmıştır. Şekil 3.5'te tasarımlara ait ışıma desenleri ve Şekil 3.6'da akım dağılımları görülmektedir.



Şekil 3.4: DAMŞA ve SYMŞA tasarımları

Çizelge 3.1: Foam üzerine tasarlanan DAMA ve SYMŞA parametreleri ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Yama şekli	L_{gnd} (mm)	x_f (mm)	L (mm)	h (mm)	ϵ_r	f_{rTeo} (MHz)	f_{rSim} (MHz)	BG_{Sim} (%)	Z_{Sim} (Ω)
●	76	-32	36.09	5	1.05	2400	1920	-	116.119
	80	35	36.09	5	1.05	2400	2090	10.41	113.296
	96	-35	36.09	5	1.05	2400	2210	13.92	85.640
✳	76	-32	36.09	5	1.05	2400	2400	14.83	103.893
	80	35	36.09	5	1.05	2400	2370	15.00	96.320
	96	-35	36.09	5	1.05	2400	2470	8.91	73.774

Burada;

L_{gnd} : Toprak düzlemi ve Dielektrik tabanı oluşturan diskin çapı,

L : Yamayı oluşturan dairenin çapı, aynı zamanda SY'nin karşılıklı iki köşesi arasındaki uzaklık,

f_{rTeo} : Antenin tasarlandığı rezonans frekansı,

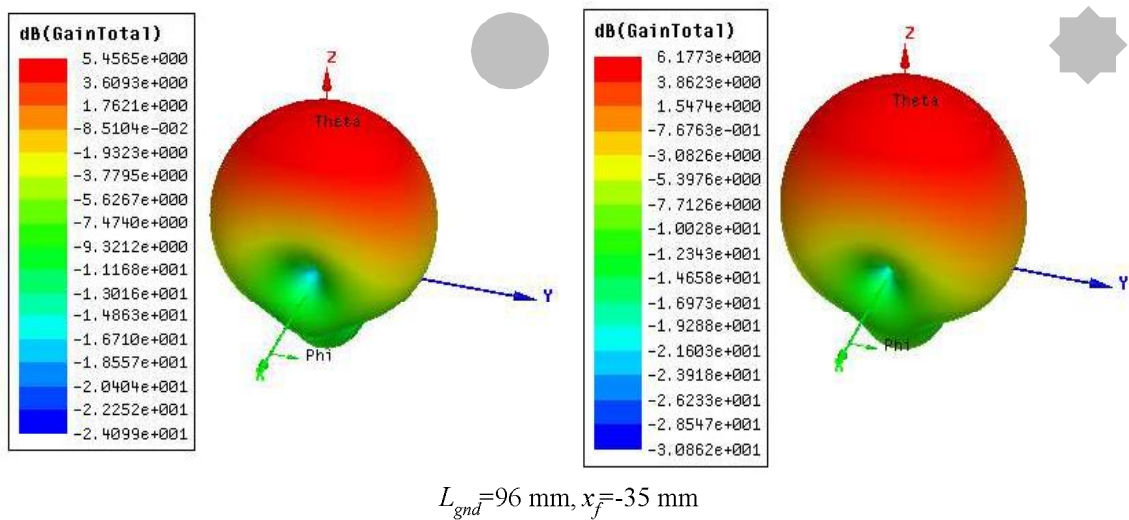
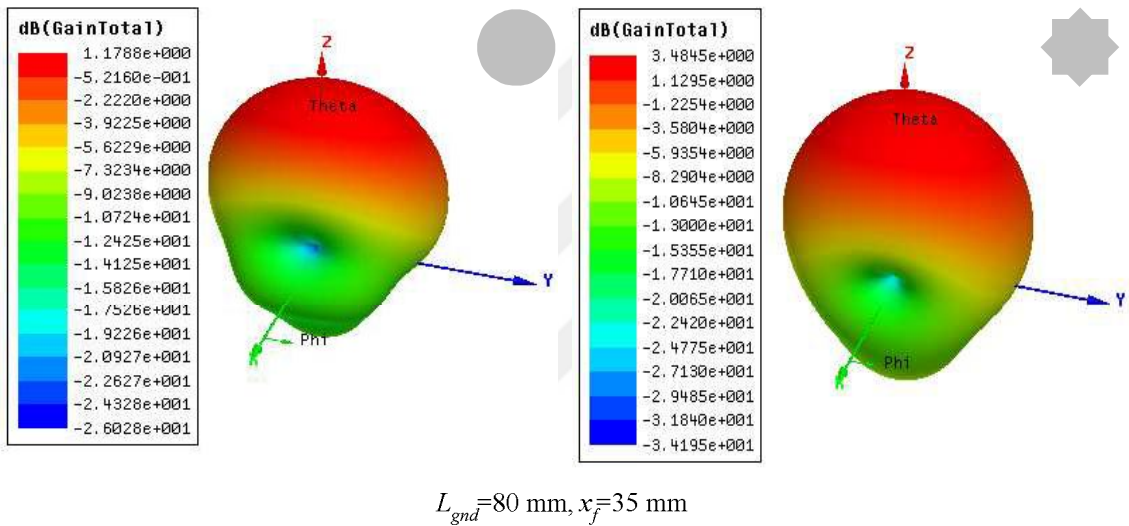
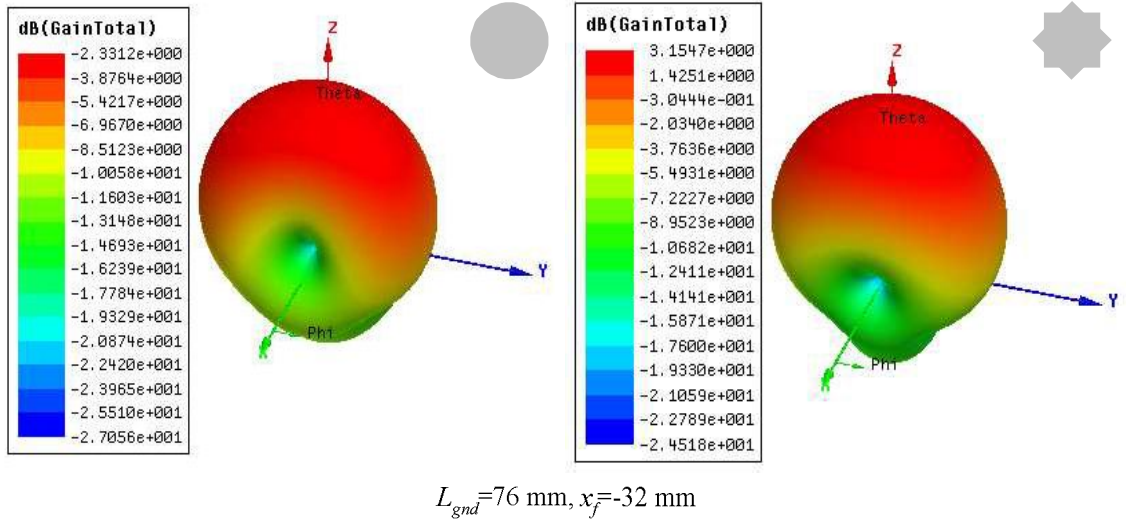
f_{rSim} : Simülasyonda elde edilen rezonans frekansı,

BG_{Sim} : Simülasyonda elde edilen band genişliği,

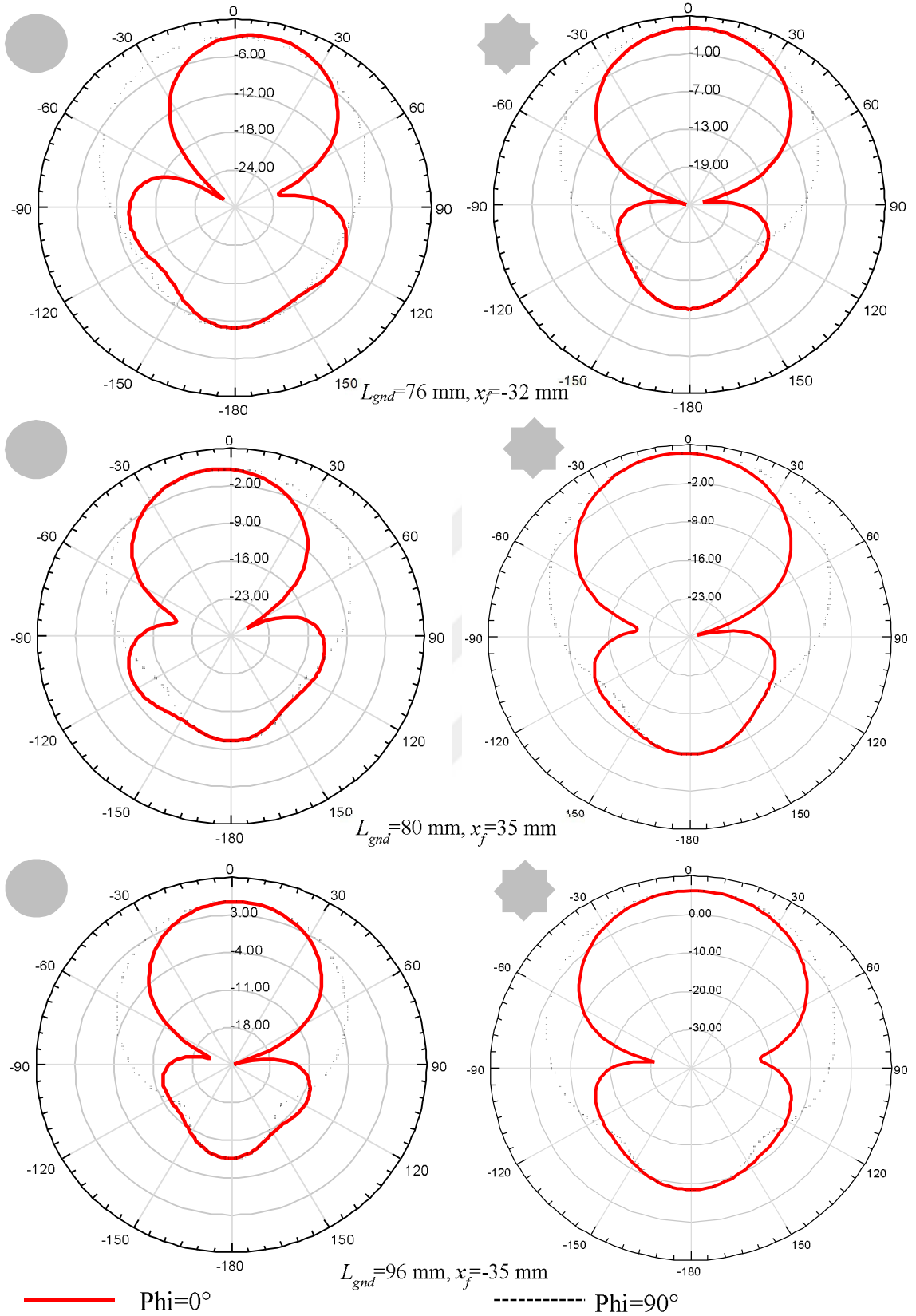
x_f : Besleme noktası,

h : Taban kalınlığı,

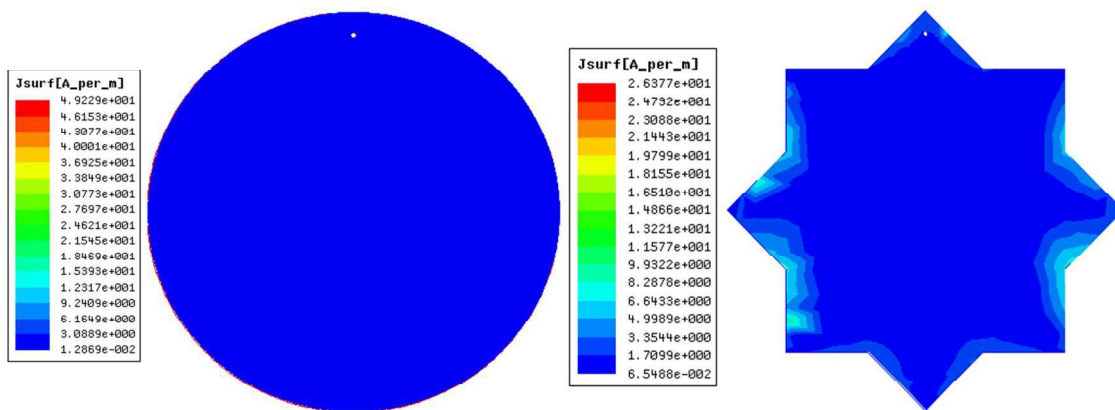
ϵ_r : Tabanın dielektrik sabitidir.



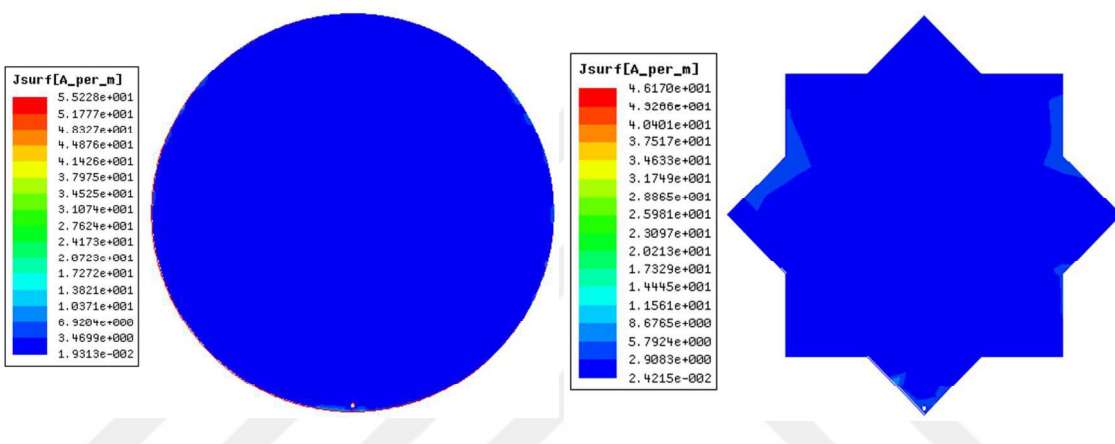
Şekil 3.4: DAMŞA ve SYMŞA tasarımlarına ait 3 boyutlu kutupsal ışınma desenleri



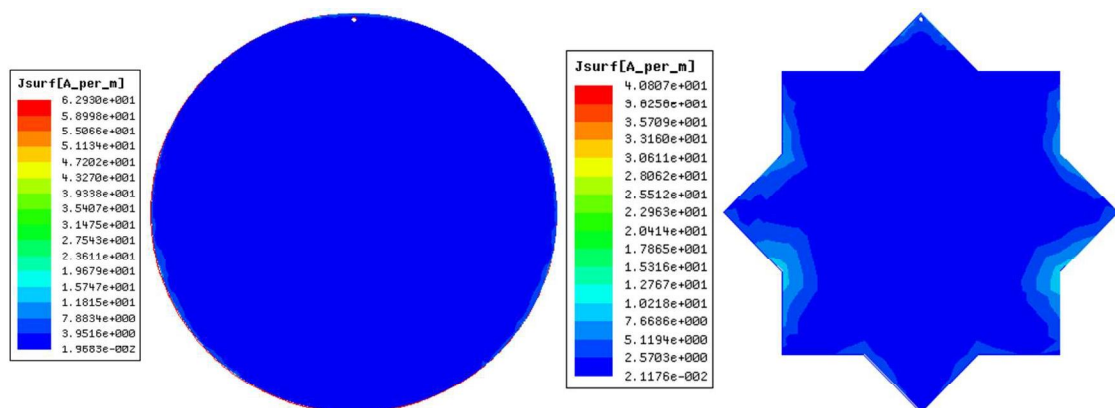
Şekil 3.5: DAMŞA ve SYMŞA tasarımlarına ait 2 boyutlu ışın desenleri



$L_{gnd}=76$ mm, $x_f=-32$ mm



$L_{gnd}=80$ mm, $x_f=35$ mm



$L_{gnd}=96$ mm, $x_f=-35$ mm

Şekil 3.6: DAMŞA ve SYMŞA tasarımlarına büyüklük akım dağılımları

3.1.3. SYMŞA' lerin Performanslarının Karşılaştırılması

Bu çalışmada öncelikle $h=5$ mm taban kalınlığı için Foam taban üzerinde yama tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımlar, 900-5100 MHz arasında toplam 15 farklı frekans için yapılmıştır. SYMŞA tasarlanırken r_{SY} değeri için aynı frekans ve malzeme değerleri kullanılarak DAMŞA'lere ait etkin yarıçap (r_{eff}) değerleri hesaplanarak kullanılmıştır. Çizelge 3.2'de, bu yamaların fiziksel parametreleri ile teorik rezonans frekansı sonuçlarıyla HFSS simülasyonlarından elde edilen rezonans frekansı ve band genişliği değerleri verilmiştir.

Aynı yama boyutları ile $h=10$ ve $h=2.5$ mm kalınlıkları için çalışmalar tekrarlanmıştır. En iyi sonuçların hem rezonans frekansı hem de S_{11} (dB) cevabı bakımından 5 mm'lik taban ile yapılan tasarımlardan elde edildiği görülmüştür. Bundan dolayı çalışmaya 5 mm kalınlık ile devam edilmiştir.

Çizelge 3.2: SYMŞA' in Fiziksel Tasarım Parametreleri ve Simülasyon Sonuçları

r_{SY} (mm)	L_{gnd} (mm)	h (mm)	ϵ_r	f_{rTeo} (MHz)	f_{r1Sim} (MHz)	f_{r2Sim} (MHz)	BG _{Sim} (%)
96.25	481.25	5	1.03	900	925.5	-	7.03
72.20	361.00	5	1.03	1200	1468.7	-	9.47
57.75	288.75	5	1.03	1500	1171.3	1898.8	8.12
48.12	240.60	5	1.03	1800	1818.5	-	10.34
41.25	260.25	5	1.03	2100	2107.5	-	10.73
36.09	180.45	5	1.03	2400	2453.5	-	10.85
32.08	160.40	5	1.03	2700	2557.4	4014.0	11.34
28.87	144.25	5	1.03	3000	3044.5	-	11.63
26.25	131.25	5	1.03	3300	3342.5	-	11.88
24.06	120.30	5	1.03	3600	3620.5	-	12.27
22.21	110.05	5	1.03	3900	3914.5	-	12.27
20.62	103.10	5	1.03	4200	4196.5	-	12.59
19.25	96.25	5	1.03	4500	4481.5	-	12.41
18.05	90.25	5	1.03	4800	4745.5	-	12.75
16.98	84.90	5	1.03	5100	5020.5	-	13.23

Çalışmanın devamında 5 mm kalınlığındaki Foam malzeme üzerine 10 mm yarıçaplı dairesel yama tasarımıyla başlanmış ve bu yarıçap değeri için etkin yarıçap değeri hesaplanarak SYMŞA tasarımında kullanılmıştır. Disk şekilli seçilen taban ve toprak düzlemi boyutu ise r_{SY} 'nin 2.5 katı olarak alınmıştır. Sonrasında dairesel yama antenin yarıçap değeri 5 mm'lik adımlarla 50 mm'ye kadar arttırılarak işlemler tekrarlanmıştır. Bulunan etkin yarıçap değerleri kullanılarak antenlerin rezonans frekansları 1530-6280 MHz arasında hesaplanmıştır (Dahele ve Lee 1983). Bulunan parametrelerle antenlerin simülasyonleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan ve

simülasyonlarla elde edilen değerler, anten parametreleriyle birlikte Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3: SYMŞA' lerin tasarım parametreleri ve sonuçları

ϵ_r	h (mm)	r (mm)	L_{gnd} (mm)	f_{rTeo} (MHz)	f_{r1Sim} (MHz)	f_{r2Sim} (MHz)	f_{r3Sim} (MHz)	BG _{1Sim} (MHz)	BG _{2Sim} (MHz)	BG _{3Sim} (MHz)
1.03	5	10	97.60	6280	5960	-	-	1.07	-	-
1.03	5	15	137.70	4450	5990	-	-	1.06	-	-
1.03	5	20	176.50	3470	4640	7120	-	0.85	0.51	-
1.03	5	25	215.00	2850	2750	4330	-	0.47	0.43	-
1.03	5	30	252.26	2430	2410	3790	-	0.36	0.20	-
1.03	5	35	289.50	2120	2080	3010	4810	0.31	0.22	0.26
1.03	5	40	326.50	1880	1860	2950	-	0.24	0.10	-
1.03	5	45	363.30	1690	1630	2650	-	0.21	0.45	-
1.03	5	50	200.00	1530	1530	2450	-	0.17	0.16	-

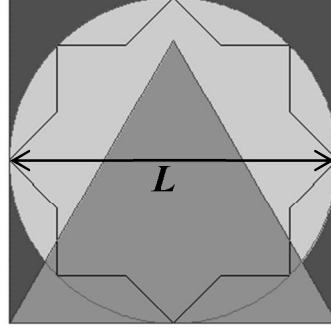
Çizelge 3.3'ten de görüleceği gibi, yama boyutu arttıkça teorik frekansla simülasyon frekansı değerlerinin birbirlerine yaklaştıkları, büyük yama değerleri için 2. ve 3. frekanslarda rezonansın oluştuğu; fakat band genişliklerinde bariz bir azalma olduğu söylenebilir. Yine tek bir mazleme değeriyle tasarım yapılmasından dolayı bu sonuçlar da yeterli değildir ve çalışmanın geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

3.1.4. Daire, Eşkenar Üçgen, Kare ve Selçuklu Yıldızı Şekilli Yama Antenlerin Performanslarının Karşılaştırılması

Tezin bu kısmında, yama boyutlarının eşitliği esas alınarak, Rogers Duroid 5880 ($h=3.175$ mm, $\epsilon_r=2.2$) dielektrik taban malzemesi üzerine, DAMŞA, EÜMŞA, KMŞA ve SYMŞA tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tüm anten tipleri için toprak düzlemi ve dielektrik taban şekli kare olarak seçilmiştir. Tüm antenler koaksiyel hat kullanılarak beslenmiştir. Her bir yama şekli için en iyi sonuçları veren besleme noktası, HFSS programının *Parametrics* özelliği kullanılarak belirlenmiştir. Tasarımlara kare şekilli mikroşerit anten ile başlanmıştır. Literatürde yaygın olan biçimde (Richards ve ark 1981, Garg ve ark 2001) karenin bir kenar uzunluğu (L), antenin tasarlandığı frekans için, dalgaboyunun yarısı kadar ($\lambda/2$) seçilmiştir. Toprak düzlemi boyutu ise yama kenar uzunluğunun 1.5 katı olarak belirlenmiştir. Tasarlanan antenler Şekil 3.7'den görülebilir.

Daha sonra, kare yamanın bir kenarının uzunluğu; daire şekilli yamanın çapı, EÜ şekilli yamanın yüksekliği ve SY şekilli yamanın karşılıklı iki köşesi arasındaki uzunluğa eşitlenerek diğer anten tasarımları da gerçekleştirilmiştir. Diğer şekillerdeki mikroşerit anten tasarımları için literatürdeki formüller dikkate alınmamıştır. Antenlerin besleme

noktası, kare yama için olduğu gibi, HFSS kullanılarak belirlenmiştir. Sonrasında antenlerin uygulamaları tamamlanarak network analizör ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Dört farklı mikroşerit antene ait tasarım parametreleri Çizelge 3.4'te simülasyon ve ölçüm sonucu elde edilen rezonans frekansı ve band genişliği değerleri ile birlikte verilmiştir.



Şekil 3.7: Boyut eşitliğine dayalı farklı şekillerdeki mikroşerit anten tasarımları

Çizelge 3.4: DAMŞA, EÜMŞA, KMSA ve SYMŞA tasarım parametreleri ve performanslarının karşılaştırılması

Yama şekli	L (mm)	L_{gnd} (mm)	x_f (mm)	h (mm)	ϵ_r	f_{rSim} (MHz)	$f_{rÖlç}$ (MHz)	BG_{Sim} (%)	$BG_{Ölç}$ (%)
●	45.88	68.82	7.94	3.175	2.2	2423	2440	3.137	4.508
▲	45.88	68.82	39.00	3.175	2.2	2355	2370	2.421	3.376
■	45.88	68.82	9.94	3.175	2.2	1992	2060	3.364	1.942
★	45.88	68.82	6.94	3.175	2.2	2626	2430	3.009	3.704

Burada;

L : Dört yama tipinde kullanılan ortak uzunluk,

L_{gnd} : Kullanılan kare taban ve toprak düzleminin bir kenar uzunluğu,

x_f : Besleme noktasının yamanın merkezine olan uzaklığı,

f_{rSim} : Simülasyonlar sonucunda elde edilen rezonans frekansı,

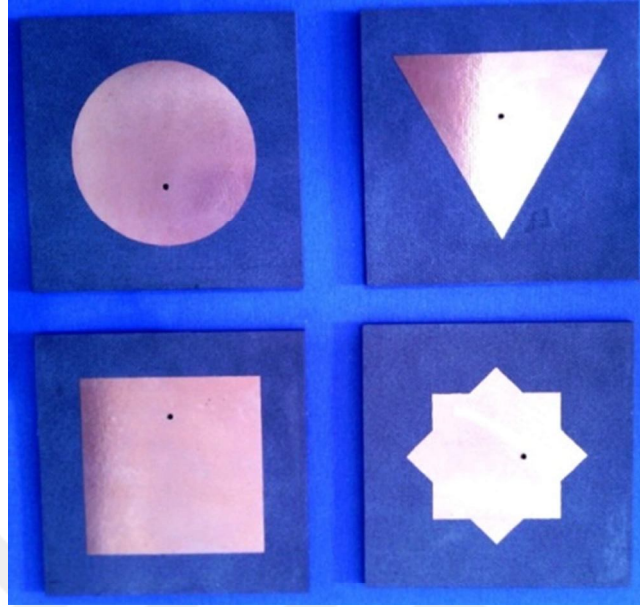
BG_{Sim} : Simülasyonlar sonucunda elde edilen band genişliği,

$f_{rÖlç}$: Ölçülen rezonans frekansı,

$BG_{Ölç}$: Ölçüm sonucunda elde edilen band genişliğidir.

Çizelge 3.4'ten görüldüğü gibi, rezonans frekansları simülasyon ve ölçüm değerleri birbirine yakın olsa da band genişliği değerleri arasında değişimler gözlenmektedir. Antenin performansı değerlendirilirken hem istenilen rezonans frekansına olan yakınlığı, hem de sağladığı band genişliği göz önünde bulundurulmaktadır. Simülasyonlarda en iyi performansı DAMŞA gösterse de,

ölçümlerde DAMŞA ve SYMŞA tasarımları birbirine yakın ve iyi performanslar sergilemiştir. Şekil 3.8’de uygulaması gerçekleştirilen antenler görülmektedir.




Şekil 3.8: DAMŞA, EÜMŞA, KMŞA ve SYMŞA Uygulamaları

3.1.5. Kare-Daire-Selçuklu Yıldız Şekilli Yamaların Performanslarının Karşılaştırılması

Tezin bu kısmında Rogers Duroid6010 ($h= 3.175$ mm, $\epsilon_r=10.2$) taban malzemesi ile malzemenin dielektrik sabiti, kalınlığı ve boyutuna uygun olarak 5800 MHz’te SY şeklinde bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarımın yama şekli dönüşümü boyut ve alan eşitliği esaslarına göre simülasyonları tamamlanmıştır. Çalışmada öncelikle SY şeklinde bir yama tasarlanmış olup sonrasında, yama şekli Daire ve Kareye dönüştürülmüştür. Simülasyon sonuçları Çizelge 3.5’te belirtildiği gibidir.

Simülasyonlar sonucunda tüm yama şekillerinde birden fazla rezonans frekansının ortaya çıktığı ve en büyük band genişliği değerine SYMŞA ile ulaşıldığı görülmüştür. %1.48’lik bu değer her ne kadar antenin tasarlandığı ISM 5800 MHz’in ihtiyacı olan % 2.5’lik değeri karşılamasa da diğer anten şekilleriyle karşılaştırıldığında çok daha yüksek bir değerdir. Bu tasarım üzerine çeşitli BAY’leri ilave edilerek anten performansı iyileştirilebilir.

Çizelge 3.5: Rogers Duroid 6010 malzemesi Üzerine sabit boyutlu SY-Kare-Daire Dönüşümü

Yama Şekli	f_{rTeo} (MHz)	f_{rSim} (MHz)	BG _{Sim} (%)
Selçuklu Yıldızı 	5800	5560	0.43
		5630	1.48
		5880	0.27
Kare 	5800	5550	0.13
		5930	0.22
		5980	0.17
Daire 	5800	5570	0.16
		5910	0.24
Kare Alan 	5800	5550	0.13
		5930	0.22
		5980	0.17
Daire Alan 	5800	5880	0.14

Farklı yama şekilleriyle yapılan çalışmalar sonucunda, SYMŞA için r_{eff} değerinin kullanımının tam anlamıyla uygun olmadığı, anten performansının sadece yama şekline bağlı olmadığı, bunun yanısıra kullanılan malzeme parametrelerine ve antenin tasarlandığı frekansa da bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmanın devamı niteliğinde, tez sonrasında SYMŞA için r_{SY} değerini verecek bir formül elde edilmesi planlanmaktadır. Bu amaçla tez çalışması boyunca tasarlanan ve uygulaması da gerçekleştirilen anten parametrelerinden faydalanılacaktır.

3.2. Farklı Dielektrik Taban Malzemelerinin Anten Band Genişliğine Etkisinin Araştırılması

3.2.1. Farklı Taban Kalınlıklarının ve Dielektrik Sabitlerinin Anten Band Genişliğine Etkilerinin Araştırılması

Bu kısımda, literatürde en yaygın kullanım alanı bulan ve dielektrik sabiti değerleri birbirinin yaklaşık iki katına tekabül eden Foam, Teflon (PFTE) ve FR-4 malzemeleri üzerine 2400, 5800 ve 8000 MHz rezonans frekanslarında toplamda 180 adet SYMŞA tasarlanmıştır. Taban kalınlıkları 1 ila 20 mm arasında 1'er mm'lik adımlarla değiştirilerek antenlerin HFSS ortamında simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.6'da tasarlanan antenlerin parametreleri verilmiştir. Tasarımlarda seçilen taban kalınlıklarında mevcut taban malzemelerinin olmaması sebebiyle bu çalışmanın uygulamaları yapılmamıştır.

Çizelge 3.6: Farklı dielektrik malzemeler üzerine tasarlanan SYMŞA parametreleri

Malzeme	Foam			Teflon			FR-4		
ϵ_r	1.05	1.05	1.05	2.10	2.10	2.10	4.20	4.20	4.20
f_{rTeo} (MHz)	2400	5800	8000	2400	5800	8000	2400	5800	8000
L (mm)	71.5	32.34	29.50	50.56	20.92	15.12	35.74	14.80	10.72
h (mm)	L_{gnd} (mm)	L_{gnd} (mm)	L_{gnd} (mm)	L_{gnd} (mm)	L_{gnd} (mm)	L_{gnd} (mm)	L_{gnd} (mm)	L_{gnd} (mm)	L_{gnd} (mm)
1	107.11	47.84	36.33	77.49	35.58	27.45	56.55	26.92	21.17
2	113.11	53.84	42.33	83.49	41.58	33.45	62.55	32.92	27.17
3	119.11	59.84	48.33	89.49	47.58	39.45	68.55	38.92	33.17
4	125.11	65.84	54.33	95.49	53.58	45.45	74.55	44.92	39.17
5	131.11	71.84	60.33	101.49	59.58	51.45	80.55	50.92	45.17
6	137.11	77.84	66.33	107.49	65.58	57.45	86.55	56.92	51.17
7	143.11	83.84	72.33	113.49	71.58	63.45	92.55	62.92	57.17
8	149.11	89.84	78.33	119.49	77.58	69.45	98.55	68.92	63.17
9	155.11	95.84	84.33	125.49	83.58	75.45	104.55	74.92	69.17
10	161.11	101.84	90.33	131.49	89.58	81.45	110.55	80.92	75.17
11	167.11	107.84	96.33	137.49	95.58	87.45	116.55	86.92	81.17
12	173.11	113.84	102.33	143.49	101.58	93.45	122.55	92.92	87.17
13	179.11	119.84	108.33	149.49	107.58	99.45	128.55	98.92	93.17
14	185.11	125.84	114.33	155.49	113.58	105.45	134.55	104.92	99.17
15	191.11	131.84	120.33	161.49	119.58	111.45	140.55	110.92	105.17
16	197.11	137.84	126.33	167.49	125.58	117.45	146.55	116.92	111.17
17	203.11	143.84	132.33	173.49	131.58	123.45	152.55	122.92	117.17
18	209.11	149.84	138.33	179.49	137.58	129.45	158.55	128.92	123.17
19	215.11	155.84	144.33	185.49	143.58	135.45	164.55	134.92	129.17
20	221.11	161.84	150.33	191.49	149.58	141.45	170.55	140.92	135.17

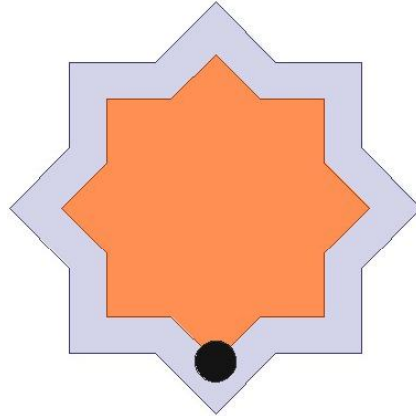
Çizelge 3.7: Dielektrik malzeme parametrelerinin bandgenişliğine etkileri çalışmasında elde edilen en iyi sonuçlar

Malzeme	ϵ_r	h (mm)	L_{gnd} (mm)	f_{rTeo} (MHz)	f_{rSim} (MHz)	BG _{Sim} (%)
Foam	1.05	6	137.11	2400	2490	10.34
	1.05	7	143.11	2400	2470	10.87
	1.05	8	149.11	2400	2430	10.79
	1.05	9	155.11	2400	2390	9.34
	1.05	5	71.84	5800	5770	12.18
	1.05	3	48.33	8000	8150	10.81
	1.05	4	54.33	8000	7890	13.62
	Teflon	2.10	10	131.49	2400	2480
2.10		11	137.49	2400	2440	13.46
2.10		12	143.49	2400	2400	13.23
2.10		13	149.49	2400	2340	12.03
2.10		7	71.58	5800	5730	15.81
2.10		5	51.45	8000	8160	22.31
2.10		6	57.45	8000	7820	20.54
2.10		15	111.45	8000	8390	31.19
FR-4	4.20	12	122.55	2400	2390	18.03
	4.20	13	128.55	2400	2330	18.51
	4.20	15	110.92	5800	5760	29.95
	4.20	5	45.17	8000	8140	25.02
	4.20	11	81.17	8000	8460	36.34
	4.20	12	87.17	8000	7840	35.13

Çalışmada, farklı frekans ve dielektrik taban malzemeleri ile yapılan tasarımlarda taban kalınlıklarındaki değişimin yamaların rezonans frekansı ve empedans band genişlikleri üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda Çizelge 3.7’de en iyi değerlere sahip sonuçlar verilmiştir. Fakat dielektrik taban sabiti ya da taban kalınlığı ile rezonans frekansı ve empedans band genişliği arasında lineer bir ilişki kurulamamıştır. Bu sebeple çalışmada hedeflenen SY’nın tasarım formülünün elde edilmesi yönünde anlamlı bir değişim elde edilememiştir. Bu çalışmanın sonuçları Genetik Algoritma vb. farklı optimizasyon yöntemleri kullanılarak değerlendirilebilir.

3.2.2. Farklı Taban Kalınlıklarının Band Genişliğine Etkisinin Araştırılması

Bu çalışmada Rogers Duroid 5880, 5880LZ ve 6010 malzemelerinin farklı kalınlıkları kullanılarak SYMŞA’ler tasarlanmıştır. Tasarımlar 5800 MHz frekansında gerçekleştirilmiş olup toprak düzlemi ve taban şekli olarak da SY tercih edilmiştir. Besleme tipi olarak koaksiyel besleme kullanılmıştır. Besleme noktası ve toprak düzlemi boyutları HFSS *Parametrics* özelliği kullanılarak belirlenmiştir. Tasarımlarda her bir malzeme için 1.58, 2.54 ve 3.175 mm olmak üzere üç farklı taban kalınlığı kullanılmıştır. Antenlerin tasarım parametreleri Çizelge 3.8’de verilmiştir. SY tabanlı SYMŞA tasarımı Şekil 3.9’dan görülebilir.



Şekil 3.9: SY tabanlı SYMŞA Tasarımı

Çizelge 3.8: Farklı malzeme ve kalınlıklarda tasarlanan SYMŞA parametreleri

Malzeme	ϵ_r	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)	r_{SY} (mm)
Duroid 5880	2.20	1.580	2.540	3.175	10.22
Duroid 5880LZ	1.96	1.580	2.540	3.175	10.83
Duroid 6010	10.20	1.580	2.540	3.175	4.75

Taban ve toprak düzlemi şekli olarak da SY tercih edilmiş ve boyutları öncelikle yama ile aynı seçilerek simülasyonlara başlanmıştır. Bu durumda x_f besleme noktası konumu yama merkezi olarak seçilmiştir. Toprak düzlemi boyutları yama boyutunun üç katına kadar 1 mm'lik adımlarla değiştirilerek incelenmiştir. Bir sonraki adımda besleme noktası yamanın köşe noktası seçilerek toprak düzlemi boyutlarının parametrik analizi tekrarlanmıştır. Son olarak x_f yamanın merkezi ile köşe noktasının tam ortasında alınarak işlem yinelenmiş ve her üç durumda da yama empedansındaki değişim incelenerek besleme noktasının hangi aralıkta seçilmesi gerektiği, toprak düzlemi boyutları da dikkate alınarak kararlaştırılmıştır. Bundan sonra besleme noktası için belirlenen aralıklarda bir parametrik analiz daha yapılmıştır. Böylelikle simülasyon ortamında yama için en uygun değerler belirlenmiştir. Bu işlem adımlarının hepsi her bir malzemenin üç farklı kalınlığı için de tamamlanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.9'da verildiği gibidir. Çizelge 3.9'dan da görülebileceği gibi, en büyük band genişlikleri 6010 ile elde edilirken yine koaksiyel besleme hattının empedansına en yakın anten giriş empedansı değerleri bu malzeme ile yapılan simülasyonlarda elde edilmiştir. Rezonans frekansı değerleri de birden fazla tasarımda yakalanmış olup, uygulamanın band genişliği gereksinimine göre uygun olan malzeme, malzeme kalınlığı ve yama boyutuna sahip anten bu sonuçlar değerlendirilerek seçilebilir.

Çizelge 3.9: Farklı taban kalınlıkları için SYMŞA tasarım parametreleri ve simülasyon sonuçları

ϵ_r	h (mm)	r_{SY} (mm)	L_{gnd} (mm)	x_f (mm)	f_{rSim} (MHz)	BG_{Sim} (%)	Z_{Sim} (Ω)
2.20	1.580	10.22	17.46	5.11	5920	-	185.166
2.20	2.540	10.22	42.46	10.22	5860	4.266	88.452
2.20	3.175	10.22	28.46	10.22	5800	4.138	91.290
1.96	1.580	10.83	38.33	10.83	5850	3.420	191.915
1.96	2.540	10.83	30.33	10.83	5660	4.064	89.378
1.96	3.175	10.83	29.33	10.83	5520	3.442	92.459
10.20	1.580	3.00	9.00	0.00	5850	49.060	45.575
10.20	2.540	2.00	12.37	4.75	5790	49.050	48.500
10.20	3.175	4.75	29.33	4.75	5590	47.406	46.689

3.3. Toprak Düzlemi Boyutlarının Anten Band Genişliğine Etkilerinin Araştırılması

3.3.1. DMŞA için toprak düzlemi boyutlarının anten band genişliğine etkisinin araştırılması

Tezin bu aşamasında, toprak düzlemi boyutlarının anten performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla tek tip malzeme üzerine toplamda yedi farklı frekansta

çalışan DMŞA'ler geleneksel tasarım formüllerinden faydalanılarak tasarlanmıştır (Balanis 1982, Bahl ve ark 2001). Literatürde yaygın olarak Denklem (2.3)'te verilen ifadeler toprak düzlemi boyutlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yaygın boyutlardan farklı olarak (Huang 1983), (Milligan 2005), bu çalışmada öncelikle yama boyutuyla aynı toprak düzlemi ile simülasyona başlanmış, sonrasında her bir adım için toprak düzlemi boyutları uzunluk ve genişlik değerleri 2 mm arttırılarak simülasyonlar tekrarlanmıştır. Simülasyonlar 10 adım sonunda sonlandırılmıştır. Simülasyonda kullanılan tasarım parametreleri Çizelge 3.10'da görüldüğü gibidir. Antenlerin toprak düzlemi boyutlarına göre rezonans frekansı ve band genişliği değerlerindeki değişimler Şekil 3.10 ve 3.11'de sunulmuştur. Şekil 3.10'da eksik olan verilere karşılık gelen tasarım parametreleriyle dönüş kaybı değerleri -10 dB'in altına inmediğinden ötürü BG hesaplanamamıştır.

Çizelge 3.10: DMŞA Tasarım Parametreleri ve En iyi frekansla band genişliğini veren toprak düzlemi boyutları

L (mm)	W (mm)	x_f (mm)	h (mm)	ϵ_r	L_{gnd} (mm)	W_{gnd} (mm)	f_{rTeo} (MHz)	f_{rSim} (MHz)	BG _{Sim} (%)
113.217	131.762	3.614	1.575	2.2	123.00	141.00	900	863	2.10
56.979	65.881	2.581	1.575	2.2	75.00	84.00	1800	1707	2.46
54.016	62.413	2.514	1.575	2.2	70.00	78.00	1900	1799	2.39
42.200	49.410	2.240	1.575	2.2	53.20	60.41	2400	2329	1.03
32.510	79.060	1.950	1.575	2.2	48.51	95.06	3000	2962	3.65
19.000	47.440	1.500	1.575	2.2	29.00	57.44	5000	4930	7.03
10.625	11.859	1.154	1.575	2.2	21.00	23.00	10000	8793	3.74

Burada;

L : Dikdörtgen yama uzunluğu,

W : Dikdörtgen yama genişliği,

L_{gnd} : Toprak düzlemi uzunluğu,

W_{gnd} : Toprak düzlemi genişliği,

x_f : Besleme konumu,

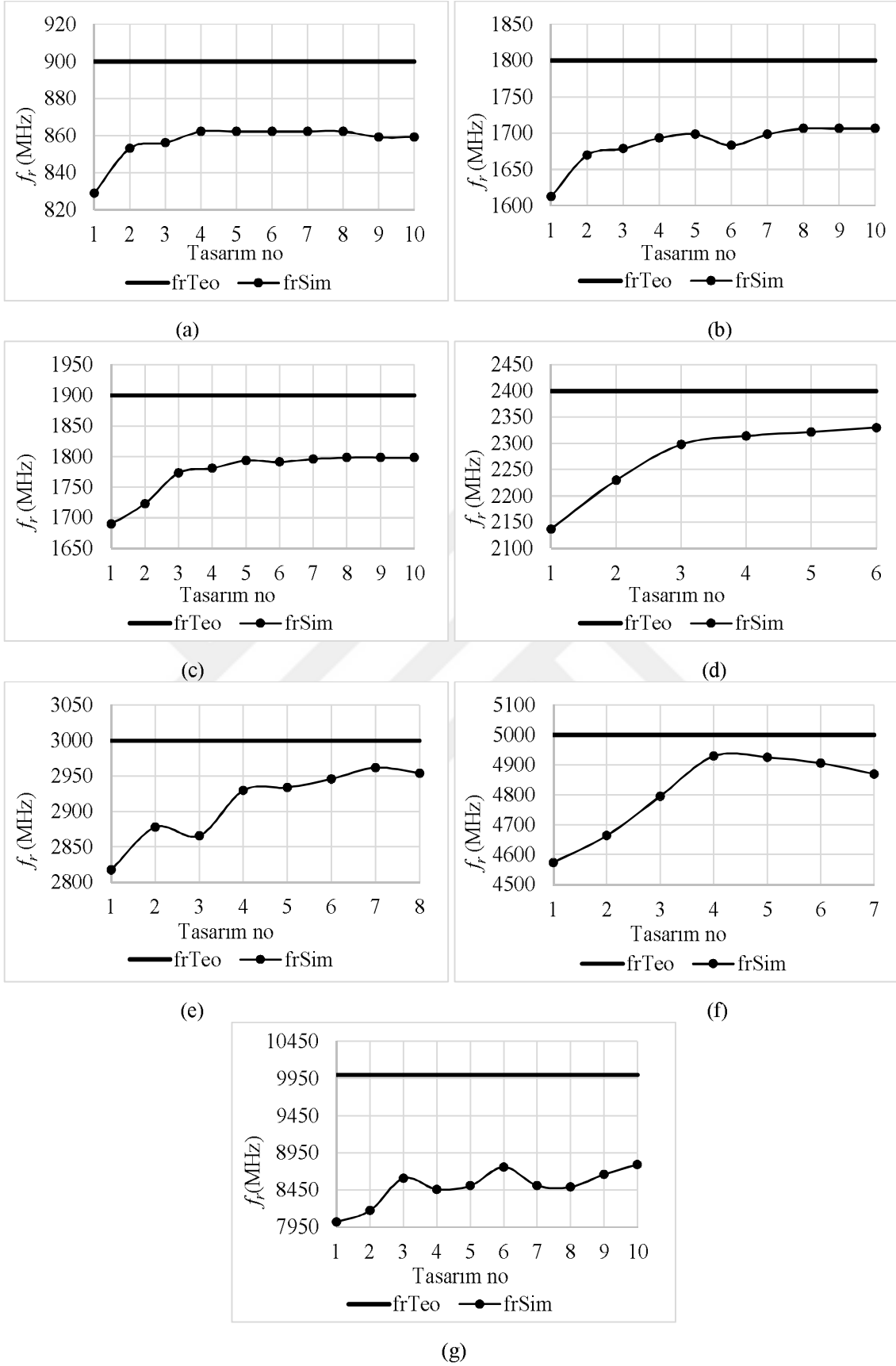
h : Dielektrik taban kalınlığı,

ϵ_r : Dielektrik sabiti,

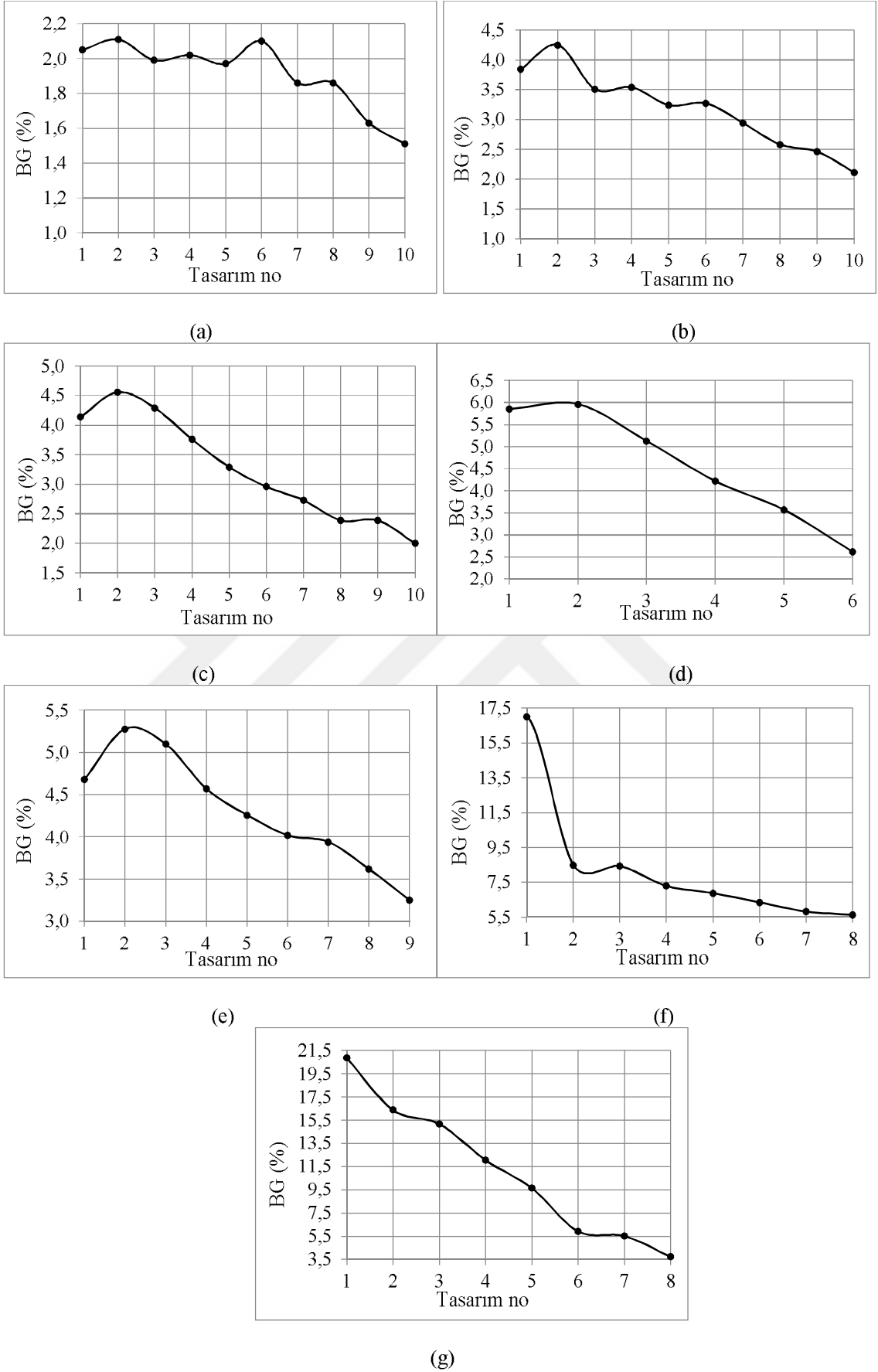
f_{rTeo} : Antenin tasarlandığı frekans,

f_{rSim} : Simülasyon sonucu bulunan istenen değere en yakın frekans,

BG_{Sim}: Simülasyon sonucu bulunan band genişliğidir.



Şekil 3.10: Mikroşerit Antenlerin Toprak düzlemi boyutlarına göre rezonans frekansı değişim grafikleri (a) 900 MHz, (b)1800 MHz, (c) 1900 MHz, (d) 2400 MHz, (e) 3000MHz, (f)5000 MHz, (g)10000MHz



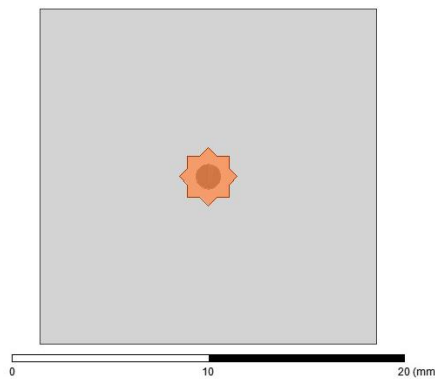
Şekil 3.11: BG- L_{gnd} değişimi eğrisi (a) 900 MHz, (b)1800 MHz, (c) 1900 MHz, (d) 2400 MHz, (e) 3000MHz, (f)5000 MHz, (g)10000MHz

Çalışmada, simülasyondan elde edilen sonuçlardan görülmüştür ki, DMŞA'nın toprak düzlemi boyutları yama boyutlarından uzaklaştıkça antenin tasarlandığı rezonans frekansı değerlerine bir yaklaşım olmaktadır. Ayrıca antenin kazancı da düşük frekanslı tasarımlarda artarken, yüksek frekanslı tasarımlarda belli bir toprak düzlemi değerinden sonra azalmaya başlamaktadır. Band genişlikleri bakımından kazançla ters orantılı olarak, toprak boyutları arttıkça azalmaktadır ve azalma yüksek frekanslarda daha büyük bir eğimle olmaktadır.

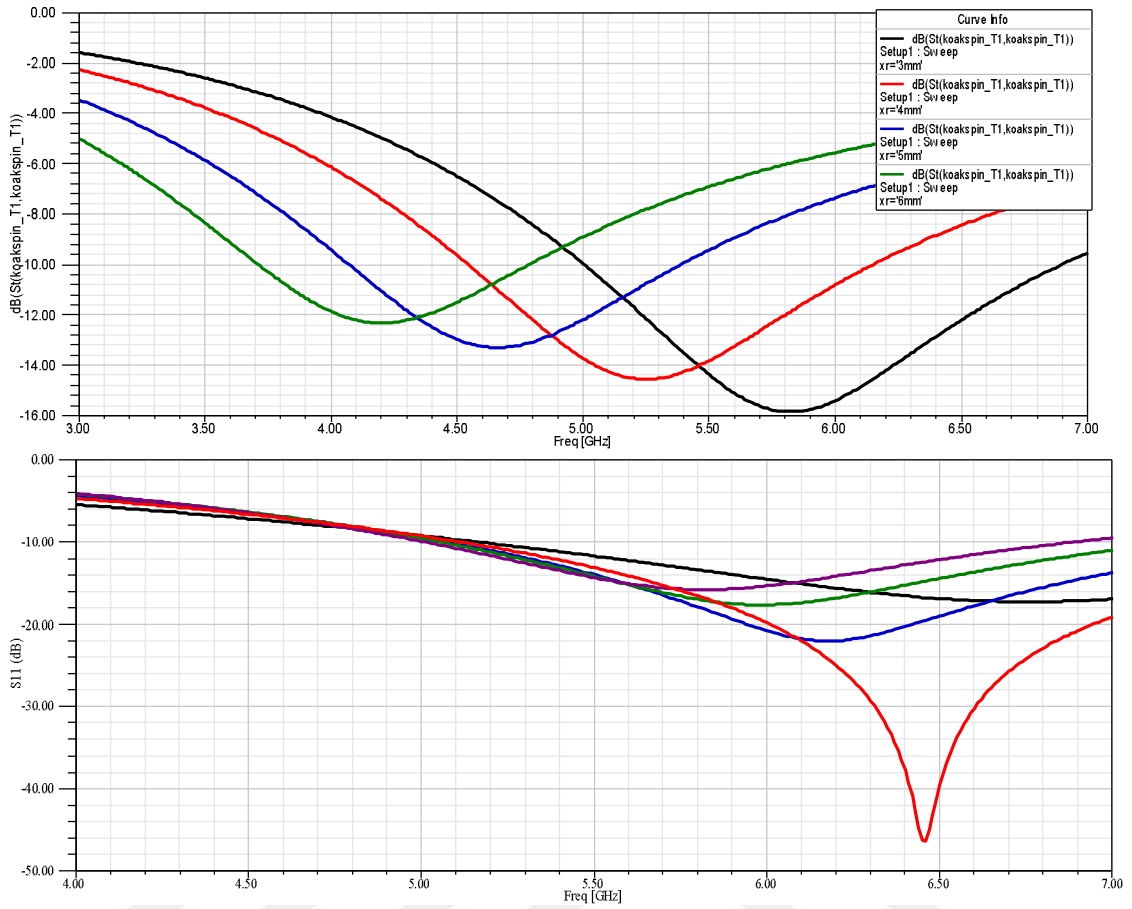
3.3.2. SYMŞA için toprak düzlemi boyutlarının anten band genişliğine etkisinin araştırılması

Bu çalışmada ise 5880LZ malzemesi üzerine tasarlanan kare tabanlı SYMŞA için farklı toprak düzlemi boyutlarının etkileri araştırılmıştır. Toprak düzlemi boyutu belirlenirken başlangıçta Denklem (2.3)'ten faydalanılmıştır. Sonrasında bu denklemdeki h taban kalınlığının katsayısı " K " olarak isimlendirilerek 2 ile 6 arasında değiştirilmiştir. Herbir K değeri için simülasyonlar tekrarlanmıştır. Şekil 3.12'de tasarlanan SYMŞA görülmektedir.

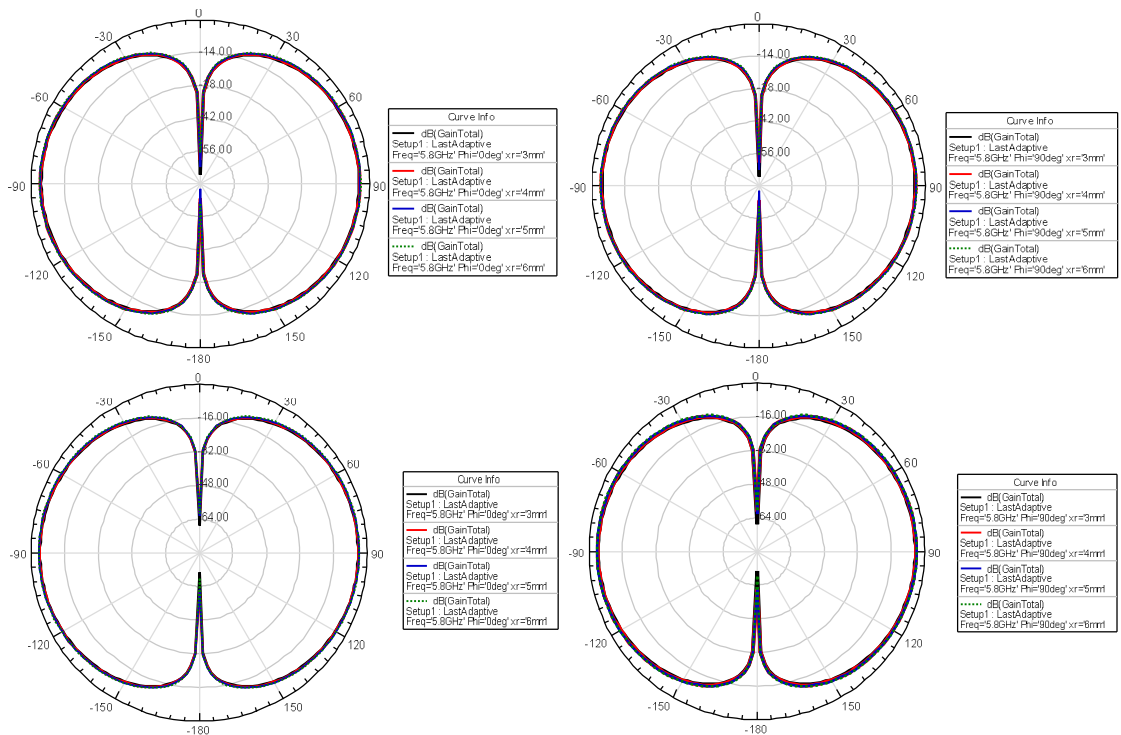
Sonrasında r_{SY} değeri 3 ile 12 mm arasında değiştirilerek simülasyonlar tekrarlanmıştır. En iyi sonucu veren diğer üç yama boyutu 4, 5 ve 6 mm olarak bulunmuş olup yama yarıçapına göre dönüş kaybı grafiğindeki değişimler Şekil 3.13'te görülmektedir. Bir sonraki adımda ise bu dört en iyi değer için toprak düzlemi değerleri değiştirilmiş ve K katsayısı 2 ile 6 arasında değiştirilerek simülasyonlara devam edilmiştir. Simülasyonlardan elde edilen rezonans frekansı, band genişliği, anten giriş empedansı değerleri ve 2 boyutlu ışınma desenleri Çizelge 3.11 ile Şekil 3.13 ve 3.14'ten görülebilir.

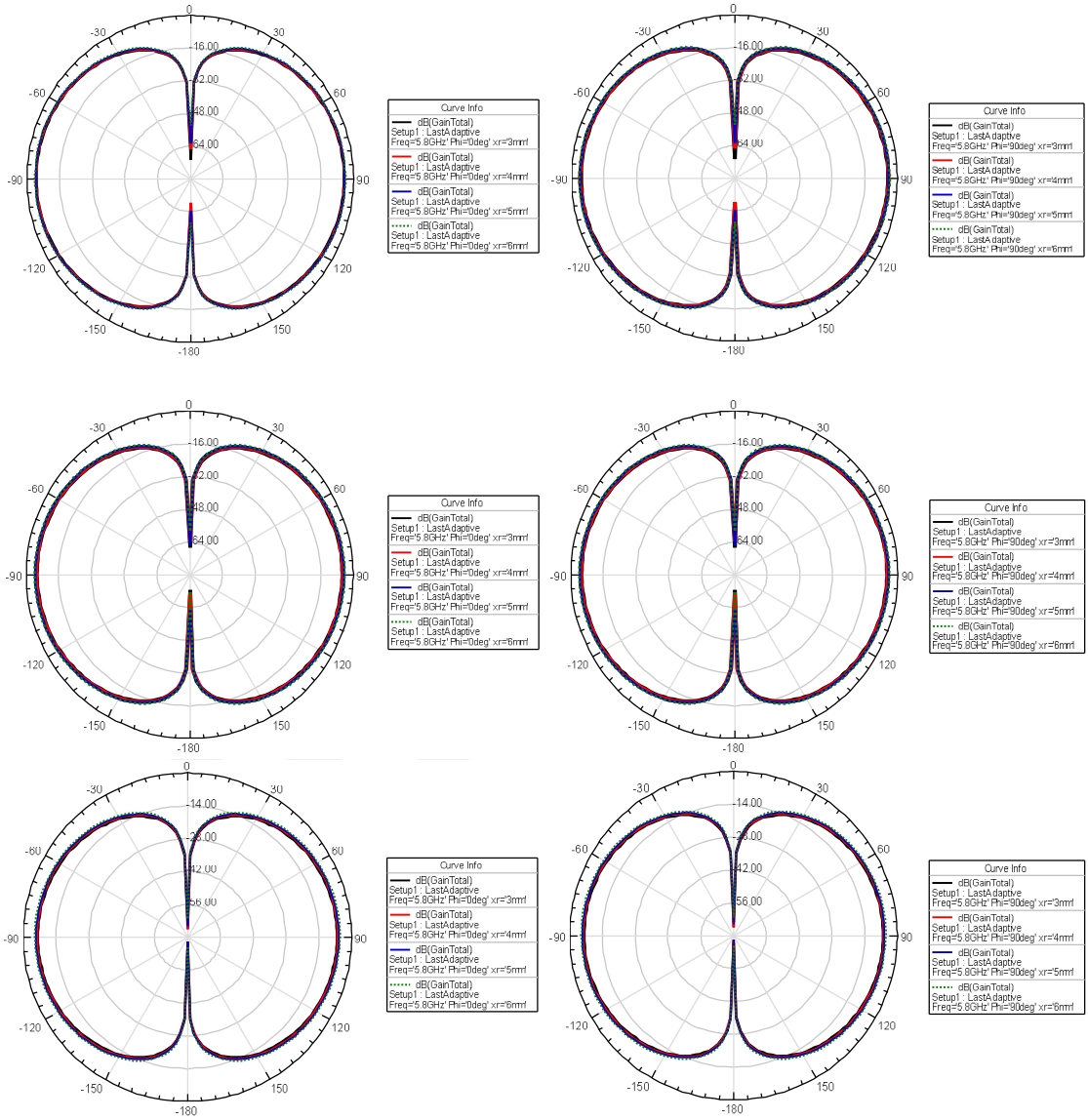


Şekil 3.12: 5880LZ üzerine tasarlanan SYMŞA

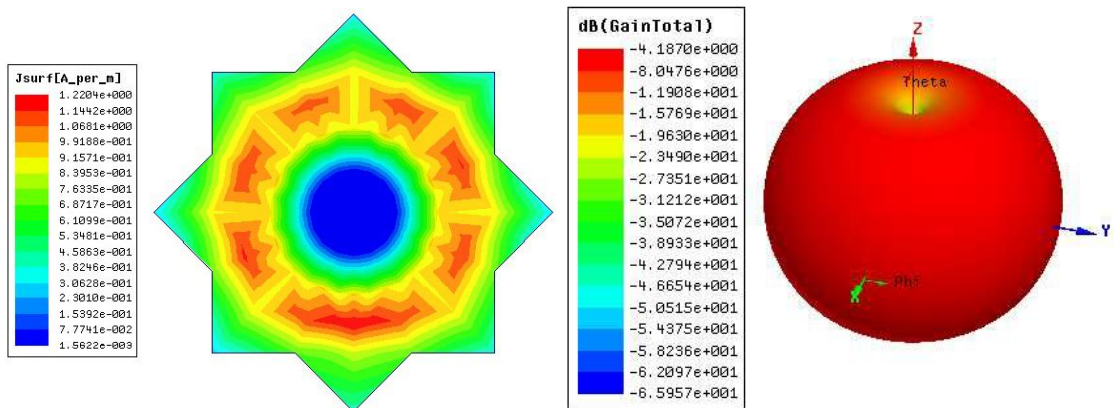


Şekil 3. 13: Farklı r_{SY} ve K değerleri için simülasyon dönüş kaybı grafikleri





Şekil 3.14: Farklı r_{SY} ve K değerleri için $\Phi=0^\circ$ ve $\Phi=90^\circ$ seçilerek çizdirilen 2 boyutlu ışınma desenleri



Şekil 3.15 : $r_{SY} = 3$ mm için yama yüzey akım dağılımı ve 3 boyutlu ışınma deseni

Çizelge 3.11: Farklı r_{SY} ve K değerleri için Simülasyon sonuçları

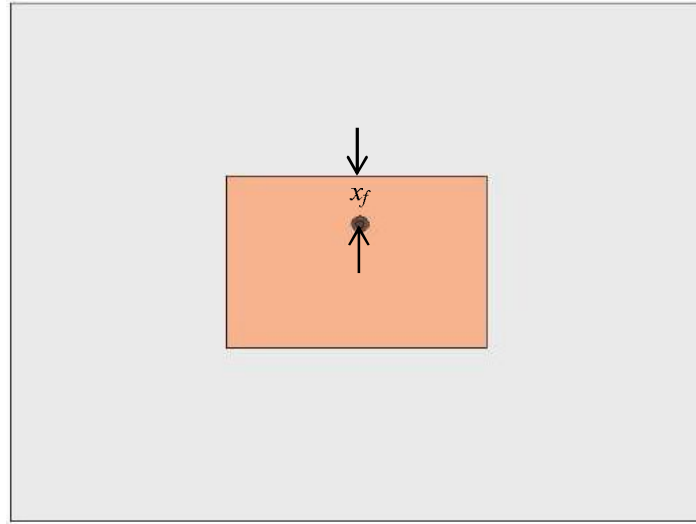
ϵ_r	h (mm)	r_{SY} (mm)	L_{gnd} (mm)	K	x_f (mm)	f_{rSim} (MHz)	BG _{Sim} (%)	Z _{Sim} (Ω)
1.96	2.54	3	17.36	6	0	5820	32.65	37.50
1.96	2.54	4	18.07	6	0	5250	30.67	35.62
1.96	2.54	5	18.78	6	0	4660	28.11	33.50
1.96	2.54	6	19.48	6	0	4350	19.77	33.91
1.96	2.54	3	14.82	5	0	5980	36.29	37.38
1.96	2.54	4	16.94	5	0	5410	34.94	37.74
1.96	2.54	5	16.94	5	0	4790	33.61	35.75
1.96	2.54	6	16.94	5	0	4250	32.24	33.93
1.96	2.54	3	12.28	4	0	6180	41.59	43.25
1.96	2.54	4	14.40	4	0	5550	40.72	41.42
1.96	2.54	5	14.40	4	0	4880	40.57	39.48
1.96	2.54	6	14.40	4	0	4330	40.18	37.60
1.96	2.54	3	9.74	3	0	6450	48.99	50.40
1.96	2.54	4	11.86	3	0	5710	48.69	48.28
1.96	2.54	5	11.86	3	0	5060	48.62	46.05
1.96	2.54	6	11.86	3	0	4420	49.32	43.68
1.96	2.54	3	7.20	2	0	6750	55.56	64.66
1.96	2.54	4	9.32	2	0	5910	56.35	61.35
1.96	2.54	5	9.32	2	0	5120	58.01	58.07
1.96	2.54	6	9.32	2	0	4560	59.21	54.59

Tüm bu sonuçlardan yama ve toprak düzlemi boyutlarının bu kadar küçük boyutlara sahip bir antenin 2 boyutlu ışınma desenleri üzerinde belirgin bir etki yaratmadığı görülmüştür. Aynı zamanda, en küçük yama-en büyük toprak düzlemi boyutuyla teorik rezonans frekansının yakalandığı; fakat en büyük band genişliği değerinin en büyük yama-en küçük toprak düzlemi boyutlarıyla elde edildiği söylenebilir. Bu durumda elde edilen rezonans frekansı ise teorik frekanstan oldukça farklı olup, frekansın istenilen değere çekilmesi için farklı yöntemler uygulanması gerekmektedir.

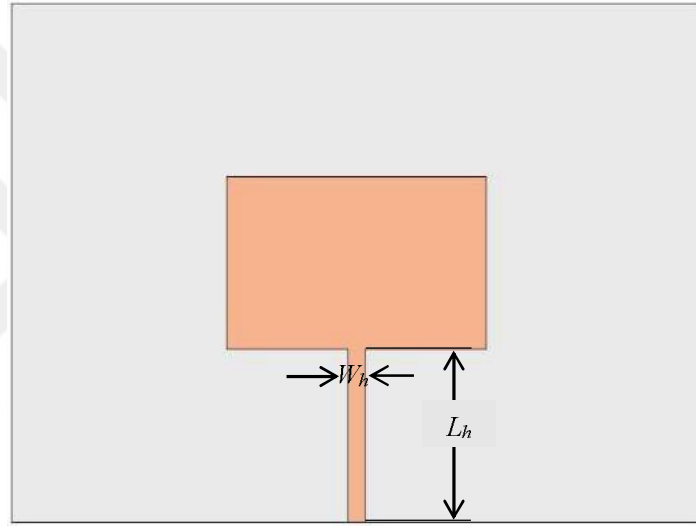
3.4. Farklı Besleme Hattı Çeşitlerinin Anten Band Genişliğine Etkilerinin Araştırılması

3.4.1. Foam ve Duroid 5880 üzerine tasarlanan DMŞA' ler için farklı besleme tiplerinin etkilerinin araştırılması

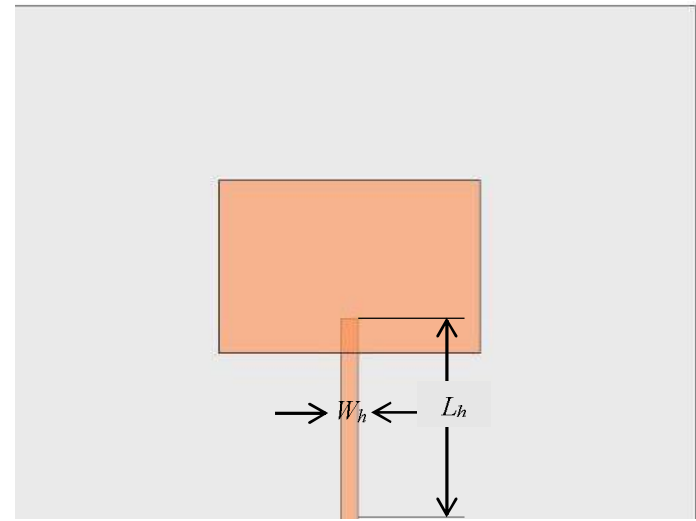
Bu kısımda yapılan çalışma, farklı dielektrik malzemeler üzerine tasarlanan DMŞA'lerin farklı besleme tipleriyle beslemesi üzerinedir. Antenler 2400 MHz frekansında ve Bluetooth uygulamalarının gerektirdiği %3.333'lük band genişliğini karşılayabilecek biçimde, farklı kalınlıklardaki Foam ve Duroid 5880 malzemeleri üzerine tasarlanmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.16: DMŞA tasarımları a) Koaksiyel hat beslemeli b) Mikroşerit hat beslemeli c) Mesafe kuplajlı beslemeli

Çizelge 3.12: Farklı Besleme Şekillerinin Karşılaştırılması

Malzeme	Besleme Tipi	ϵ_r	h (mm)	W (mm)	L (mm)	W_h (mm)	L_h (mm)	x_f (mm)	f_{rSim} (MHz)	BG _{Sim} (%)
Foam	MKB	1.05	10.000	54.44	61.73	8	51.00	-	2250	0.25
Foam	HB	1.05	5.000	48.26	61.73	2	41.67	-	2310	4.55
Foam	HB	1.05	10.000	54.44	61.73	10	41.67	-	2420	10.00
Foam	KB	1.05	10.000	48.26	61.73	-	-	-22	2190	8.87
Duroid5870	KB	2.20	3.175	40.32	49.41	-	-	-10	2300	3.17
Duroid5870	KB	2.20	0.787	41.79	49.41	-	-	-10	2210	0.86

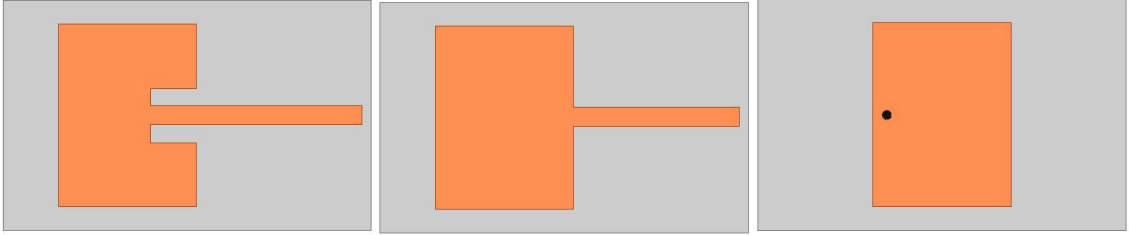
Literatürdeki formüller kullanılarak yapılan tasarımlar Şekil 3.16’da görüldüğü gibidir (Balanis 1982, Bahl ve ark 2001). Bulunan parametreler ise Çizelge 3.12’den görülmektedir. Çizelgede h dielektrik taban kalınlığını, ϵ_r tabanın dielektrik sabitini, L yama uzunluğunu, W yama genişliğini, L_h besleme hattının uzunluğunu, W_h besleme hattının genişliğini, x_f koaksiyel besleme hattının yama kenarına olan uzaklığını, f_{rSim} simülasyonlardan elde edilen rezonans frekansını ve BG_{Sim} simülasyon sonuçlarından hesaplanan band genişliğini temsil etmektedir.

Tasarlanan dikdörtgen yamaların farklı besleme teknikleri kullanılarak band genişliği bakımından performansları incelenmiştir. Bu besleme tekniklerinden koaksiyel hat besleme, mikroşerit hat besleme ve mesafe kuplajlı besleme ile denemeler yapılmış, simülasyonlar sonucunda alınan en iyi sonuçlar yine Çizelge 3.12’de karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada gerek koaksiyel hatla gerek mikroşerit hat ve mesafe kuplajlı beslemede besleme konumu ve hattın boyutları deneme yanılma yoluyla bulunmuştur. Mesafe kuplajlı hat çalışmasında iyi sonuçlar elde edilememiştir. -10 dB seviyesini geçen tek sonuç Çizelge 3.12’ye eklenmiştir. Çizelgede, Mesafe kuplajlı besleme hattı kullanılan tasarımda hattın üzerini örten dielektrik tabaka da tabanla aynı boyut ve özelliklere sahiptir. Çalışma sonucunda en yüksek band genişliği değeri ile en yakın rezonans frekansı 10 mm kalınlığındaki Foam üzerine tasarlanan mikroşerit hat beslemeli anten ile elde edilmiştir.

3.4.2. Duroid 5880LZ üzerine tasarlanan DMŞA’ ler için farklı besleme tiplerinin etkilerinin araştırılması

Çalışmada, koaksiyel, mikroşerit hat ve gömme besleme tiplerinde beslenen DMŞA tasarımları gerçekleştirilmiştir. Antenler 3.175 mm kalınlığa sahip Duroid 5880LZ üzerine 2400 MHz’te çalışacak biçimde tasarlanmıştır. Tasarım Ansoft *Antenna Design Kit* (ADK) kullanılarak yapılmıştır.

İlk olarak GMŞH besleme tipine sahip anten için yama ve besleme hattı boyutları ADK ile belirlenerek tasarım dosyaları HFSS'e aktarılmıştır. Hiçbir farklı ayarlama yapılmadan tasarımlar simülasyonlar HFSS ortamında tamamlanmıştır. Sonraki adımlarda gömme beslemenin yerine MŞH ve KH besleme tipleri de denenerek anten performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Tasarlanan antenler Şekil 3.17'de görülmektedir.



Şekil 3.17: Farklı besleme hattı tiplerine sahip 5880LZ üzerine tasarlanan DMŞA' lar

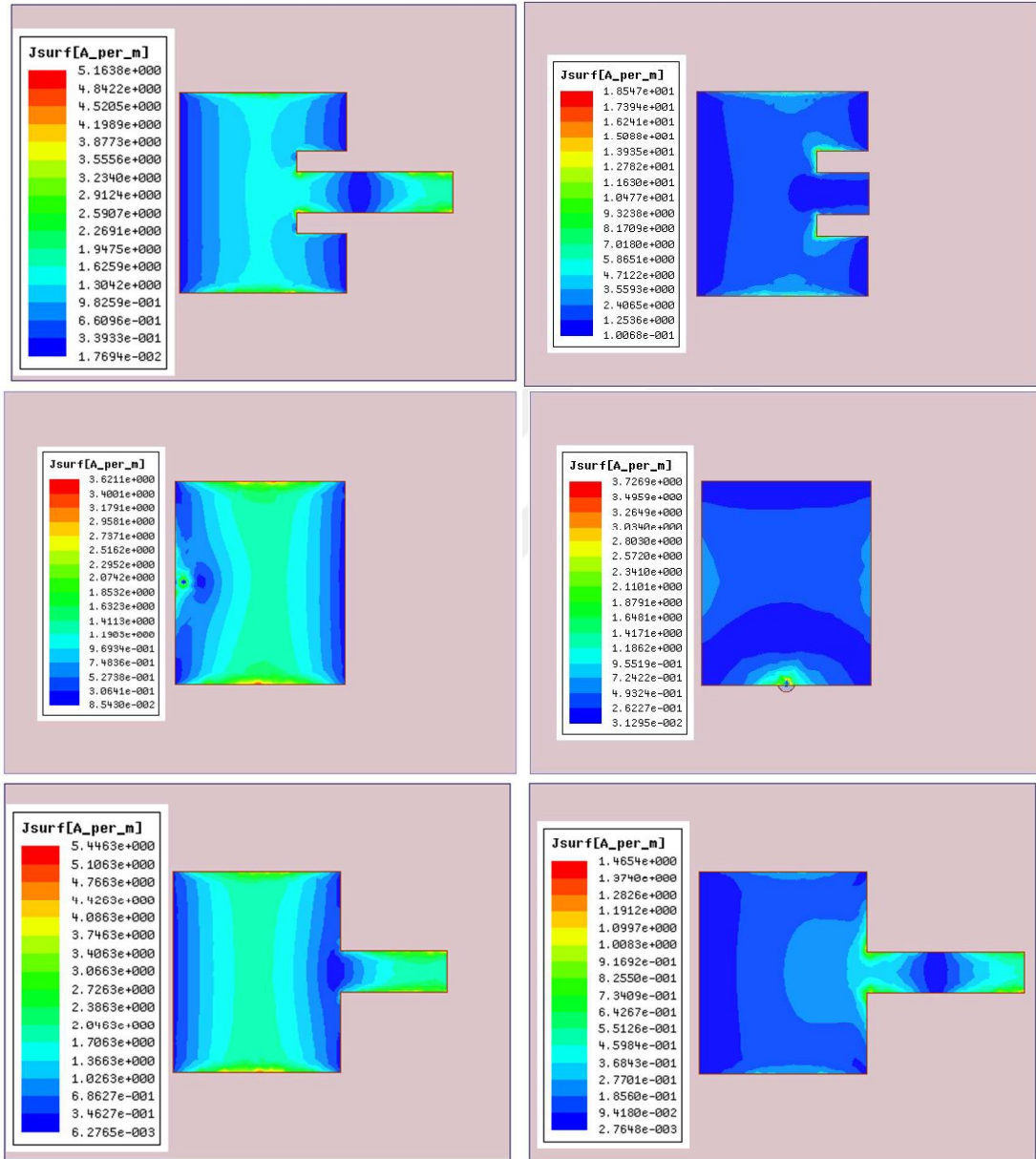
Tasarlanan farklı besleme tipine sahip antenler üzerinde HFSS Parametrics ile gömme besleme için x_0 uzunluğu, mikroşerit hat için L_h uzunluğu ve köksiyel hat için x_f konumu belirlenmiştir. En iyi sonuçları veren tasarım parametreleri Çizelge 3.13'te verilmiştir. Yine en iyi tasarımlar için yüzey akım dağılımları Şekil 3.18'de ve ışınma desenleri ise Şekil 3.19'dan görüldüğü gibi elde edilmiştir.

Çizelge 3.13: En iyi DMŞA tasarım parametreleri ve simülasyon sonuçları

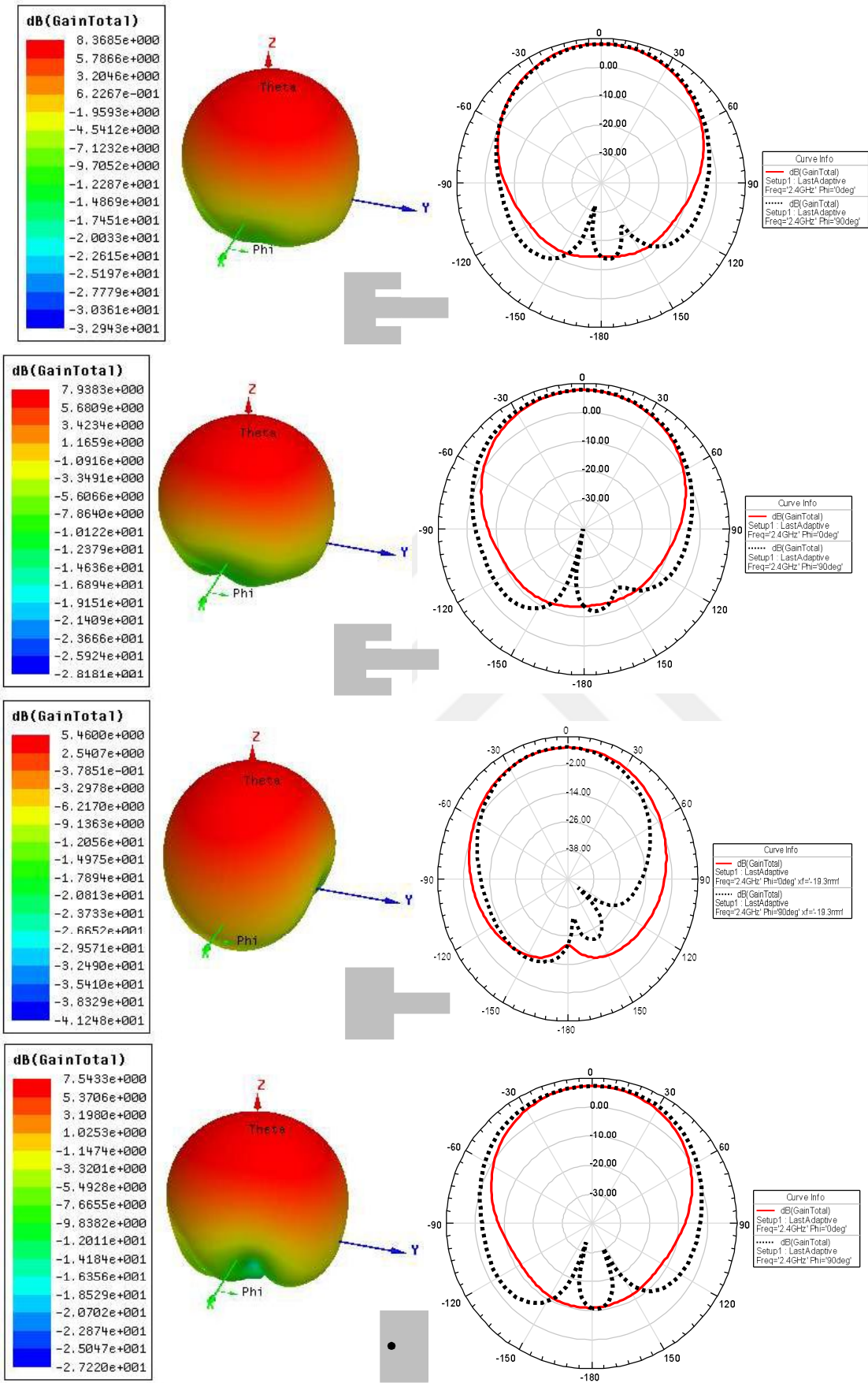
$\epsilon_r=1.96, h=3.175 \text{ mm}, L=51.37 \text{ mm}, W=42.6 \text{ mm}, L_{gnd}=96.1 \text{ mm}, W_{gnd}=128.5 \text{ mm}, f_{rTeo}=2400 \text{ MHz}$							
Besleme tipi	L_h (mm)	W_h (mm)	x_0 (mm)	x_b (mm)	f_{rSim} (MHZ)	BG $_{Sim}$ (%)	Z $_{Sim}$ (Ω)
GMŞH	39.908	10.518	5.295	-	2418	1.696	36.01
GMŞH	39.908	10.518	13.000	-	2418	2.480	55.91
MŞH	39.908	10.518	-	-	2406	-	40.42
MŞH	27.084	10.518	-	-	2394	-	47.59
KH	-	-	-	-19.300	2394	4.511	64.16
KH	-	-	-	25.315	2008	5.976	43.85

Çalışmada, sadece besleme hattının etkisi araştırıldığından dolayı, yama boyutları ya da toprak düzlemi boyutları üzerinde hiçbir değişikliğe gidilmemiştir. Karşılaştırılan üç farklı besleme hattı tipinde, en iyi sonuçlara köksiyel besleme hattı ile 2394 MHz ve % 4.511 olarak ulaşılmıştır. MŞH besleme içinse hiçbir denemede -10dB'in altında bir dönüş kaybı değeri yakalanamamıştır. Çizelgede sadece en yakın rezonans frekanslarının elde edildiği tasarımlar verilmiştir. GMŞH besleme tipi için sadece gömme miktarı değiştirilerek aynı frekans değeri korunarak band genişliğinde 1.5 kat artış elde

edilebilmiştir. KH beslemeli başka bir tasarım için % 5.976'lık band genişliği elde edilse de bu durumdaki rezonans frekansı 2008 MHz'te kaldığı için bu tasarım en iyi tasarım olarak kabul edilememiştir. Anten performansı değerlendirilirken band genişliğinin yanında rezonans frekansı da dikkate alınmaktadır. Farklı BAY'nin tasarımlar üzerine uygulanmasıyla ya da aynı anda birden fazla anten parametresinin iyileştirilmesiyle daha büyük band genişliği değerleri yakalanabilir.



Şekil 3.18: En iyi tasarımlar için yüzey akım dağılımları

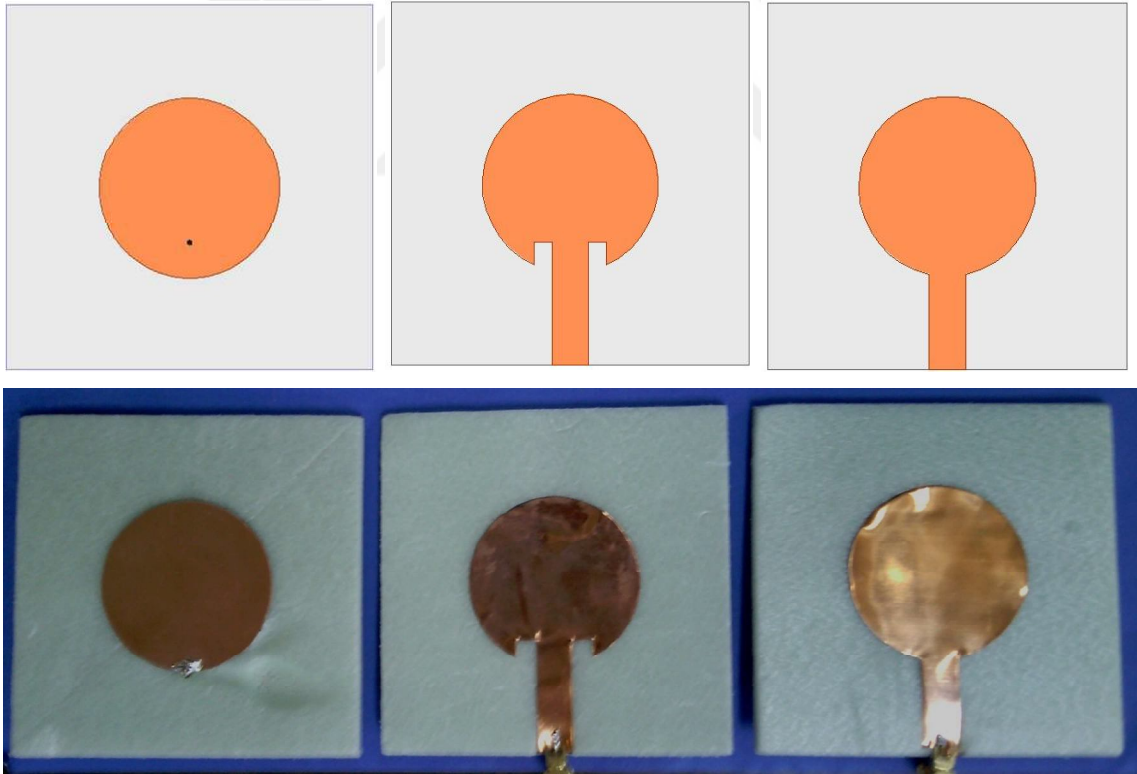


Şekil 3. 19: En iyi tasarımlar için 2 ve 3 boyutlu ışınma desenleri

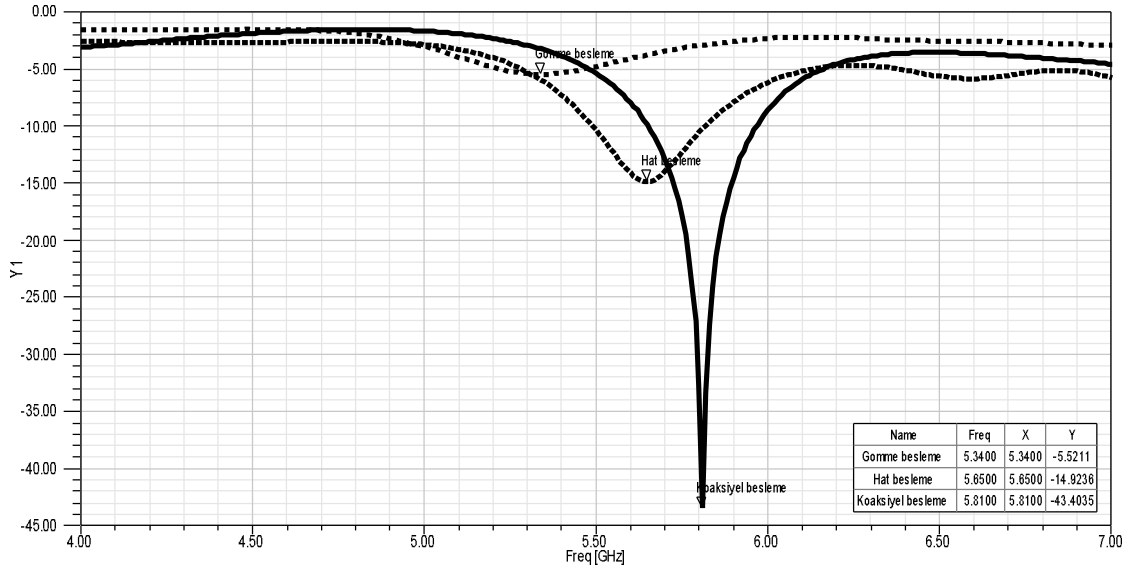
3.4.3 Üç farklı besleme tipine sahip DAMŞA'lerin performanslarının araştırılması

Tezin bu kısmında, Foam üzerine 2400 MHz'te çalışacak şekilde tasarlanan DAMŞA'ler için farklı besleme tiplerinin etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, GMŞH, MŞH ve KH tipi besleme hatları kullanılmış olup, her bir besleme tipinin en iyi sonuçları veren hat parametreleri HFSS *Parametrics* ile elde edilmiştir. Şekil 3.20'de tasarlanan antenler görülmektedir. Şekil 3.21'de ise simülasyonu ve ölçümü yapılan antenlerin dönüş kaybı grafikleri verilmiştir. Şekil 3.22'de yamaların yüzey akım dağılımları, 3.23'te ise 2 ve 3 boyutlu ışınma desenleri gösterilmiştir.

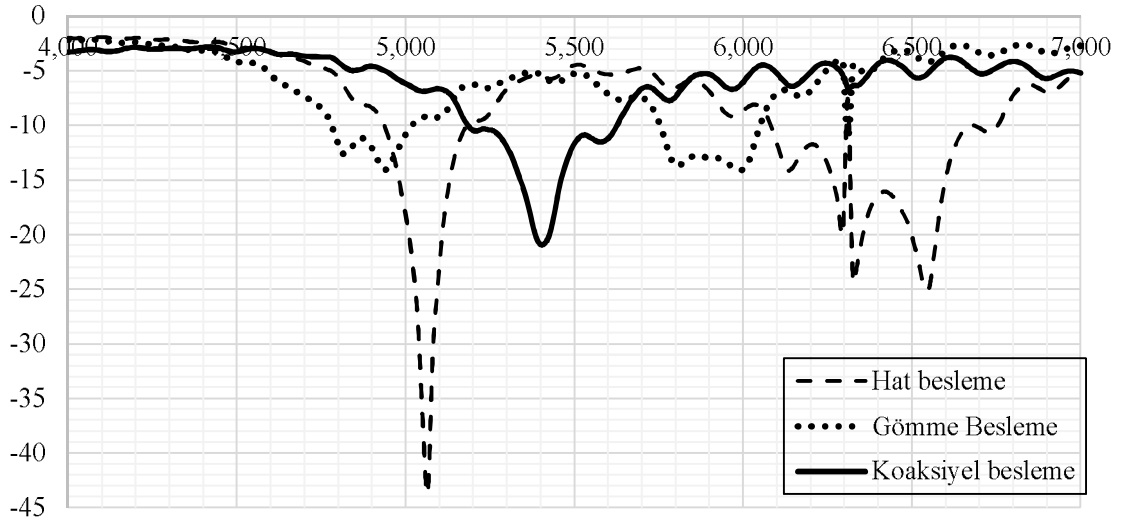
Şekillerden de görüldüğü üzere, en büyük band genişliği ve en yakın rezonans frekansı değeri koaksiyel beslemeli tasarımdan elde edilmiştir. Performans olarak MŞH tasarımı ikinci sırayı almaktadır. GMŞH tasarımında ise farklı hat parametreleri denenmesine rağmen dönüş kaybı grafiğinde -10 dB'in altına inilememiştir. Sonuçları farklı taban malzemesi ve yama tipleri için değişebileceği öngörülmektedir.



Şekil 3.20: Farklı besleme tiplerine sahip DAMŞA tasarımları ve uygulamaları

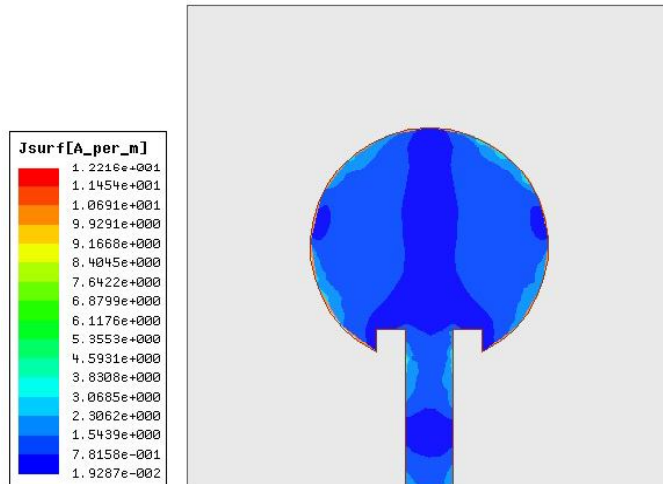


(a)

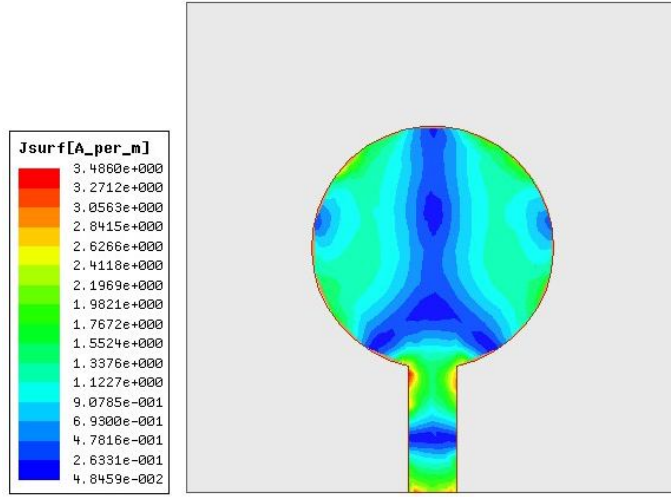


(b)

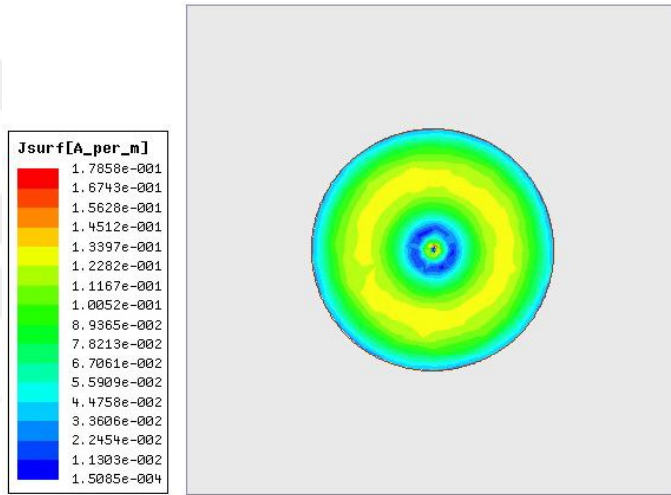
Şekil 3.21: Farklı besleme tiplerine sahip DAMŞA'lerin dönüş kaybı grafiklerinin karşılaştırılması a) Simülasyon sonuçları b) Ölçüm sonuçları



(a)

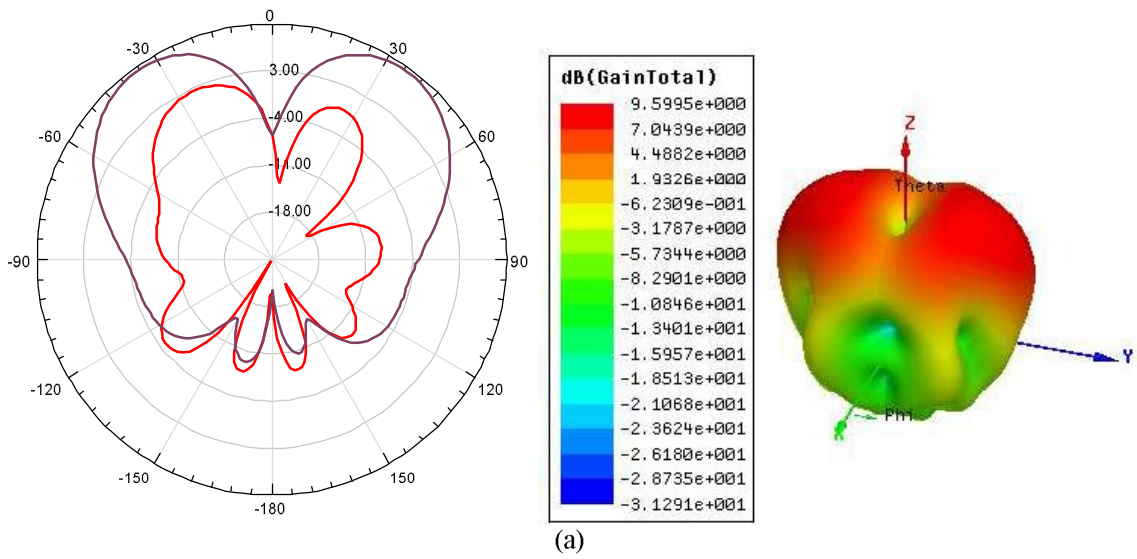


(b)

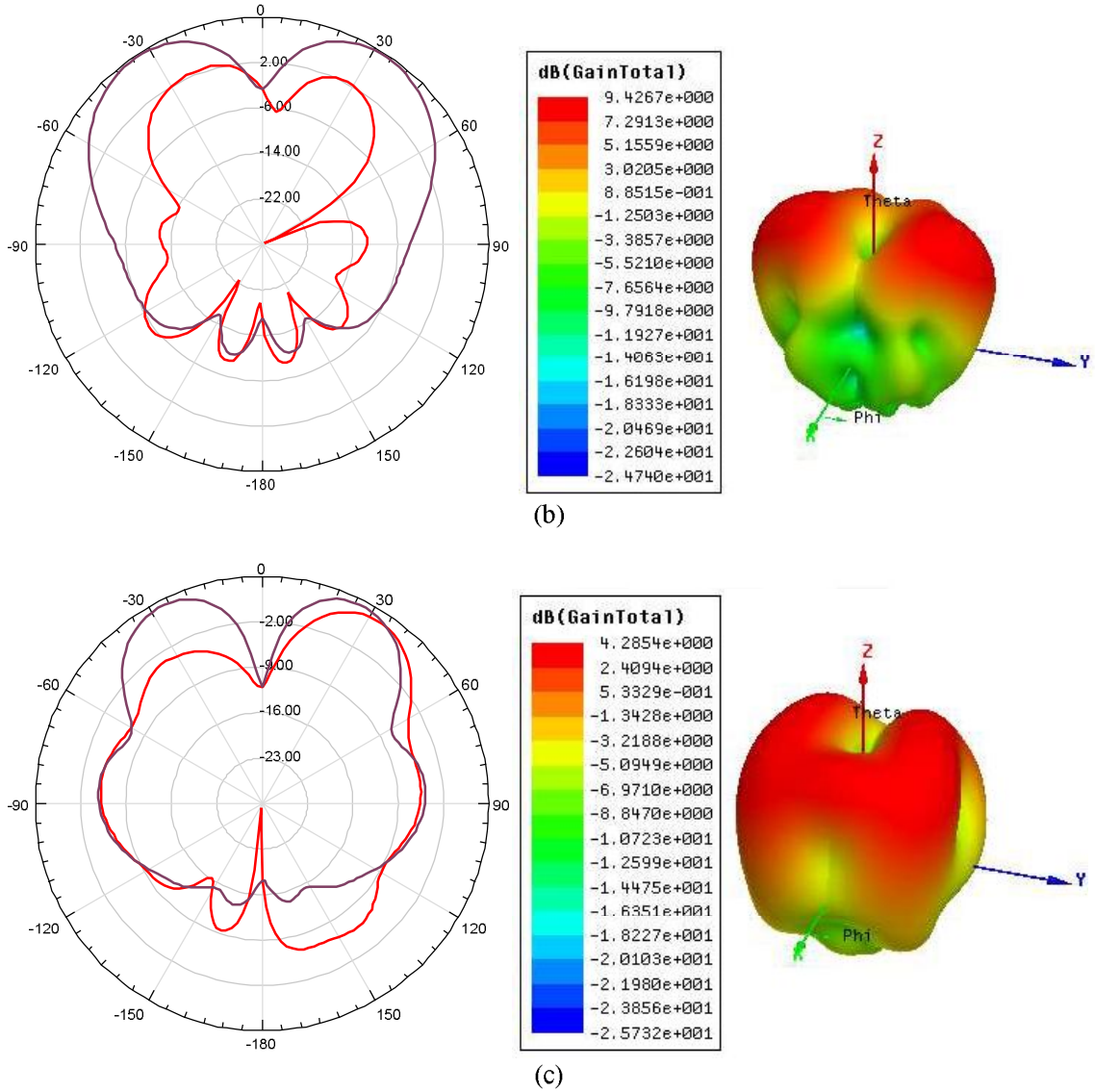


(c)

Şekil 3.22: Tasarımlara ait yüzey akım dağılımları a) GMŞH, b)MŞH, c) KH



(a)



Şekil 3.23: Tasarımlara ait 2 ve 3 boyutlu ışınma desenleri a) GMŞH, b)MŞH, c) KH

3.5. Diğer Band Genişliğini Arttırma Yöntemlerinin Etkilerinin Araştırılması

Bu kısımda ise gelişme sürecine devam eden ve tasarımcıların sıklıkla tercih ettiği BAY'nin farklı tipteki antenlere uyarlanmasının anten band genişliğine olan etkileri araştırılmıştır. Kullanılan yöntemlerin ortak noktalarından biri de henüz yöntemlerde kullanılan parametreler için bir analiz ya da tasarım ifadesinin elde edilememiş olması ve çalışmaların genellikle deneme-yanılma yoluyla biçimlendirilmesidir. Tez çalışmasında tasarım ifadelerinin belirlenmesi amaçlanarak parametreler sistematik oranlarda değiştirilmiş ve simülasyon ortamında çok sayıda deneme yapılmıştır. En iyi sonuçları veren parametreler belirlenerek mümkün olan en fazla sayıda anten uygulaması ve bu antenlerin ölçümleri tamamlanmıştır. Aşağıda bu çalışmalar ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

3.5.1. Yarık açılmasının etkilerinin araştırılması

Tezin bu kısmında farklı yama şekillerine sahip mikroşerit antenler üzerine yine farklı şekil ve boyutlarda yarıklar açılarak yarık parametrelerinin anten frekansı ve band genişliği üzerinde ne gibi etkileri olduğu araştırılmıştır. Çalışmaların çoğunda simülasyon ve uygulamalar birlikte gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yarık şekli ve parametreleri belirlenirken öncelikle HFSS *Parametrics* özelliğinden faydalanılmıştır.

3.5.1.1. EÜMŞA üzerine çeşitli tiplerde yarık açılmasının etkilerinin araştırılması

Tezin bu kısmında 4.4'lük dielektrik sabitine sahip 1.6 mm kalınlığındaki FR-4 taban malzemesi ile tasarlanan EÜMŞA'lar üzerine çeşitli şekillerde yarıklar eklenmesinin anten band genişliği ve diğer anten parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmaya (Fang ve Wong 1999)'teki antenler ile başlanmıştır. Burada, 1800 MHz ve 2400 MHz frekansları civarında çalışan mikroşerit antenler üzerine karşılıklı dikdörtgen kollardan meydana gelen bir çift yarık ilave edilmiştir. Yarık parametreleri değiştirilerek anten performansı üzerinde etkileri incelenmiştir. Çalışmada ayrıca farklı yarık parametreleri için besleme noktasında da değişikliğe gidilmiştir.

Bu çalışmada ise, öncelikle yarık eklenmemiş yalın bir EÜMŞA tasarlanarak simülasyonu ve ölçümü gerçekleştirilmiş, böylece yarıkların etkilerinin daha net görülebilmesi sağlanmıştır. Anten tasarımında herhangi bir hesaplama yapılmamış, (Fang ve Wong 1999)'deki boyutlar kullanılmış, sadece besleme noktası için en uygun konum HFSS ile belirlenmiştir. Sonrasında anten üzerine hem (Fang ve Wong 1999)'deki hem de farklı yarık parametreleri kullanılarak karşılıklı dikdörtgen yarıklar ilave edilmiş ve bu tip yarıklar referans çalışmadan farklı olarak Paralel (P)-Yarık olarak isimlendirilmiştir. Anten üzerine uygulanan diğer yarık şekilleri ise U ve O yarıklardır. Her üç yarık şeklinde de ortak adlandırılan yarık parametreleri mevcut olup bu parametreler Şekil 3.24'te gösterildiği gibidir. Yine her bir yarık şekli için farklı yarık parametreleri ve besleme konumları denenerek en iyi frekans ve band genişliği değerleri simülasyon ortamında aranmıştır.

Simülasyonlar sonrasında belirlenen parametrelerle antenler PCB prototip üretim makinesi kullanılarak imal edilmiş ve Rohde Schwarz ZVL-13 network analizör yardımıyla antenlerin ölçümleri tamamlanmıştır. Şekil 3.25'ten kullanılan PCB makinesi

ve network analizör görülebilir. Çizelge 3.14'te anten parametreleri ile alınan simülasyon ve ölçüm sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.14: P-yarıklı Anten Parametreleri (Fang ve Wong 1999)

h (mm)	ϵ_r	L_s (mm)	W_s (mm)	L_{ss} (mm)	x_f (mm)	L (mm)	L_{gnd} (mm)	f_{r1Ref} (MHz)
1.6	4.4	17	1	22	20.4	50	75	1838
1.6	4.4	19	1	18	19.6	50	75	1863
1.6	4.4	21	1	18	18.7	50	75	1800
1.6	4.4	23	1	18	18.0	50	75	1754
1.6	4.4	23	1	16	19.0	50	75	1802
1.6	4.4	23	1	14	19.8	50	75	1844
1.6	4.4	30	1	10	21.2	50	75	1740

Burada;

L_s : Dikey yarık kolunun uzunluğu veya O-yarığın çapı,

W_s : Yarık genişliği,

L_{ss} : Yatay yarık kolunun uzunluğu veya P-yarıklar arasındaki mesafe,

x_f : Besleme noktası,

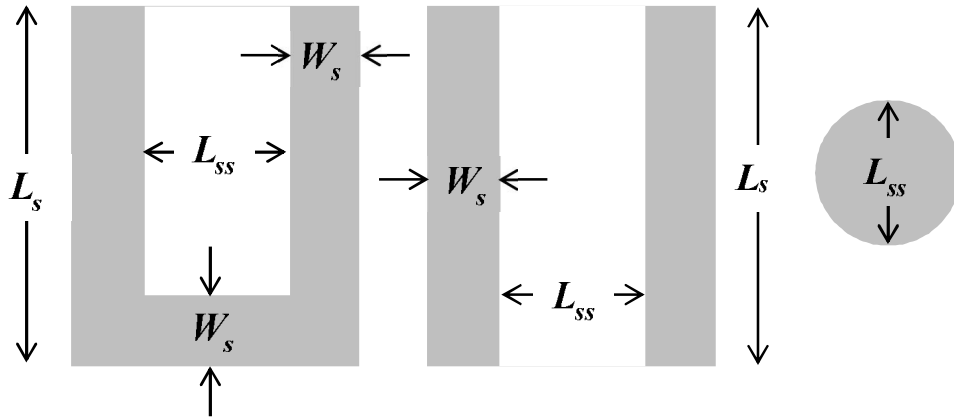
L_{gnd} : Toprak düzlemi uzunluğu,

L : Üçgen yamanın bir kenar uzunluğu,

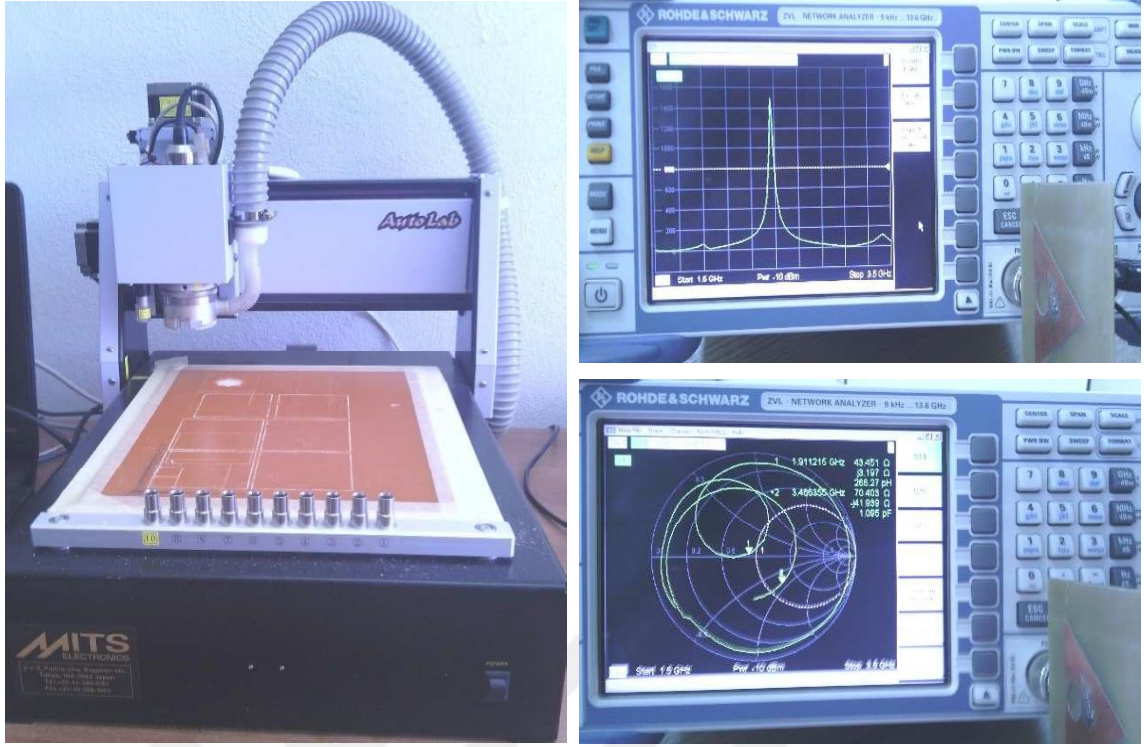
h : Dielektrik taban kalınlığı,

ϵ_r : Tabanın Dielektrik sabiti,

f_{r1Ref} : (Fang ve Wong 1999)'da verilen frekans değerleridir.



Şekil 3.24: Yarık şekilleri ve parametreleri



Şekil 3.25: Tez çalışmasında kullanılan PCB Prototip üretim makinesi ve ZVL-13 network analizörü

Çizelge 3.15'te ise (Fang ve Wong 1999) parametreleri kullanılarak antenlerin simülasyonları yapılmış ve simülasyondan alınan sonuçlar ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çizelgede “-” elde edilemeyen sonuçları göstermektedir.

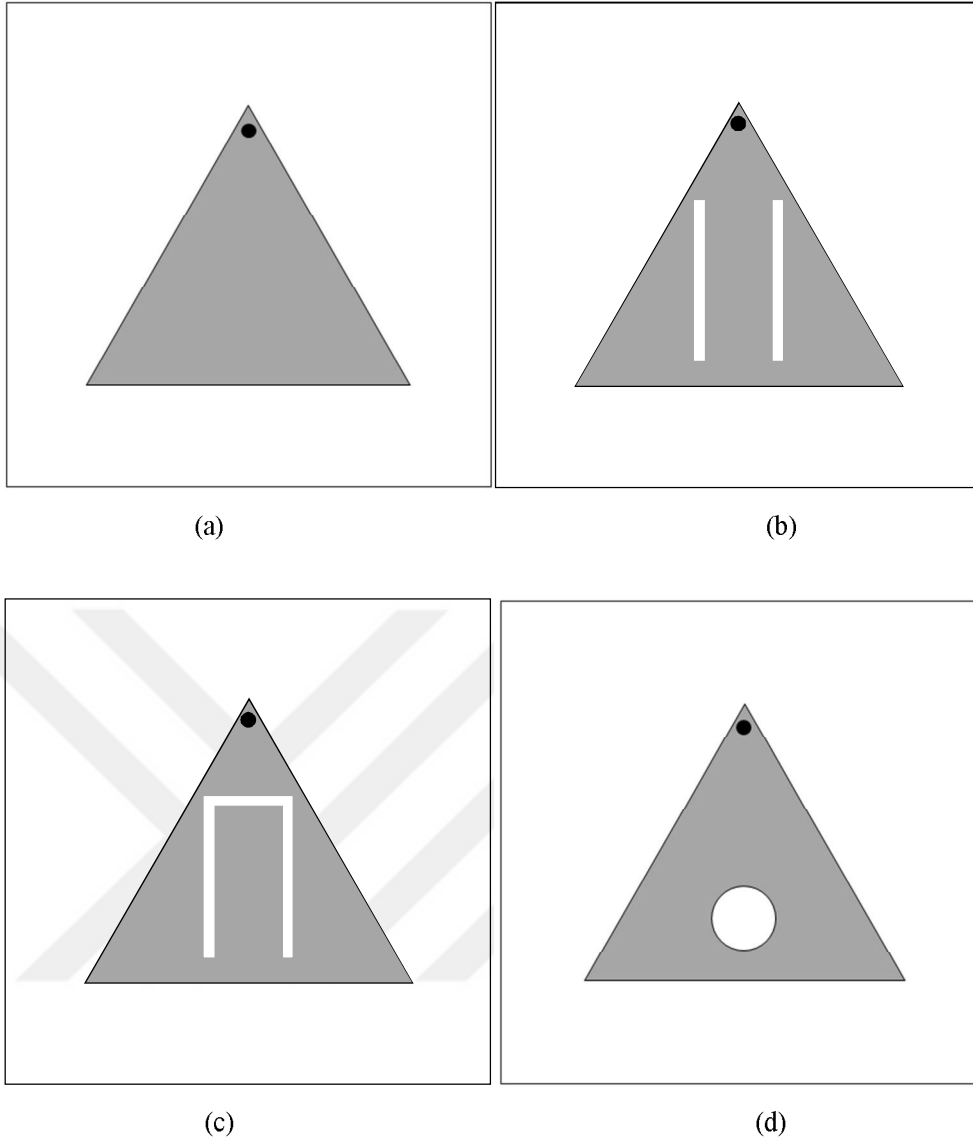
Son olarak en iyi sonuçları veren parametre ve yarık şekilleriyle tasarlanan antenlerin uygulamaları yapılmıştır. Ölçüm ve simülasyon sonuçları ise Çizelge 3.16'da verilmiştir.

Çizelge 3.15: Simülasyon ve Ölçüm sonuçları

f_{r1Ref} (MHz)	f_{r1Sim} (MHz)	$f_{r1Ölç}$ (MHz)	f_{r2Ref} (MHz)	f_{r2Sim} (MHz)	$f_{r2Ölç}$ (MHz)	BG_{1Ref} (%)	BG_{1Sim} (%)	$BG_{1Ölç}$ (%)	BG_{2Ref} (%)	BG_{2Sim} (%)	$BG_{2Ölç}$ (%)
1838	1750	1920	2743	2480	2750	1.400	1.714	0.129	1.300	2.016	-
1863	1780	-	2674	2570	-	1.500	1.685	-	1.300	1.946	-
1800	1760	1870	2572	2520	2590	1.600	2.273	0.128	1.400	1.984	1.931
1754	1780	1830	2486	2670	2530	1.700	2.247	0.150	1.500	1.498	1.976
1802	1790	1860	2552	2550	2550	1.800	2.235	2.151	1.700	1.961	1.176
1844	1810	1980	2580	2730	2560	1.800	2.210	11.616	1.700	1.961	1.953
1740	1720	2010	2365	2730	2410	1.900	2.210	10.945	1.700	1.961	2.490

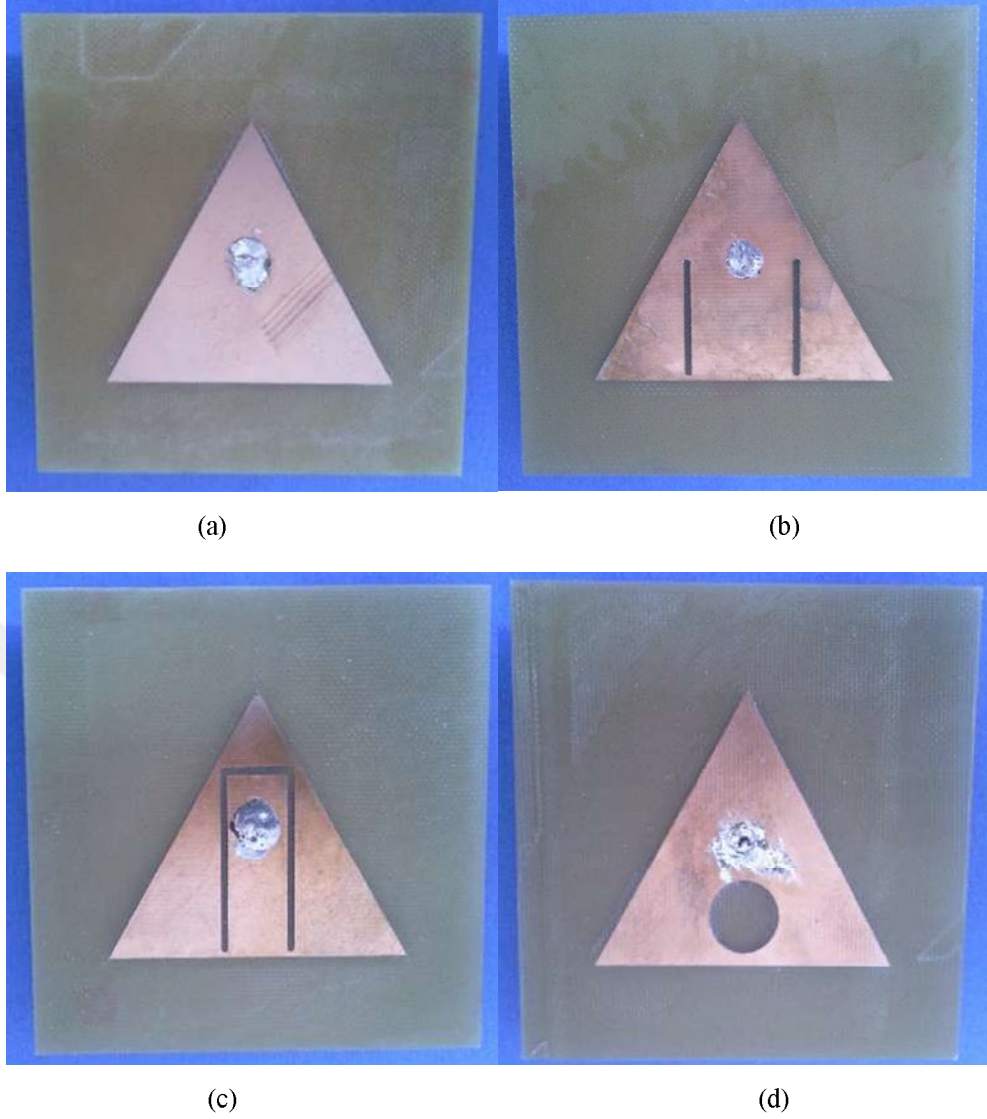
Çizelge 3.16: En iyi sonuçları veren yarıklı anten tasarım sonuçları

Yarık tipi	L_s (mm)	W_s (mm)	L_{ss} (mm)	f_{r1Sim} (MHz)	$f_{r1Ölç}$ (MHz)	f_{r2Sim} (MHz)	$f_{r2Ölç}$ (MHz)	BG_{1Sim} (%)	$BG_{1Ölç}$ (%)	BG_{2Sim} (%)	$BG_{2Ölç}$ (%)
-	-	-	-	1840	1940	-	2080	1.087	4.639	-	2.404
U	30	1	10	1720	1770	3030	3120	2.326	2.260	1.650	1.282
O	-	-	6.5	1830	1890	-	-	2.186	7.513	-	-
P	22	1	11	1820	1830	2660	2080	2.747	3.279	1.880	4.808



Şekil 3.26: Yarıkli EÜMŞA Tasarımları a) Yalın b) P-yarıkli c) U-yarıkli d) O-yarıkli

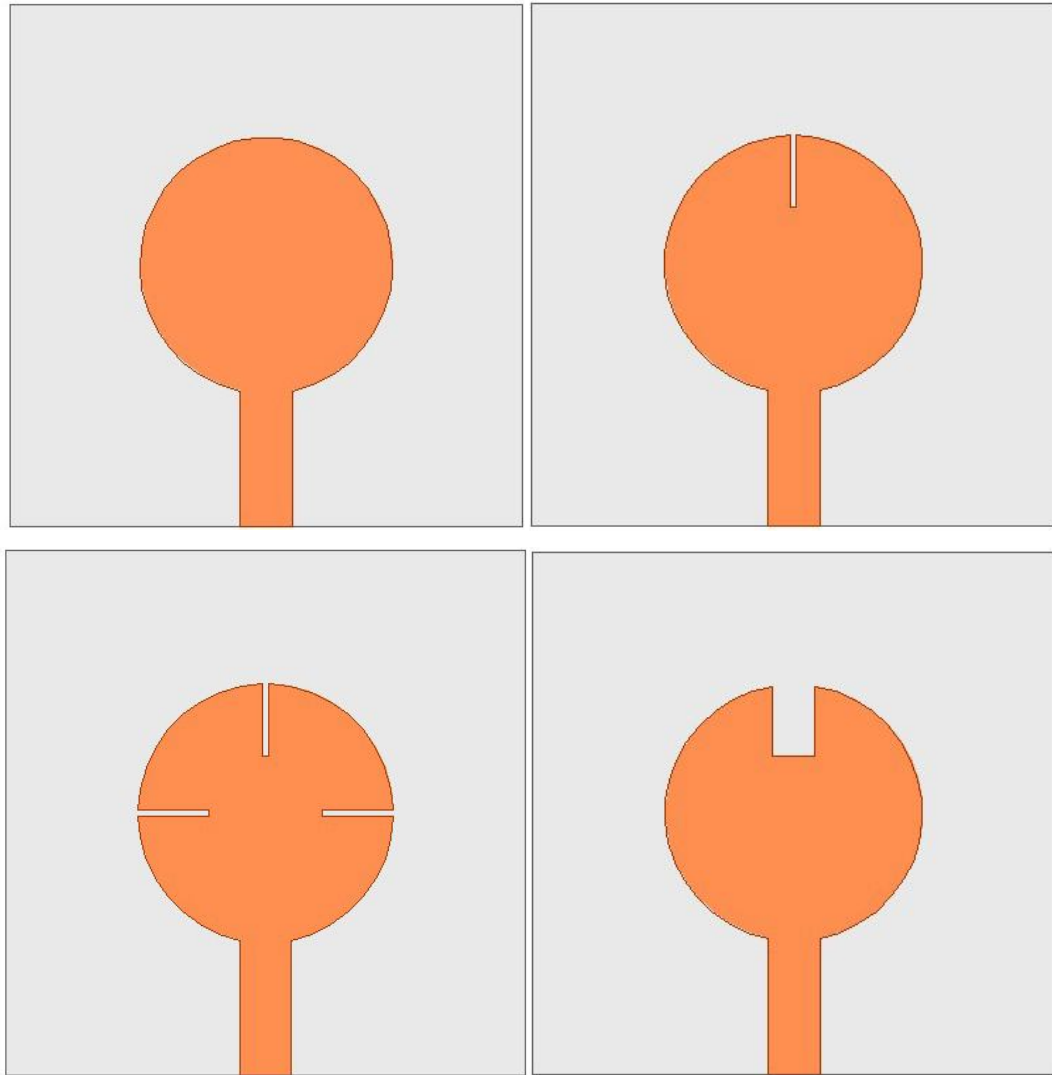
Şekil 3.26 ve 3.27’de ise tasarlanan EÜMŞA’ ler ve uygulamaları verilmiştir. Çizelge 3.15 ve 3.16’ dan de görülebileceği gibi en büyük band genişliği değeri yeni bulunan parametrelerle oluşturulan P-yarık ilaveli tasarımda elde edilmiştir. Ölçüm sonuçları simülasyon sonuçlarından biraz daha büyük değerlere sahiptir. Ayrıca (Fang ve Wong 1999)’daki sonuçlarla karşılaştırıldığında, yeni parametrelerle daha yüksek band genişliği ve teorik değerlere daha yakın rezonans frekansları elde edilmiştir. Yine, sonuçlar incelendiğinde, yarıklar arası mesafeyi temsil eden L_{ss} parametresi küçüldüğünde band genişliğindeki artışın da büyüdüğü ve bu parametrenin, oluşan 2. rezonans frekansı değerini doğrudan etkilediği söylenebilir.



Şekil 3.27: Yarıklı üçgen mikroşerit anten uygulamaları a) Yalın b) P-yarıklı c) U-yarıklı d) O-yarıklı

3.5.1.2. Farklı besleme hattı tiplerine sahip DAMŞA üzerine Dikdörtgen çentik ilavesinin etkilerinin araştırılması

Tezin bu kısmında 3.175 mm kalınlığındaki Foam malzeme üzerine tasarlanan HB-DAMŞA için farklı boyut ve sayıda dikdörtgen çentik (DÇ) ilavesinin anten performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çentik parametreleri HFSS *Parametrics* ile değiştirilerek iyi sonucu veren parametreler simülasyon ortamında belirlenmiştir. Şekil 3.28’de denenen çentik kombinasyonları görülmektedir. Farklı parametreler denenerek elde edilen en iyi simülasyon sonuçları Çizelge 3.17’de verilmiştir. Çizelge 3.18’de ise ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.28: HB-DAMŞA üzerine dikdörtgen çentik ilaveli tasarımlar

Çizelge 3.17: En iyi sonucu veren yama parametreleri

L_{gnd} (mm)	h (mm)	ϵ_r	r (mm)	L_h (mm)	W_h (mm)	L_ζ (mm)	W_ζ (mm)	f_{rSim} (MHz)	Z_{Sim} (Ω)	BG_{Sim} (%)
100	3.175	1.05	24.64	-30	10	-	-	5720	35.038	5.594
100	3.175	1.05	24.64	-30	10	10	1	5800	55.022	5.000
100	3.175	1.05	24.64	-30	10	12	9	5810	72.858	6.885
100	3.175	1.05	24.64	-30	10	13	9	5800	45.981	7.069
100	3.175	1.05	24.64	-30	10	14	1	5800	55.312	5.000
100	3.175	1.05	24.64	-30	10	14	8	5790	43.543	6.908
100	3.175	1.05	24.64	-30	10	14	9	5820	45.834	7.388
100	3.175	1.05	24.64	-30	10	17	8	5800	44.141	6.897

Çizelge 3.18: Ölçüm ve Simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

f_{rSim} (MHz)	$f_{rÖlç}$ (MHz)	BG_{Sim} (%)	$BG_{Ölç}$ (%)	Z_{Sim} (Ω)	$Z_{Ölç}$ (Ω)
5720	5710	5.594	8.406	35.038	36.725
5820	5980	7.388	21.75	45.834	39.832

Çizelgede;

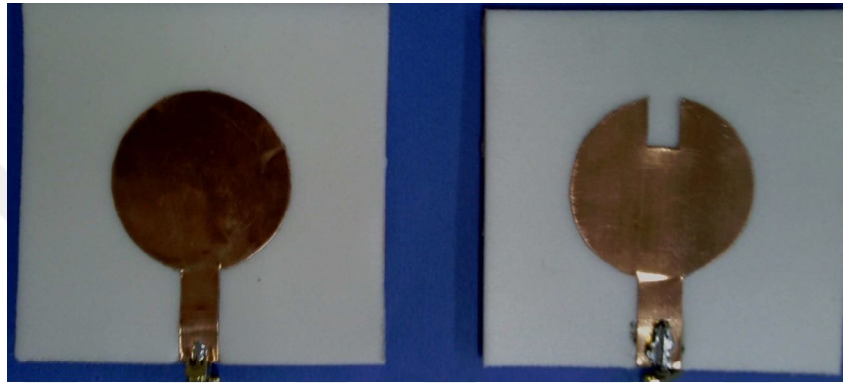
L_h : Besleme hattı uzunluğu,

W_h : Besleme hattı genişliği,

$L_ç$: Çentik uzunluğu,

$W_ç$: Çentik genişliğidir.

Çizelgedeki sonuçlar ve diğer simülasyon sonuçları da göz önünde bulundurulduğunda, çentik genişliğinin anten band genişliği üzerinde doğrudan etkili olduğu ve kalın çentiklerin daha büyük band genişliği değerleri sağladığı söylenebilir. Çentik uzunluğu ise antenin rezonans frekansı üzerinde etkili olmaktadır.

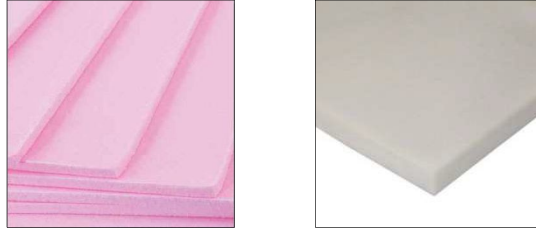


Şekil 3. 29: Uygulanması yapılan DAMŞA'ler

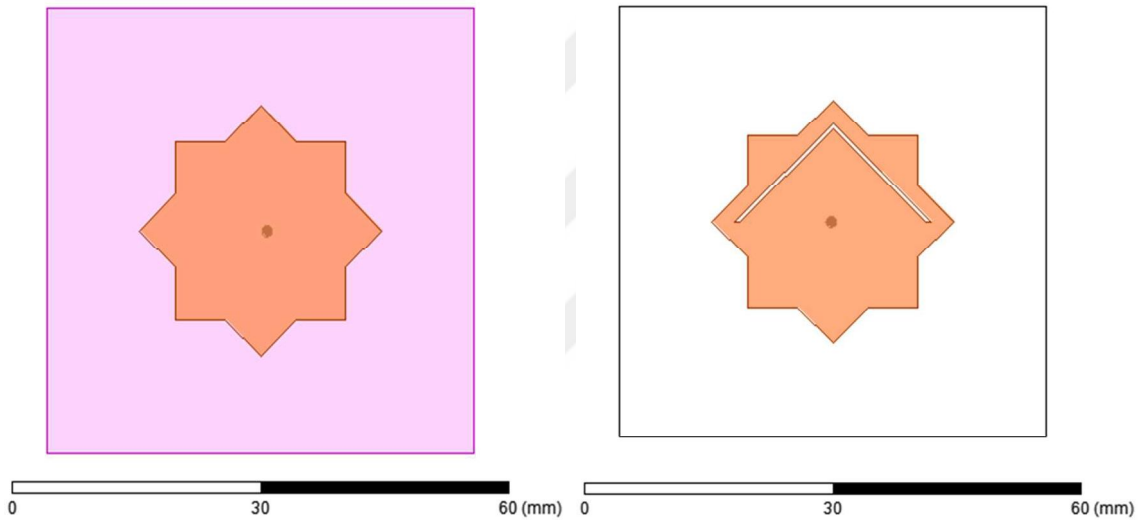
3.5.1.3. Foam malzeme üzerine tasarlanan SYMŞA'e V-şekilli yarık açmanın etkilerinin araştırılması

Tezin bu kısmında, yama geometrisiyle uyumlu olan V şekilli yarıklar Foam malzeme üzerine tasarlanan SYMŞA' lere uygulanmıştır. Yarıkların konum ve boyutları değiştirilerek antenin band genişliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada iki farklı Foam malzeme kullanılmış olup beyaz renkli ve 25.4 mm kalınlığa sahip malzeme Eccostock firmasının ürettiği SH-2, 20 mm kalınlığa sahip pembe renkli malzeme ise İzocam firmasının ürettiği “düz foamboard” olarak geçen yalıtım malzemesidir. SH-2'nin dielektrik sabiti katalogtan görüleceği gibi 1.025 ila 1.04 arasında değişirken düz foamboard malzeme için herhangi bir dielektrik sabiti değerine ulaşamamıştır. Pembe Foam malzemenin dielektrik sabiti de SH-2 ile eşit kabul edilerek tasarımlar ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Antenlerin tasarlandığı frekans 5800 MHz olarak seçilmiştir. Toprak düzlemi ve yamayı oluşturacak bakır yüzeyler, simülasyonlarda 2

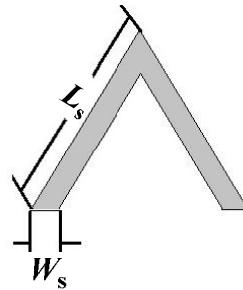
boyutlu seçilirken, uygulamada ise 100 μm kalınlığındaki bakır levhalardan uygun şekil ve boyutta kesilip çift yüzü akrilik band ile köpüğe yapıştırılarak elde edilmiştir. Şekil 3.30'da kullanılan malzemeler görülmektedir. Şekil 3.31'de yapılan yarıklı anten tasarımları, Şekil 3.32'de ise yarık tipleri ve yarık parametreleri ayrıntılarıyla verilmiştir.



Şekil 3.30: İzocam düz foamboard ve Eccostock SH-2 Foam malzemeler



Şekil 3.31: Yalın ve V-yarıklı ilaveli SYMŞA tasarımları



Şekil 3.32: Kullanılan yarık şekli ve yarık parametreleri

Çalışmaya yarıksız yalın anten tasarımları ile başlanmıştır. Bu aşamada HFSS ortamında en uygun toprak düzlemi boyutları ve besleme konumu belirlenerek

uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Tasarımlarda 20 ve 25.4 mm olmak üzere iki farklı taban kalınlığı denenmiştir.

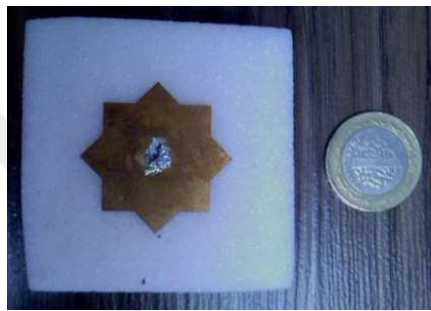
Yarık açma işlemine öncelikle açık ucu besleme noktasını görece şekilde konumlandırılan V şekilli yarıklar ile başlanmıştır. Yarığın konumu ve yarığı oluşturan kolların kalınlıkları yine sistematik bir biçimde değiştirilerek en iyi sonucu veren parametre değerleri belirlenmiştir. Bu esnada yama boyutunda ya da besleme konumunda herhangi bir değişikliğe gidilmemiştir. En iyi sonucu veren ve uygulaması gerçekleştirilen antenlerin parametreleri ise Çizelge 3.19’da verildiği gibidir.

Çizelge 3.19: V-yarık ilaveli SYMŞA tasarım parametreleri ve sonuçları

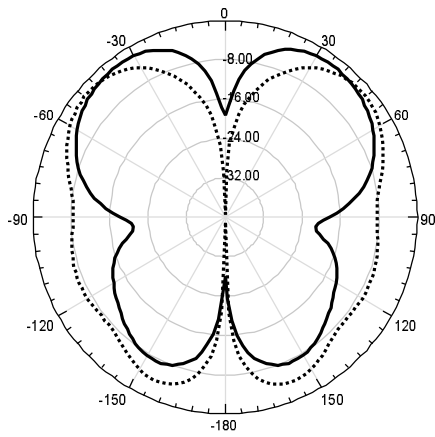
Yarık tipi	ϵ_r	h (mm)	x_f (mm)	L_s (mm)	W_s (mm)	f_{Teo} (MHz)	f_{Sim} (MHz)	$f_{ölç}$ (MHz)	BG _{Sim} (%)	BG _{ölç} (%)	Z_{Sim} (Ω)	$Z_{ölç}$ (Ω)
-	1.05	20.0	-0.8	-	-	5800	5850	5812.5	23.077	3.441	117.44	168.20
	1.05	25.4	0.2	-	-	5800	4930	5762.5	19.777	9.761	49.06	36.15
^	1.05	20.0	-0.8	3	1	5800	5890	6050.0	21.053	9.587	50.14	60.84
	1.05	20.0	-0.8	4	1	5800	5890	5800.0	21.222	4.310	50.10	41.12
	1.05	20.0	-0.8	7	1	5800	5820	-	21.478	-	49.64	-
	1.05	20.0	-0.8	9	1	5800	5790	5680.0	20.898	4.225	49.61	31.10
	1.05	25.4	0.2	17	1	5800	5030	5690.0	28.453	5.800	53.09	27.10

Şekil 3.33’te uygulaması gerçekleştirilen antenler verilmiştir. Şekil 3.34’te yama üzerindeki akım dağılımları, Şekil 3.35’te simülasyonlardan elde edilen 2 boyutlu ışınma desenleri ile 3 boyutlu kutupsal desenler verilmiştir.

Çalışmada, simülasyon ve ölçümlerden alınan frekans değerleri birbirine oldukça yakındır. Band genişlikleri ise ölçümlerde simülasyonlara göre 5’te 1 oranında azalmıştır. Bunun sebebi ise uygulamalar gerçekleştirilirken kullanılan SMA konnektörlerin istenilen ölçülerle üretilmemiş ve tasarlanan antenler için modifiye edilerek kullanılmış olmasıdır. Bu durumda empedans uyumsuzluklarının oluşması oldukça olası olduğundan simülasyon sonuçları ölçüm sonuçlarından daha güvenilirdir. Aynı malzemeler için uygun konnektör tipleri ve ölçülerinin kullanılarak çalışmaların tekrarlanması hedeflenmektedir.



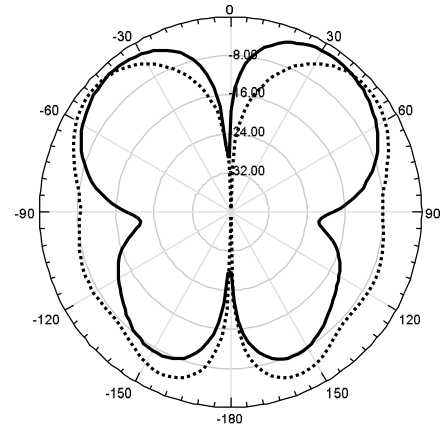
Şekil 3.33: Uygulaması gerçekleştirilen yalın ve V-yarık ilaveli SYMŞA Tasarımları



Phi=0°

— $h=20$ mm

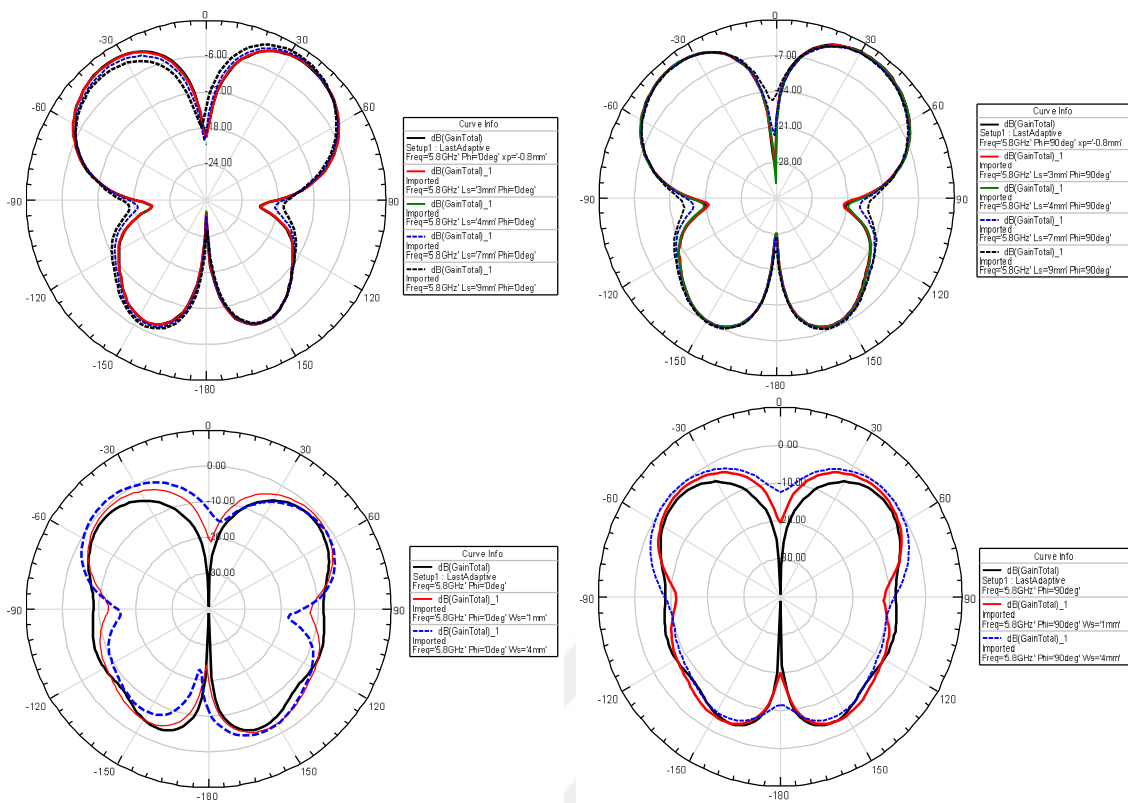
..... $h=25.4$ mm



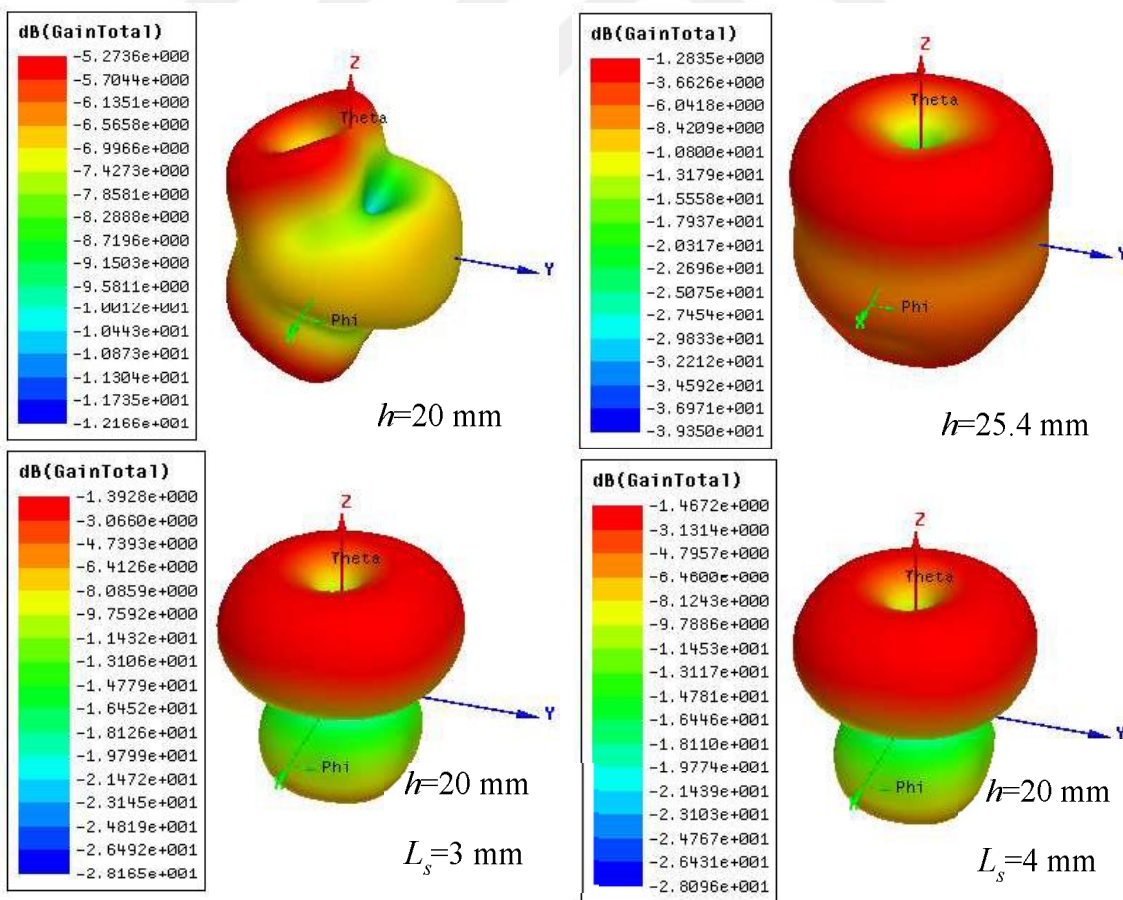
Phi=90°

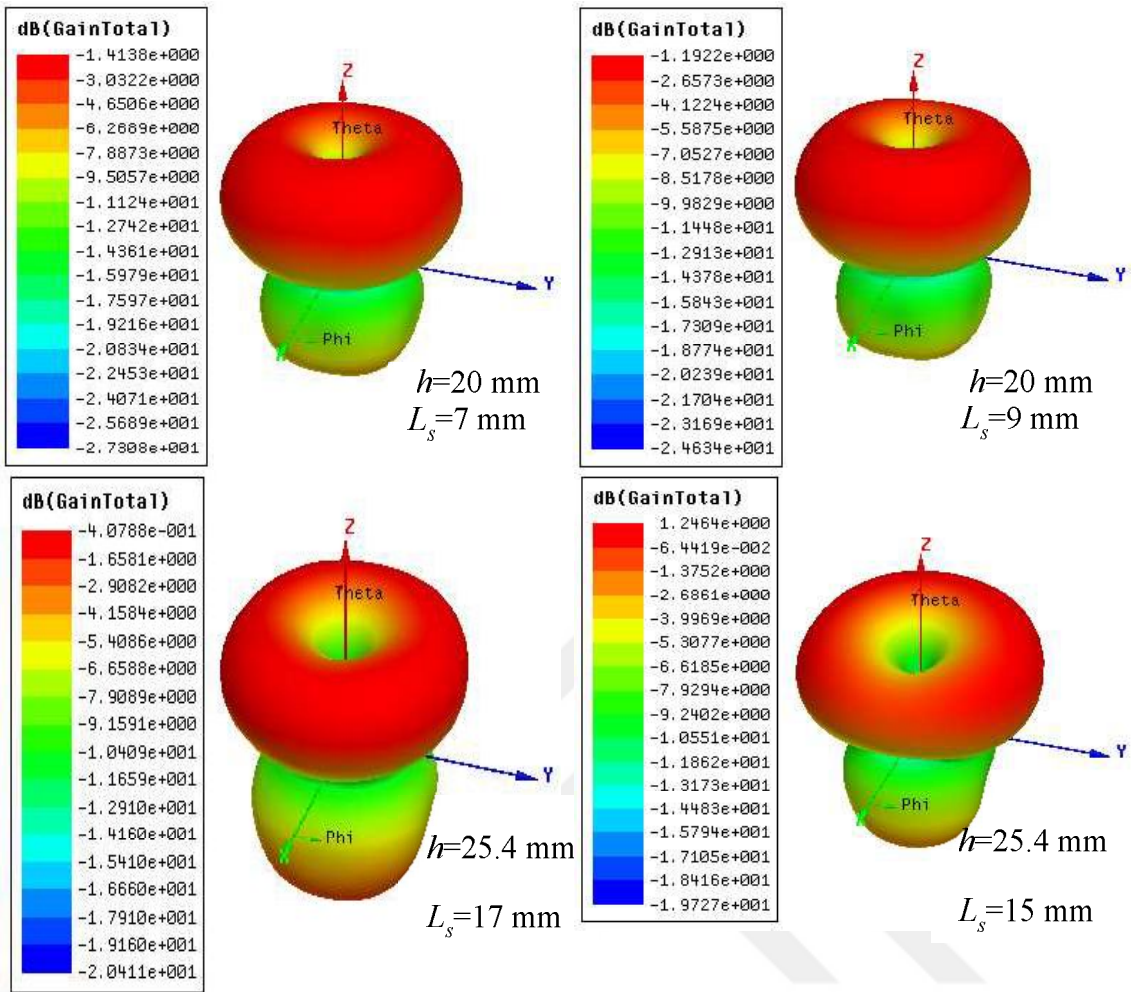
— $h=20$ mm

..... $h=25.4$ mm



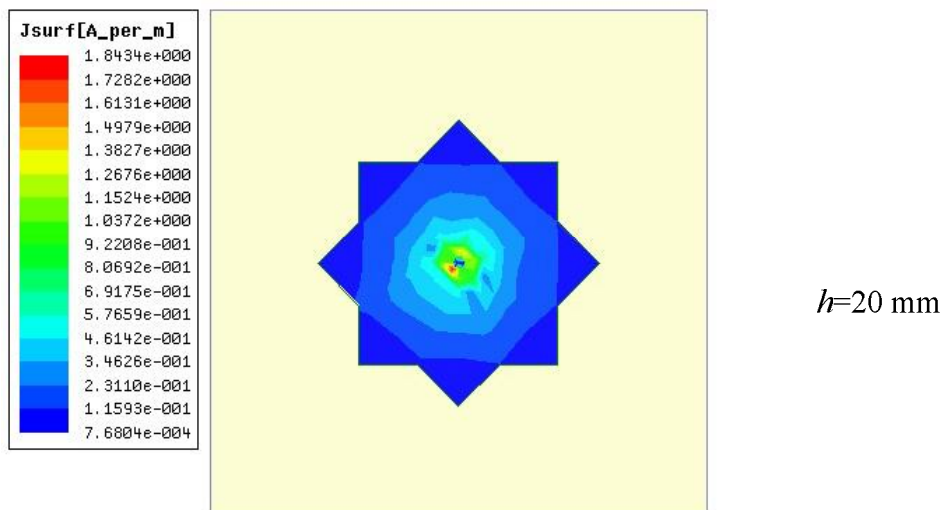
(a)

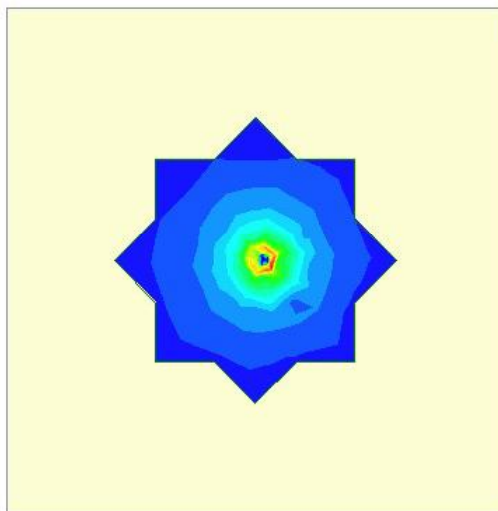
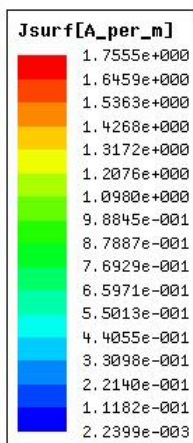




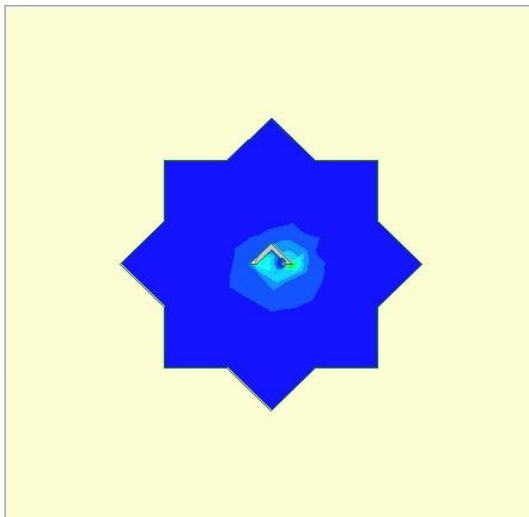
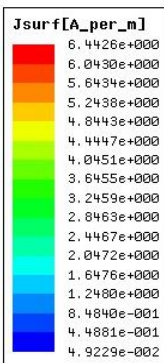
(b)

Şekil 3.34: Farklı yarıçap ve taban boyutları için Işıma Desenleri a) $\Phi=0^\circ$, b) $\Phi=90^\circ$ ile çeşitli Yarıçap boyut ve parametreleri için 3 Boyutlu Kutupsal Desenler





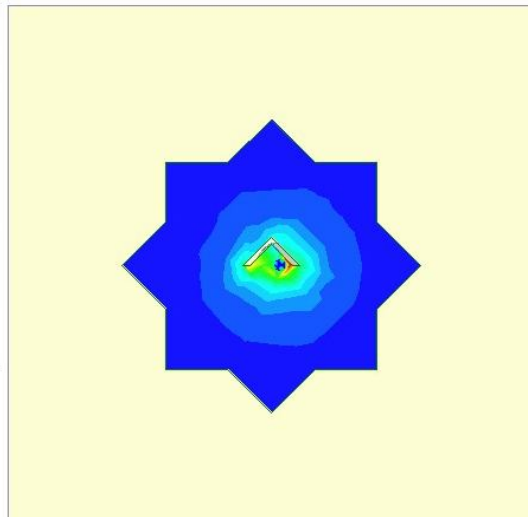
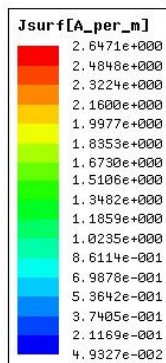
$h=25.4$ mm



$h=20$ mm

$L_s=3$ mm

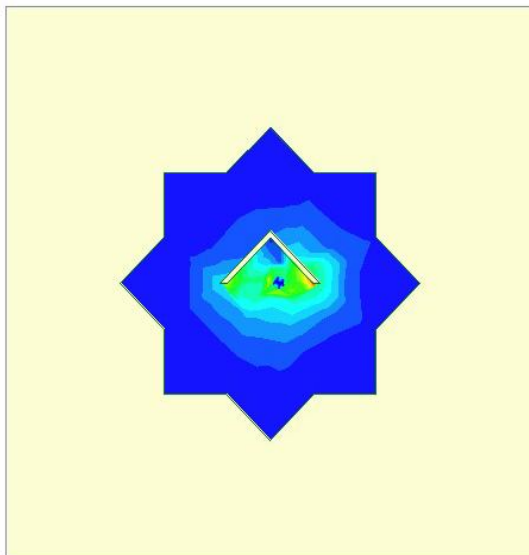
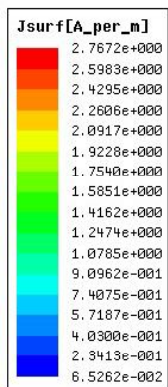
$W_s=1$ mm



$h=20$ mm

$L_s=4$ mm

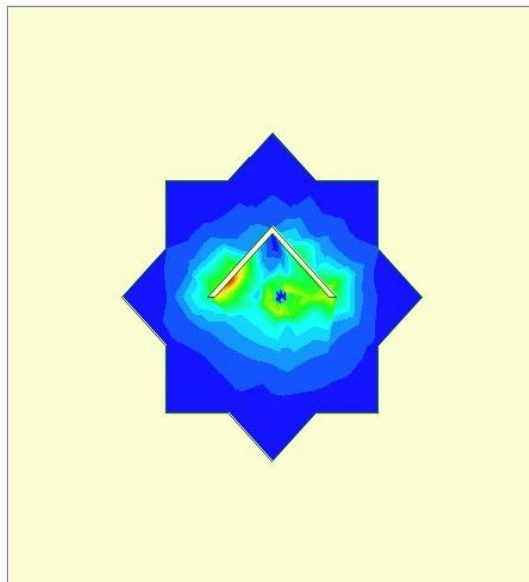
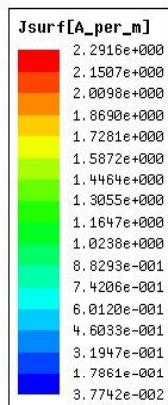
$W_s=1$ mm



$$h=20 \text{ mm}$$

$$L_s=7 \text{ mm}$$

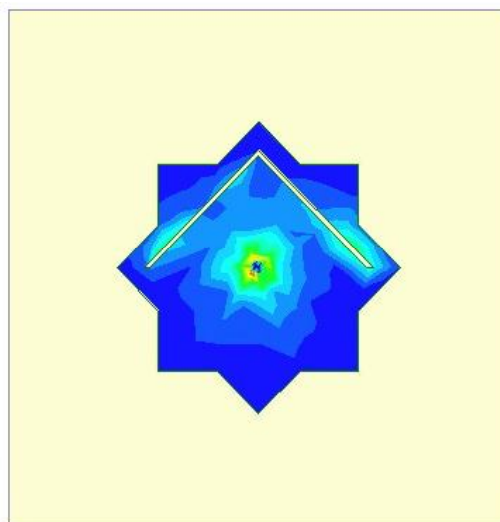
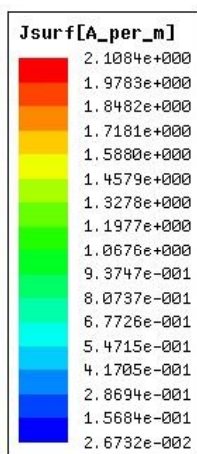
$$W_s=1 \text{ mm}$$



$$h=20 \text{ mm}$$

$$L_s=9 \text{ mm}$$

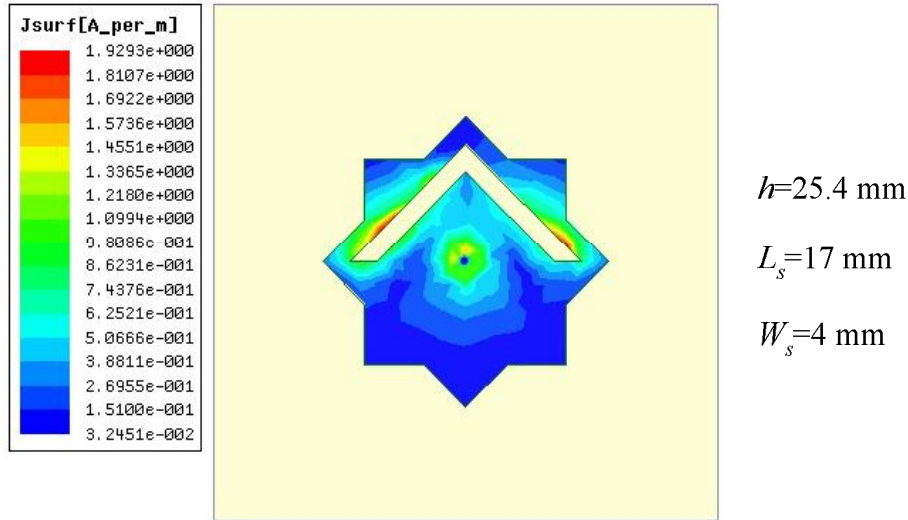
$$W_s=1 \text{ mm}$$



$$h=25.4 \text{ mm}$$

$$L_s=17 \text{ mm}$$

$$W_s=1 \text{ mm}$$



Şekil 3.35: Farklı şekil ve boyutlardaki yarık ilaveli anten tasarımlarından alınan yüzey akım dağılımı sonuçları

3.5.1.4. İnce EÜMŞA' lere çeşitli şekillerde yarık ilavesinin etkilerinin araştırılması

Tezin bu kısmında, literatürdeki tasarım formüllerinden faydalanılarak (Balanis 1982, Bahl ve ark 2001) 0.254 mm kalınlığındaki Duroid 5870 dielektrik taban mazlemesi üzerine EÜMŞA tasarlanmıştır. Anten temel TM_{10} modunda çalışacak biçimde tasarlanmış olup formüllerden rezonans frekansı 5170 MHz olarak hesaplanmıştır. Üçgen yamanın bir kenar uzunluğu L ile tanımlanmıştır ve başlangıç değeri olarak 25 mm seçilmiştir. Yama kare şeklindeki bir taban ve toprak düzlemi üzerine yerleştirilmiş olup, toprak düzlemi boyutları HFSS *Parametrics* ile belirlenmiştir. Sonrasında koaksiyel hat ile beslenen yama antenin besleme noktası da aynı şekilde, en iyi sonuçları verecek değerde seçilmiştir. Çizelge 3.20'de yalın EÜMŞA için toprak düzlemi ve besleme noktası değerlerinin belirlenmesinde bulunan simülasyon sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.20: Yalın EÜMŞA için toprak düzlemi boyutlarının ve besleme noktasının belirlenmesi

L (mm)	L_{gnd} (mm)	x_f (mm)	f_{rTeo} (MHz)	f_{iSim} (MHz)	BG _{Sim} (%)
25	26	21	5170	5160	1.163
25	27	10	5170	5020	0.398
25	27	20	5170	4900	1.020
25	32	11	5170	4970	1.006
25	32	21	5170	5160	0.969
25	26	21	5170	4950	0.808

Bu aşamadan sonra elde edilen toprak düzlemi ve besleme noktası değerleri kullanılarak tasarlanan anten üzerine çeşitli şekil ve boyutlarda yarıklar açılmıştır. Yarıkların parametreleri yine HFSS *Parametrics* ile belirlenmiştir. Açılan yarıkların tipleri Şekil 3.36'da görüldüğü gibi P,U,O ve V şekilli yarıklardır.

Antenler üzerine V-yarıkların ilavesinde, sadece yarıkların ilavesiyle hiçbir olumlu sonuç alınamamıştır. Sonraki bölümlerde yarıklı anten tasarımları üzerine farklı özellikte Kİ ve Pİ yöntemleri, birlikte ve ayrı ayrı denenerek devam edilmiştir. Çalışmanın sonuçları ilgili bölüm başlıkları altında verilecektir. Çizelge 3.21'de ise Yİ anten parametreleri ve simülasyon sonuçları verilmiştir.

Çizelgede L_s , yarıkların uzunluğu, W_s , yarıkların genişliği, W_p yarıklar arası uzaklık ve L_{ps} yarıkların üçgen yamanın tabanına olan uzaklığı, L_{ss} U-yarığın alt kenarının üçgenin tepe noktasına olan uzaklığı, r_{os} O-yarığın yarıçapı ve W_{os} O-yarıkların merkezine olan uzaklığı olarak tanımlanmıştır.

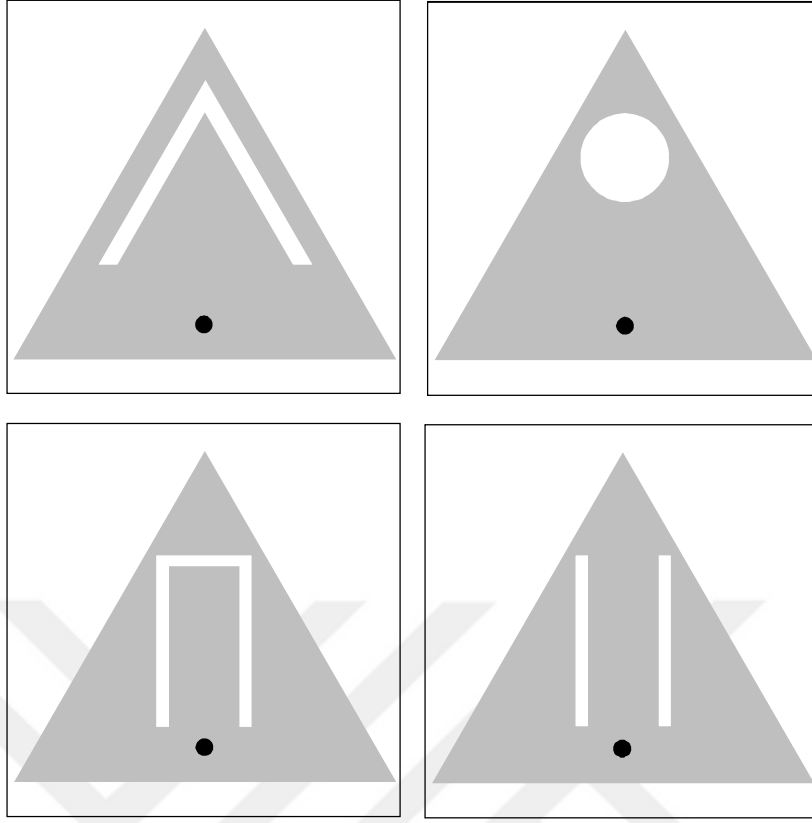
Çizelge 3.21: Yarıklı anten tasarım parametreleri ve simülasyon sonuçları

Yarıkların tipi	L_s (mm)	W_s (mm)	W_p (mm)	L_{ps} (mm)	L_{ss} (mm)	W_{ss} (mm)	r_{os} (mm)	W_{os} (mm)	f_{rSim} (MHz)	BG $_{Sim}$ (%)
P	5	1	2	1	-	-	-	-	5200	0.962
P	5	1	7	1	-	-	-	-	4900	1.224
P	5	1	15	1	-	-	-	-	5130	1.170
U	2	5	3	1	2	3	-	-	4600	1.087
U	2	5	9	1	2	9	-	-	4710	0.637
U	2	5	11	1	2	11	-	-	4540	1.322
O	-	-	-	-	-	-	1	0	5130	1.170
O	-	-	-	-	-	-	1	3	4750	1.263
O	-	-	-	-	-	-	1	7	5140	1.167
O	-	-	-	-	-	-	1	8	5180	1.158
O	-	-	-	-	-	-	1	20	5160	1.163

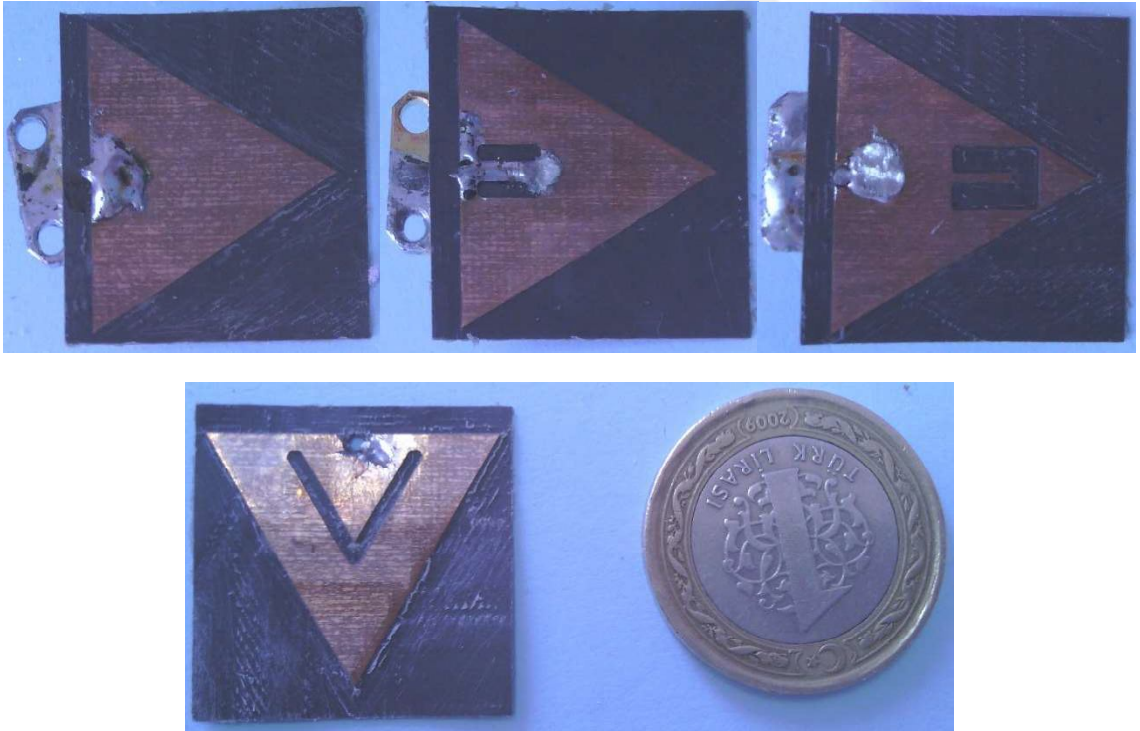
EÜMŞA'lere yalnızca yarıkların ilavesi, band genişliğini arttırmak yerine az da olsa düşürmüş, antenlerin rezonans frekansları ise çok fazla etkilenmemiştir. Bu sebepten ötürü yarıkların ilaveli yama antenler üzerine Kİ ve Pİ, tek tek ve birlikte ilave edilerek sonuçlar bir kez daha incelenmiştir. Bahsi geçen çalışmalar ilgili başlıklar altında açıklanmıştır. En iyi sonuçlar Çizelge 3.22'deki gibidir.

Çizelge 3.22: En iyi sonuçları veren yarıkların parametreleri için ölçüm sonuçları

Yarıkların tipi	f_{Teo} (MHz)	f_{Sim} (MHz)	$f_{Ölç}$ (MHz)	BG $_{Sim}$ (%)	BG $_{Ölç}$ (%)
-	5170	5160	5180	1.163	5.598
P	5170	5130	5160	1.170	1.938
U	5170	4710	4900	0.637	2.857
O	5170	5160	5155	1.163	9.601



Şekil 3.36: Çalışmada kullanılan yarıık tipleri



Şekil 3.37: Çalışmada yapılan anten uygulamaları

3.5.2. Kısa Devre Etme Pini İlavesinin Etkilerinin Araştırılması

Tezin bu kısmında tasarlanan antenler üzerine çeşitli konumlarda ve sayılarda kısa devre pini ilave edilerek anten band genişliği üzerinde ne gibi etkiler yarattığı araştırılmıştır. Çalışmalarda izlenen adımlar yine simülasyon ve sonrasında en iyi sonuçları veren parametreler için uygulamalar şeklindedir. Çalışmada pin yarıçapı, pinin şekli ve malzemesi üzerinde herhangi bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Yine, pin ilavesi yönteminin yama boyutu üzerinde oluşturduğu küçültme etkisi de dikkate alınmamıştır.

3.5.2.1. DAMŞA' e kısa devre pini ilavesinin etkilerinin araştırılması

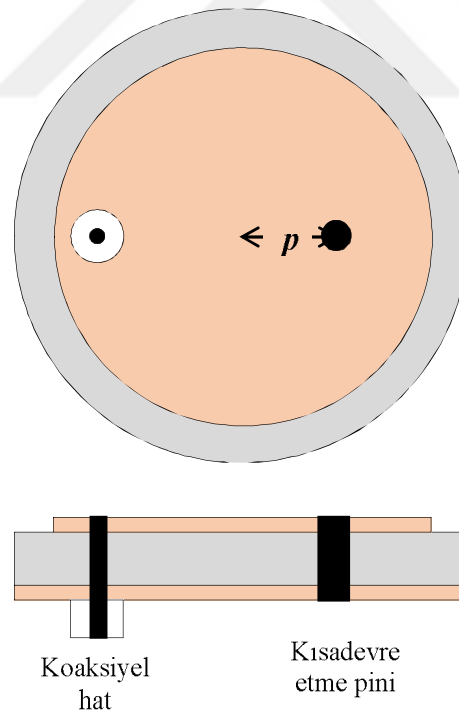
Bu çalışmada üç farklı dielektrik taban kalınlığına sahip ve üç farklı frekansta tasarlanmış geleneksel dairesel disk mikroşerit antenler üzerine yaygın band genişliğini artırma yöntemlerinden biri olan Pİ gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, literatürde mevcut dairesel disk mikroşerit yama antenler üzerine, farklı konum ve sayılarda kısa devre pinleri ilave edilerek antenlerin band genişliklerinin artırılması hedeflenmiştir. Band genişliği artırılırken antenlerin tasarlandığı rezonans frekansı değerlerinin korunmasına da özen gösterilmiştir. Bunun için bazı pin ilaveli tasarımlarda, yama yarıçapı değerleri üzerinde mm'nin 10'da biri kadar küçük oranlarda değişiklikler yapılmıştır.

İlave edilen pin sayısı ve pinlerin konumları, tasarım parametreleri literatürde mevcut olan her üç anten için sistematik biçimde değiştirilerek simülasyon ortamında en uygun rezonans frekansı ve band genişliğini veren pin kombinasyonları bulunmuştur. Antenlerin band genişliklerinde, literatürdeki ölçüm sonuçlarına göre ciddi iyileştirmeler elde edilmiştir. Ayrıca antenlerin tasarlandığı rezonans frekanslarından da ödün verilmemiştir.

Referans alınan ve Pİ antenler Rogers Duroid 5870 malzemesi üzerine tasarlanmıştır. Bu malzeme 2.32'lik bir dielektrik sabitine sahip olup, antenler 0.8, 1.59 ve 3.18 mm olmak üzere üç farklı kalınlıkta tasarlanmıştır (Dahle ve Lee 1983). Simülasyonlarda, (Dahle ve Lee 1983)'de belirtilmeyen toprak düzlemi boyutları üç anten için de optimize edilmiştir. Pİ dairesel disk anten, Şekil 3.38'de gösterilmiştir. Kısa devre pininin yama merkezine olan uzaklığı " p " ile ifade edilmiştir.

Çalışmanın ilk kısmında, yama antenler üzerine pin konumu besleme konumunun tam karşısında olacak şekilde 1 adet, 0.5 mm yarıçaplı, bakır Pİ yapılmıştır. Pin konumu p , simülasyonlarda yamanın bir kenarından diğer kenarına kadar, yamanın çap değeri

olan, 136 mm'lik mesafede 1'er mm'lik aralıklarla yerleştirilmiştir. Sonrasında Çizelge 3.21'den de görüleceği gibi, besleme noktasıyla 90° 'lik açı yapacak şekilde 2 kısa devre pini karşılıklı yerleştirilerek yamaya eklenmiştir. Üçüncü aşamada, bir önceki çalışmaya, ilk aşamada olduğu gibi, besleme noktasının karşısında yer alacak biçimde üçüncü bir pin daha ilave edilerek simülasyonlar tekrarlanmıştır. İkinci kısımda, iki adet kısa devre pini aralarında 1 mm mesafe olacak şekilde arka arkaya yerleştirilmiş ve 1 ve 3. aşamalar için tekrarlanmıştır. Karşılıklı iki pin ilavesi için sıralı pin çalışmasının tekrarlanmama sebebi ise, 1 ve 3. aşamalardaki pin konumlarında birbiriyle uyumlu sonuçlar alınsa da 2. aşamadaki konumlandırılmada hem rezonans frekansı hem de band genişliği için p konumuyla ilişkili anlamlı sonuçlar elde edilememesidir. Diğer tüm kombinasyonlarda rezonans frekansı ve band genişliği değerlerinin p pin konumuyla değişimi birbiriyle uyumlu olup, buradan p konumunun merkeze yakın seçilmesiyle yamanın tasarlandığı frekansa yaklaşıırken band genişliğinin de arttırılabileceği sonucuna varılmıştır. Bu değişimin grafiği her üç yama anten için de, tüm pin konum ve sayıları için Şekil 3.39'da verilmiştir. Farklı pin konum ve sayılarının sonuçları ise Çizelge 3.23'teki gibidir.



Şekil 3.38: Kısa devre pini ilaveli dairesel disk mikroşerit anten

Son kısımda ise, iki adet pin, besleme noktasının karşısında, her pin besleme noktasıyla 135° 'lik, birbirleriyle ise 90° 'lik açı yapacak şekilde yerleştirilerek tarama

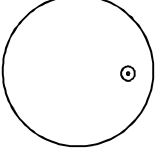
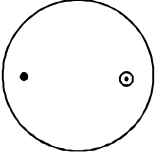
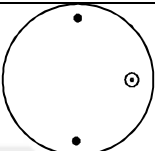
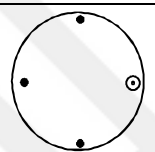
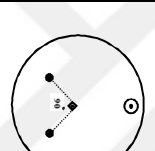
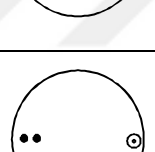
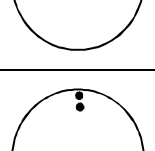
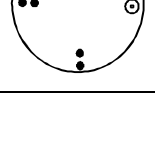





tekrarlanmıştır. Her bir kısımdaki pin yerleşimi için en uygun değerler belirlenerek, pin konumu sabit tutulmuş ve yama yarıçapında, rezonans frekansı değerlerini tasarlanan şekilde elde edilmesini sağlayacak ufak iyileştirmeler yapılmıştır. Simülasyon sonuçları değerlendirilirken, kısa devre pininin besleme noktası ya da birden fazla pin kullanılan durumlarda diğer pinlerle kesişmesi sonucunda ortaya çıkan hatalı veriler dikkate alınmamıştır.

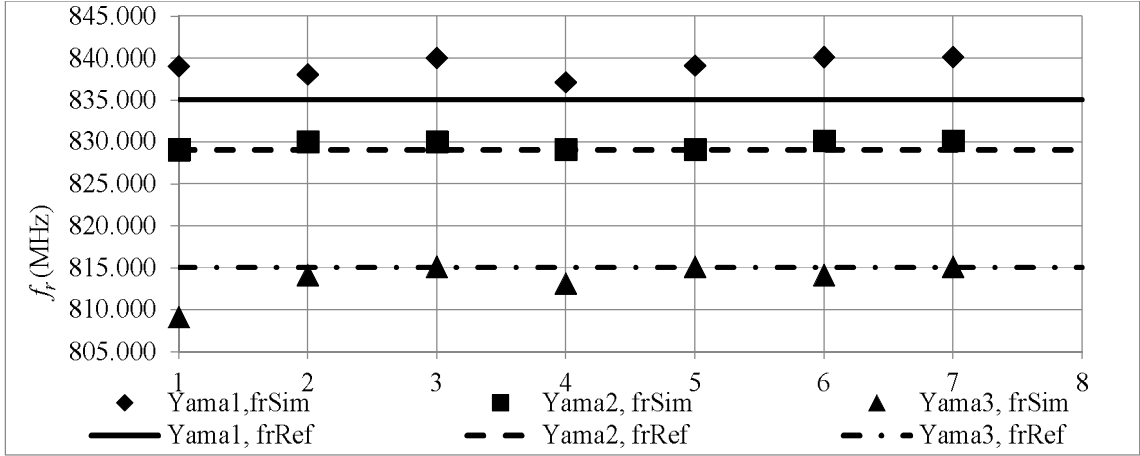
Şekil 3.39'daki grafiklerden görüleceği üzere, en kalın dielektrik tabana sahip ve en büyük band genişliğinin oransal artışı 3 no'lu yamada elde edilmiştir. Bununla birlikte f_r/h oranıyla ters orantılı olarak, band genişliği artış oranlarının arttığı söylenebilir. Böylelikle, pin ilavesi tekniğinin kalın dielektrik tabanlı yama antenlerde daha etkin bir teknik olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Bu sonucu desteklemek amacıyla daha kalın dielektrik tabanlar üzerine benzer çalışmaların yapılması planlanmaktadır.

Yapılan denemelerde simülasyonlardan elde edilen rezonans frekansı- p ve band genişliği- p değişim grafikleri üç yama anten için de, literatür değerleriyle birlikte Şekil 3.40'ta verilmiştir. Bu grafiklerden, p pin konumunun yama merkezi civarında seçilmesi halinde, yama empedansını etkilediği, rezonans frekanslarının tasarlanan frekans değerlerine çok yakın elde edildiği, yine empedans uyumunun etkin bir şekilde sağlandığı ve yama anten band genişliğinin arttırıldığı görülebilir. Yapılan denemeler sonucunda, her üç h kalınlığındaki mikroşerit anten için de, iki pinin karşılıklı yerleştirilmesi halinde, denenen diğer pin sayı ve konum kombinasyonları ile karşılaştırıldığında, rezonans frekansı ve band genişliğinde anlamlı bir değişim elde edilememiştir.

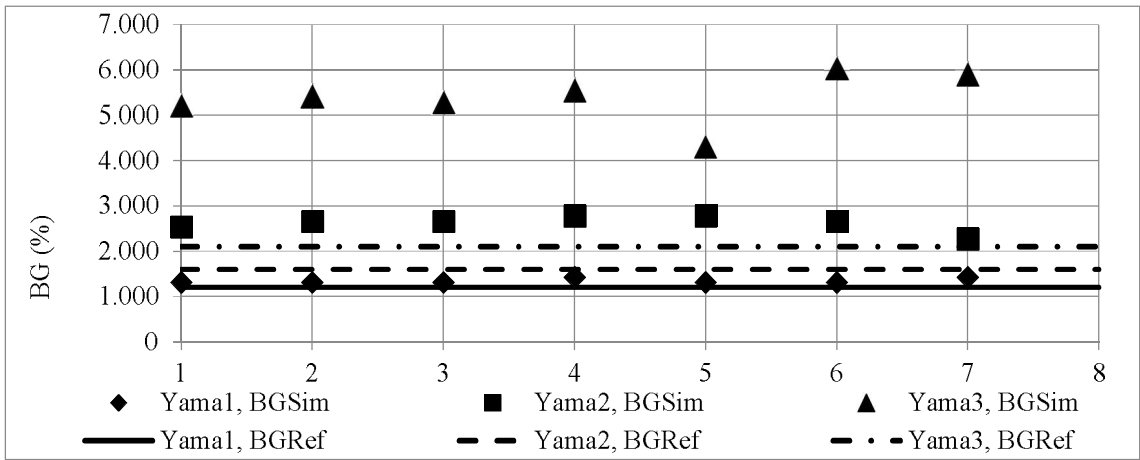
Bulunan en iyi kombinasyonlar için, rezonans frekansları sabit tutularak, antenlerin band genişlikleri sırasıyla % 1.440, % 2.780 ve % 6.024 oranlarında arttırılmıştır. Sonuçlar literatürdeki ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, band genişliği değerleri için, ciddi iyileştirmeler elde edilmiştir. Her üç antenin de, tüm pin kombinasyonları için, pin konumuna bağlı rezonans frekansı değişimlerinin benzer olduğu görülmüştür. Çalışmada, kısa devre pininin literatürde daha yaygın olarak kullanım sebebi olan boyut küçültme özelliği dikkate alınmamış, band genişliği iyileştirmesi üzerine odaklanılmıştır.

Çizelge 3.23: Pİ dairesel disk mikroşerit antenler için en iyi simülasyon sonuçları

Teknik	Pin yerleşimi	r (mm)	p (mm)	f_c (MHz)	BG (%)	Z_{in} (Ω)	Kazanç (dB)	Yöneltililik	Verim (%)
Pin yok		68.0	-	839.039	1.312	65.558	0.623	0.775	0.804
		68.0	-	829.029	2.536	62.507	0.652	0.710	0.919
1 pin		68.0	9	838.038	1.314	56.412	0.654	0.848	0.770
		68.0	-3	830.030	2.653	67.843	0.646	0.724	0.892
1 pin, yarıçap iyileştirmeli		68.0	-2	814.114	5.410	65.100	0.584	0.621	0.940
		69.0	9	836.036	1.197	72.232	0.654	0.820	0.797
2 pin		68.2	-3	829.029	2.656	65.224	0.661	0.770	0.859
		68.0	-2	814.114	5.410	65.100	0.584	0.621	0.940
2 pin, yarıçap iyileştirmeli		68.0	-34	840.040	1.311	68.745	0.646	0.763	0.847
		68.0	44	830.030	2.653	62.518	0.654	0.701	0.933
3 pin		68.0	19	815.105	5.280	53.123	0.533	0.562	0.950
		68.4	-34	835.123	1.318	68.087	0.661	0.770	0.859
3 pin, yarıçap iyileştirmeli		68.0	44	830.030	2.653	62.518	0.654	0.701	0.933
		67.6	19	815.105	5.649	60.308	0.538	0.567	0.947
2 pin, 90°derece		68.0	-65	837.125	1.435	75.301	0.654	0.784	0.834
		68.0	-1	829.117	2.777	70.973	0.683	0.725	0.942
3 pin, yarıçap iyileştirmeli		68.0	-65	813.103	5.539	66.176	0.592	0.629	0.941
		68.9	-65	833.033	1.322	48.102	0.644	0.754	0.853
2 pin, 90°derece, yarıçap iyileştirmeli		68.4	-1	828.028	2.660	59.890	0.674	0.722	0.933
		68.2	-65	815.105	5.403	64.715	0.593	0.632	0.938
1x2 pin sıralı		68.0	-2	839.126	1.312	67.279	0.655	0.768	0.852
		68.0	-3	829.117	2.777	67.155	0.651	0.700	0.929
2 pin, 90°derece, yarıçap iyileştirmeli		68.0	9	815.105	4.298	62.341	0.544	0.565	0.963
		68.0	-7	814.104	6.024	54.362	0.524	0.556	0.943
1x2 pin sıralı, yarıçap iyileştirmeli		68.6	-2	834.122	1.440	63.933	0.631	0.753	0.838
		68.0	-3	829.117	2.777	67.155	0.651	0.700	0.929
3x2 pin sıralı		68.0	9	815.105	4.298	62.341	0.544	0.565	0.963
		67.9	-7	814.104	6.024	63.406	0.535	0.560	0.954
1x2 pin sıralı, yarıçap iyileştirmeli		68.0	-1	840.127	1.311	66.597	0.647	0.770	0.840
		68.0	0	830.118	2.653	66.134	0.652	0.709	0.919
3x2 pin sıralı, yarıçap iyileştirmeli		68.0	-5	815.105	5.894	62.642	0.540	0.565	0.955
		68.6	-1	835.123	1.438	64.736	0.656	0.766	0.857
3x2 pin sıralı, yarıçap iyileştirmeli		68.1	0	828.116	2.780	65.909	0.646	0.709	0.910
		68.0	-5	815.105	5.894	62.642	0.540	0.565	0.955
3x2 pin sıralı, yarıçap iyileştirmeli		68.0	0	840.127	1.430	65.754	0.654	0.768	0.850
		68.0	0	830.118	2.273	66.481	0.659	0.709	0.928
3x2 pin sıralı, yarıçap iyileştirmeli		68.0	-4	815.105	5.649	60.188	0.540	0.564	0.956
		68.5	0	835.123	1.438	63.331	0.651	0.774	0.841
3x2 pin sıralı, yarıçap iyileştirmeli		68.1	0	841.128	2.653	66.140	0.665	0.713	0.932
		68.0	-4	815.105	5.649	60.188	0.540	0.564	0.956

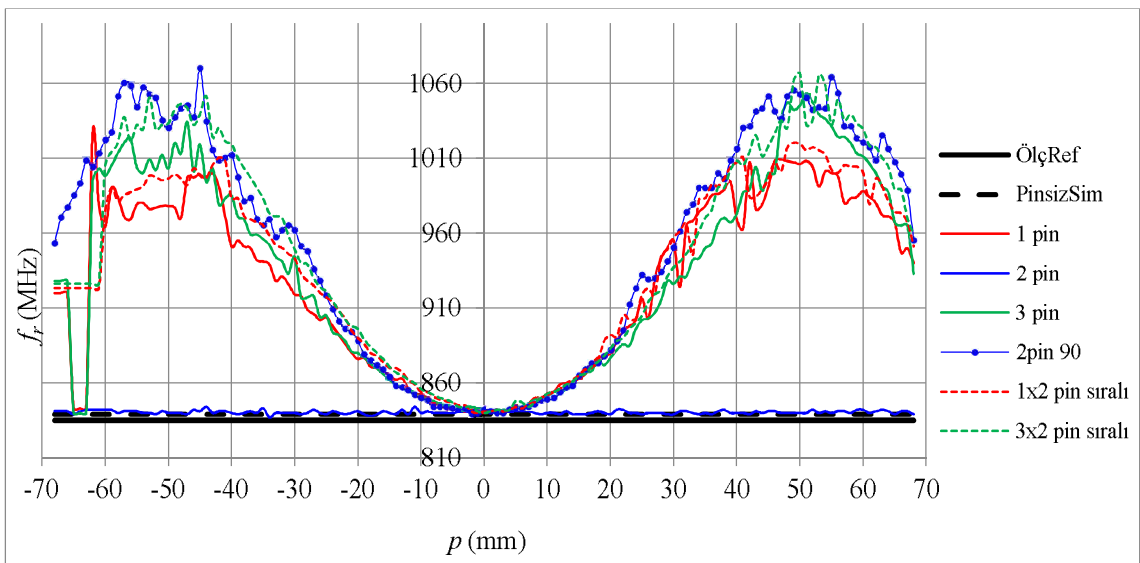


(a)

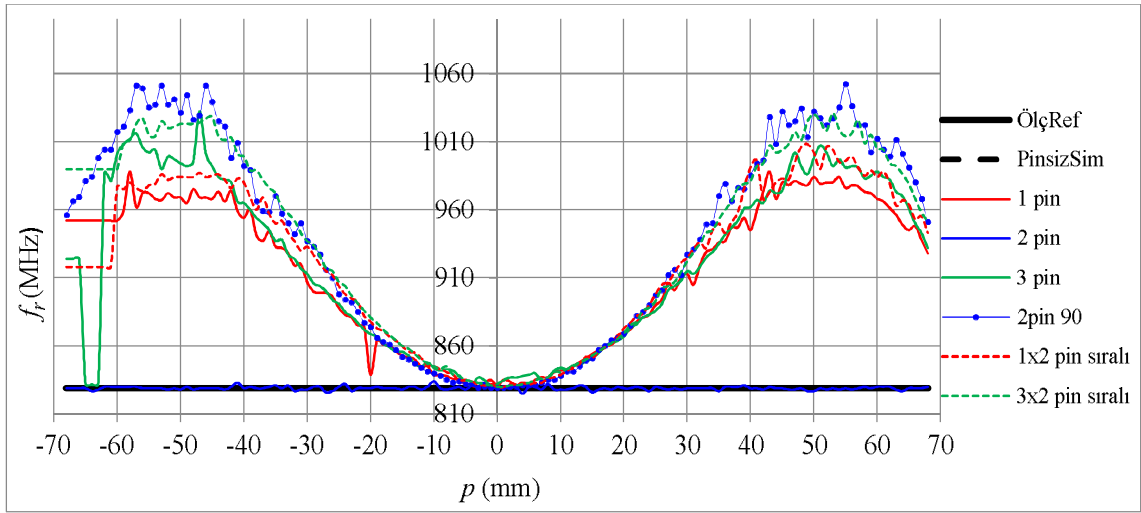


(b)

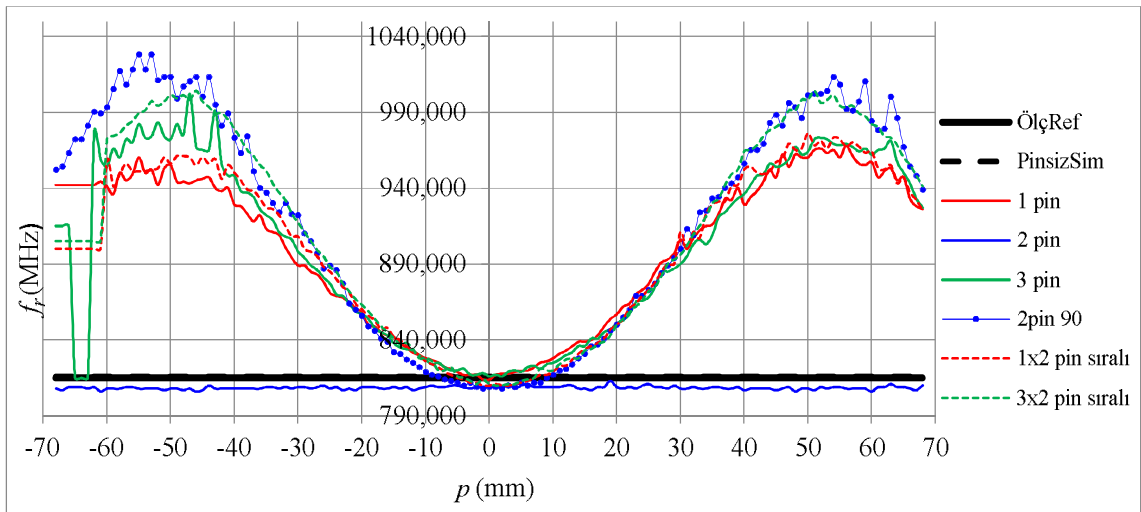
Şekil 3.39: Üç Mikroşerit anten için farklı pin konumu ve sayıları için a) rezonans frekansı ve b) band genişliği değişimleri



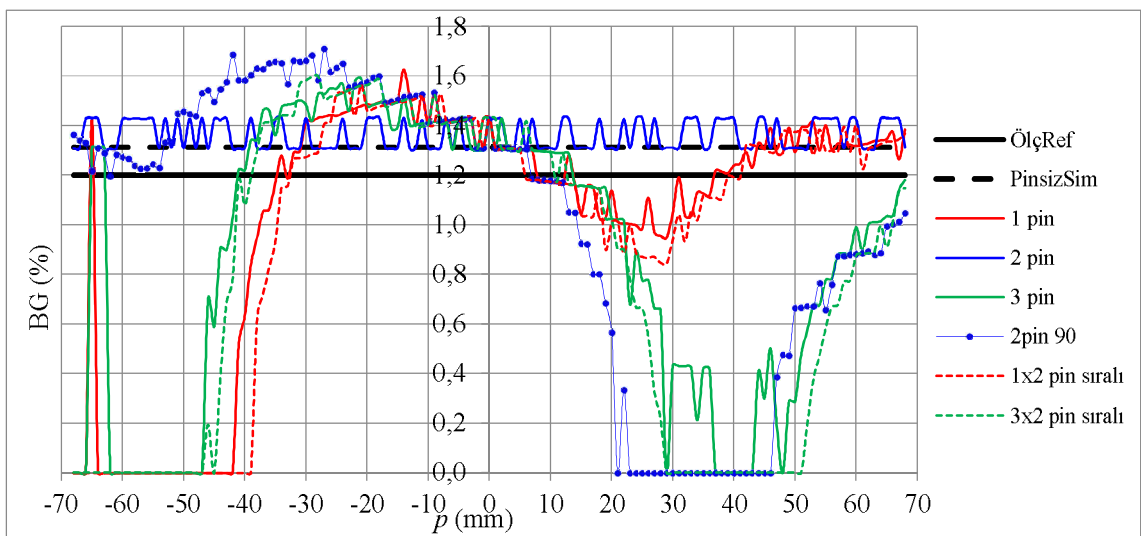
(a)



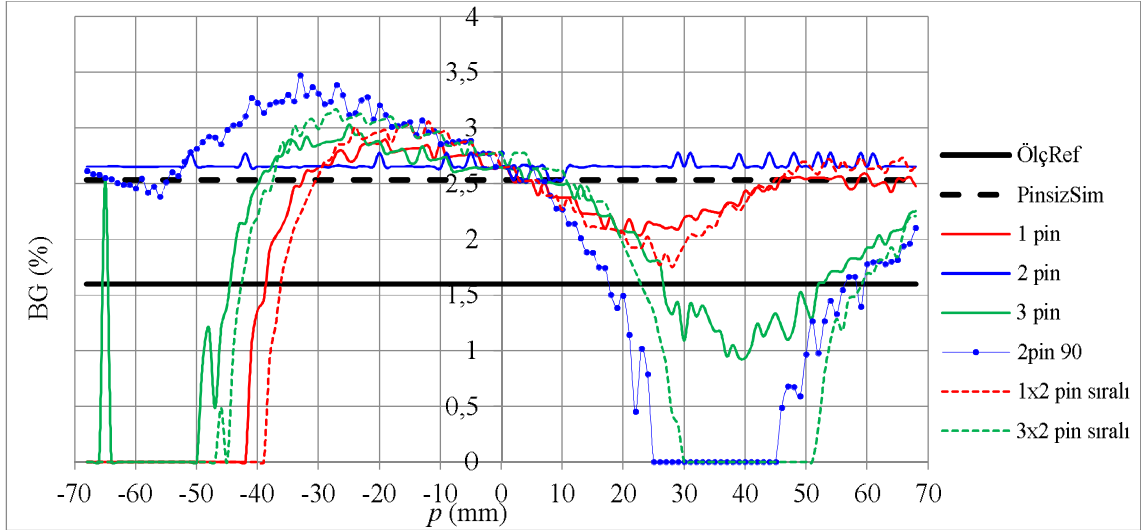
(b)



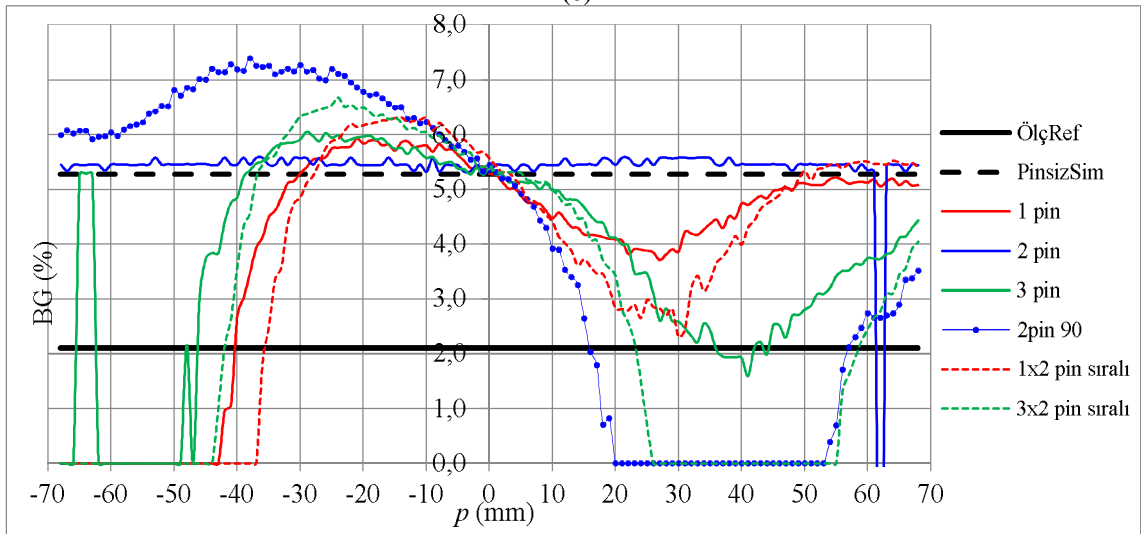
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 3.40: p' ye karşılık gelen a,b,c) rezonans frekansı ve d,e,f) band genişliği grafikleri

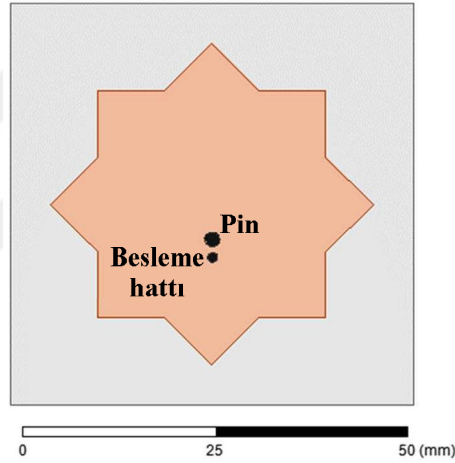
3.5.2.2. SYMŞA'ye kısa devre pini ilavesinin etkilerinin araştırılması

Çalışmanın bu aşamasında, Bölüm 3.1.4'te tasarlanan SYMŞA'nın frekans ve band genişliği değerlerinin iyileştirilmesi adına anten parametrelerinde değişikliğe gidilmiştir. Öncelikle, antenin kapladığı hacmi küçültmek ve böylece bakır kayıplarını azaltmak amacıyla toprak düzlemi boyutları değiştirilmiştir. İlk tasarımda 68.82 mm olan toprak düzleminin bir kenarının uzunluğu, çalışma sonrasında 53 mm'ye kadar küçültülmüştür. Yeni toprak düzlemi boyutu için elde edilen rezonans frekansı simülasyonda 2408 MHz, ölçümde 2687 MHz olarak bulunmuştur. Band genişliği ise simülasyonda S_{11} cevabı -6 dB civarında bulunduğu için hesaplanamamış; fakat ölçüm sonucundan % 2.866 olarak hesaplanmıştır.

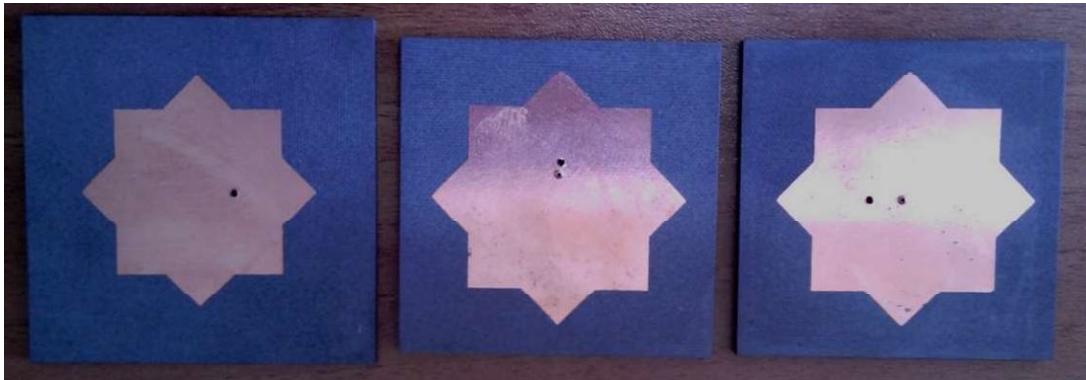
Çizelge 3.24: Pİ yama parametreleri ve performanslarının karşılaştırılması

$2 \times r_{SY}$ (mm)	L_{gnd} (mm)	x_f (mm)	p (mm)	h (mm)	ϵ_r	f_{rTeo} (MHz)	f_{rSim} (MHz)	$f_{rÖlç}$ (MHz)	BG _{Sim} (%)	BG _{Ölç} (%)
45.88	68.82	6.94	-	3.175	2.2	2400	2626	2430	3.009	3.704
50.91	53.00	6.94	-	3.175	2.2	2400	2408	2687	-	2.866
50.91	53.00	6.94	0.55	3.175	2.2	2400	2420	2472	3.719	2.892
50.91	53.00	6.94	4.55	3.175	2.2	2400	2400	2454	2.917	3.390

Çizelge 3.24'te $2 \times r_{SY}$, SY'nin köşegen uzunluğu, L_{gnd} , kullanılan kare tabanın bir kenar uzunluğu, x_f , besleme noktasının yama merkezine olan uzaklığı, p , kısa devre pininin yama merkezine olan uzaklığı, f_{rSim} , simülasyonlar sonucunda elde edilen rezonans frekansı, BG_{Sim}, simülasyonlar sonucunda elde edilen empedans band genişliği, $f_{rÖlç}$, ölçümler sonucunda elde edilen rezonans frekansı, BG_{Ölç}, ölçümler sonucunda elde edilen empedans band genişliğidir. Antenler Şekil 3.41 ve 3.42'den görülebilir.



Şekil 3.41: Pin ilaveli SYMŞA tasarımı



Şekil 3.42: Parametre İyileştirmeli ve Kısa devre Pini İlaveli SYMŞA Tasarımları

Çizelge 3.24'teki sonuçlardan da görüleceği gibi, uygun bir p konumu ile antenin rezonans frekansı istenilen değere yaklaştırılabildiği gibi aynı zamanda daha büyük bir

band genişliği de elde edilebilmektedir. Birden fazla pin kullanımının etkileri sonraki çalışmalarda incelenebilir.

3.5.3. Dielektrik kapak ilavesinin etkilerinin araştırılması

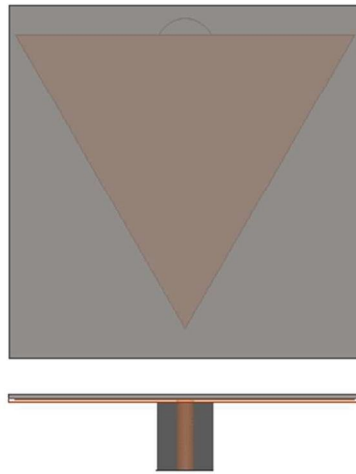
Tezin bu kısmında tasarlanan antenlere, antenin taban malzemesiyle aynı ya da farklı özelliklere sahip KI ile kapak parametrelerinin anten band genişliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Önceki bölümlerde tasarım parametreleri verilen antenler için bu kısımda sadece kullanılan kapakların parametreleri ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması olarak verilmesi uygun görülmüştür.

3.5.3.1. İnce EÜMŞA' lere dielektrik kapak ilavesinin etkilerinin araştırılması

Bu kısımda daha önce simülasyonu ve uygulaması gerçekleştirilen 0.254 mm kalınlığındaki 5870 üzerine tasarlanan yalın EÜMŞA üzerine, çeşitli özelliklerdeki KI ile sonuçların nasıl değiştiği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.25'te verilmiştir. Tasarlanan anten ve uygulaması ise Şekil 3.43'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.25: İnce 5870 üzerine tasarlanan EÜMŞA için kapak ilavesi sonuçları

Kapak	h_{kapak} (mm)	ϵ_{rkapak}	$f_{r\text{Teo}}$ (MHz)	$f_{r\text{Sim}}$ (MHz)	$f_{r\text{Ölç}}$ (MHz)	BG _{Sim} (%)	BG _{Ölç} (%)
-	-	-	5170	5160	5180	1.163	5.598
Duroid5870	0.254	2.32	5710	5080	5155 5560	1.181 -	0.582 2.968
Duroid5870	0.508	2.32	5170	4970	5530	1.006	4.340
Foam	5.000	1.05	5170	5160	5650	0.969	4.513



Şekil 3.43: Kapak ilaveli EÜMŞA tasarımı ve uygulaması

Çizelge 3.25'ten de görüleceği gibi, her üç kapak için de rezonans frekansları teorik ve simülasyonda elde edilen değerlerden oldukça yukarıda ölçülmüş, buna karşılık band genişliği değerlerinde simülasyonlara göre bir artış gözlenmiştir. r/h oranı değiştirilerek farklı kapakların denenmesi ve yine farklı BAY'nin de Kİ ile beraber uygulanması düşünülebilir. Antenlerin uygulamaları Şekil 3.44'te verilmiştir.



Şekil 3. 44:Uygulanması yapılan ince EÜMŞA' ler

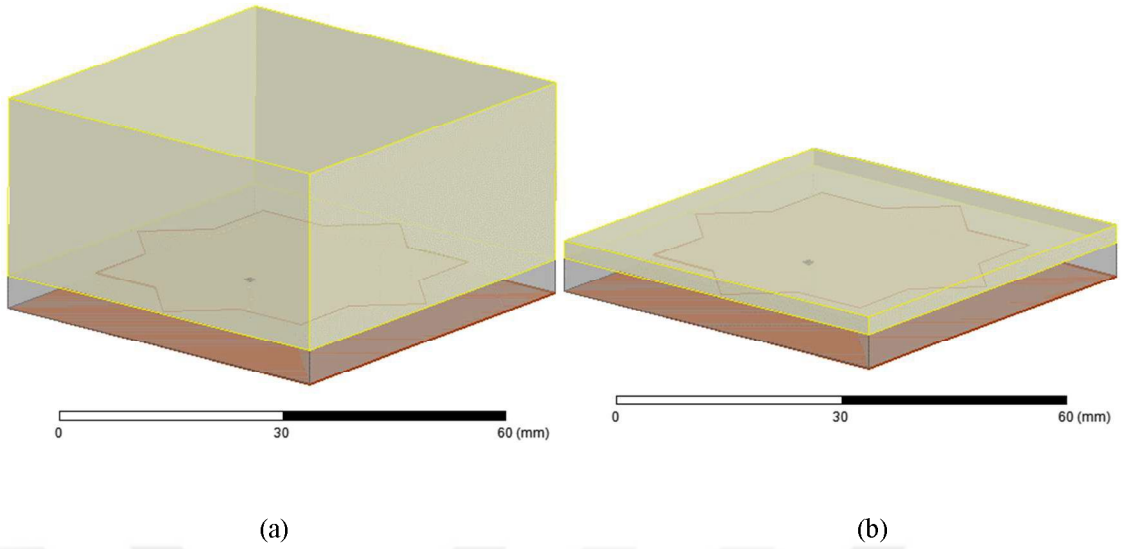
3.5.3.2. Duroid 6010 malzemesi üzerine tasarlanan yeni boyutlu SYMŞA üzerine dielektrik kapak ilavesinin etkilerinin araştırılması

Bu kısımda Bölüm 3.1.4'te tasarlanan SYMŞA üzerine farklı kalınlıklardaki Foam malzemedeki Kİ gerçekleştirilmiş olup antenler sadece simülasyon ortamında denenmiştir. Şekil 3.45'te Kİ-SYMŞA tasarımı görülmektedir. Çizelge 3. 26'da ise elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.26: 6010 malzemesi ile tasarlanan yeni boyutlu SYMŞA üzerine Kİ

BAY	ϵ_r	h (mm)	f_{rSim} (MHz)	BG _{Sim} (%)
-	-	-	5848.50	0.33
SH-2 Kİ	1.03	25.4	5846.49	0.34
PP-2 Kİ	1.03	2.54	5846.49	0.33

Çizelgeden de görüleceği gibi, bu tasarımda Foam Kİ rezonans frekansında belli bir etki yaratmamış; fakat band genişliklerini oldukça azaltmıştır. Ayrıca yalın tasarımda ortaya çıkan 2. ve 3. rezonans frekansları da kaybolmuştur. İlerki çalışmalarda, daha büyük dielektrik sabitine sahip Kİ denemeleri gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.45: Kapak ilaveli SYMŞA tasarımı a) SH-2 kapak, b) PP-2 kapak

3.6. Birden Fazla Yöntemin Birlikte Uygulanmasının Etkilerinin Araştırılması

3.6.1. EÜMŞA üzerine çeşitli şekilde yarıkların ve dielektrik kapak ilavesinin birlikte kullanılmasının etkilerinin araştırılması

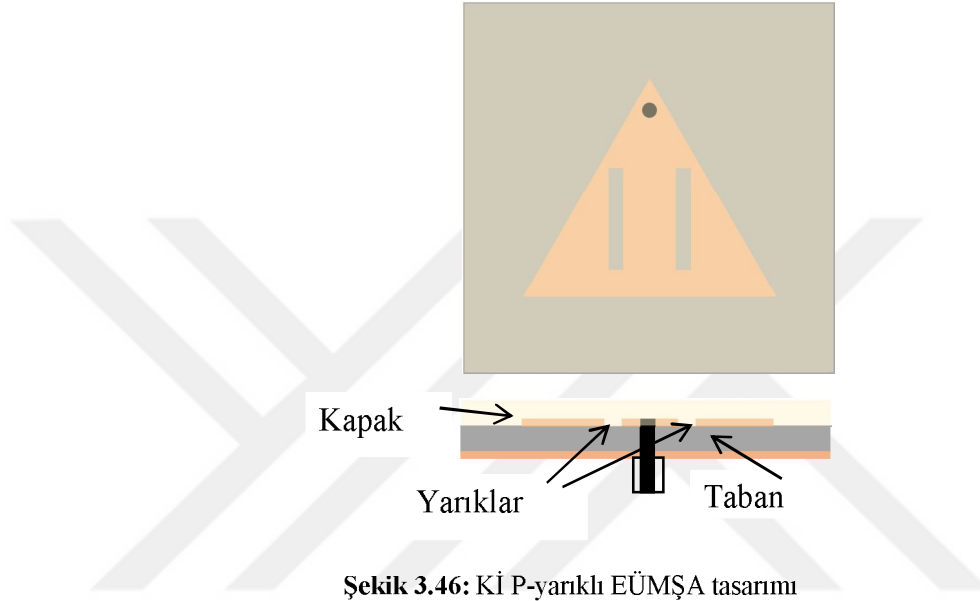
Bölüm 3.5.1.1’de yapılan EÜMŞA üzerine çeşitli şekil ve boyutlarda yarıkların açılması çalışmasına ilaveten, bu kısımda tasarlanan antenler üzerine, anten tabanı ile aynı özelliklere sahip KI gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarımların simülasyon ve uygulamaları tamamlanarak, karşılaştırmalı sonuçlar Çizelge 3.27’de verilmiştir. Çizelge sonuçlarına göre, KI ile yarıklı duruma göre rezonans frekanslarında bir miktar düşme görülmektedir. Band genişlikleri ise genel olarak artış göstermektedir, en büyük band genişliği artışı ise P-yarıklı tasarıma KI tasarımıyla görülmüştür.

Çizelge 3.27: Dielektrik kapak ilaveli yarıklı anten tasarımlarının simülasyon ve ölçüm sonuçları

Yarık ve Kapak	L_s (mm)	W_s (mm)	L_{ss} (mm)	f_{1Sim} (MHz)	$f_{1ölç}$ (MHz)	f_{2Sim} (MHz)	$f_{2ölç}$ (MHz)	BG _{1Sim} (%)	BG _{1ölç} (%)	BG _{2Sim} (%)	BG _{2ölç} (%)
U	30	1	10.0	-	1720	2670	2040	-	2.326	1.873	8.333
O	-	-	6.5	1740	1870	3130	3360	1.724	2.139	1.278	0.893
P	22	1	11.0	1730	1840	2460	2530	2.890	3.804	2.033	1.581

KI yapılan P-yarıklı EÜMŞA uygulamasına örnek olarak Şekil 3.46’daki çalışma verilebilir. Çizelge 3.28’de, (Fang ve Wong 1999)’te tasarlanan P-yarıklı antenler üzerine, yine tabanla aynı KI ile gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları verilmiştir. Buradan

da görülebileceği gibi, antene P-yarık ve kapak birlikte uygulandığında her iki rezonans frekansında da bir düşme gözlenmiştir. Band genişlikleri içinse, 1. band genişliği değerinde ufak artışlar olurken 2. band genişliği değerinde yine ufak düşmeler söz konusu olmuştur. Tabandan farklı malzemeler farklı kalınlıklarda kullanılarak Kİ denemeleri yapılabilir. Bu durumda kapak parametrelerinin de anten band genişliği ve rezonans frekansı üzerindeki etkileri daha net ortaya konabilecektir.



Şekil 3.46: Kİ P-yarıklı EÜMŞA tasarımı

Çizelge 3.28: (Fang ve Wong 1999)'teki P-yarıklı antenlere Kİ sonuçları

f_{r1Sim} (MHz)	$f_{r1ölç}$ (MHz)	f_{r2Sim} (MHz)	$f_{r2ölç}$ (MHz)	BG _{1Sim} (%)	BG _{1ölç} (%)	BG _{2Sim} (%)	BG _{2ölç} (%)
1710	1870	2410	2680	2,924	0,128	-	-
1670	-	2180	-	-	-	2.294	-
1720	1810	2480	2520	1.163	0.165	2.016	1.984
1660	1770	2310	2470	1.807	0.168	2.165	2.024
1670	1800	2320	2450	2.395	1.667	2.155	1.224
1700	1840	2350	2060	2.353	1.630	1.702	11.165
1710	2030	2450	2300	2.339	11.823	1.224	3.478

3.6.2. SYMŞA üzerine O-yarık, kısa devre pini ve dielektrik kapak ilavesinin etkilerinin araştırılması

Üç farklı rezonans frekansı için Hava, Foam, Duroid5880 ve Teflon taban malzemeleri kullanılarak koaksiyel beslemeli SYMŞA tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımlar 2400, 5800 ve 8000 MHz frekanslarında çalışacak biçimde yapılmıştır.

Malzemelerin kalınlıkları farklı seçilmiş ve her bir frekansta bu kalınlık değerleri kullanılmıştır. Simülasyonlardan elde edilen sonuçlar Çizelge 3.29'da görüldüğü gibidir.

Çizelge 3.29: Farklı malzemelerle ve frekanslarda tasarlanan SYMŞA parametreleri ve simülasyon sonuçları

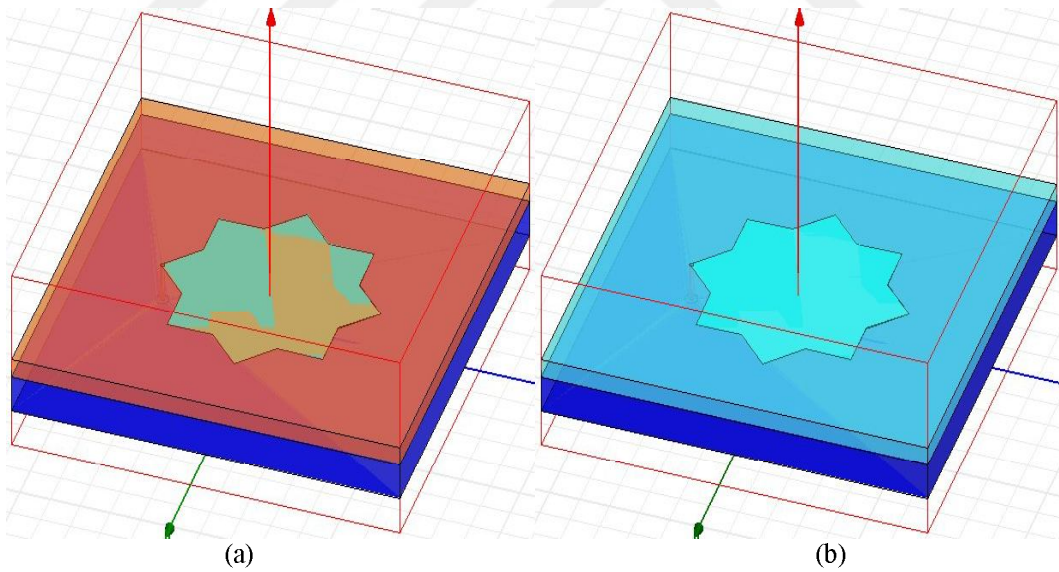
Malzeme	ϵ_r	h (mm)	r_{SY} (mm)	L_{gnd} (mm)	f_{rTeo} (MHz)	f_{rSim} (MHz)	BG_{Sim} (%)
Hava	1.00	10.000	36.63	129.50	2400	2400	7.88
Hava	1.00	10.000	15.16	53.59	5800	5160	-
Hava	1.00	10.000	10.99	38.85	8000	6770	-
Foam	1.05	10.000	35.75	126.38	2400	2400	9.56
Foam	1.05	10.000	14.79	52.30	5800	5180	-
Foam	1.05	10.000	10.72	37.91	8000	6810	-
Duroid5880	2.20	3.175	24.70	87.31	2400	2580	-
Duroid5880	2.20	3.175	10.22	36.13	5800	6270	-
Duroid5880	2.20	3.175	7.41	26.19	8000	8710	-
Teflon	2.10	5.000	25.28	89.37	2400	2540	-
Teflon	2.10	5.000	10.46	36.98	5800	6220	17.49
Teflon	2.10	5.000	7.58	26.81	8000	8310	21.53

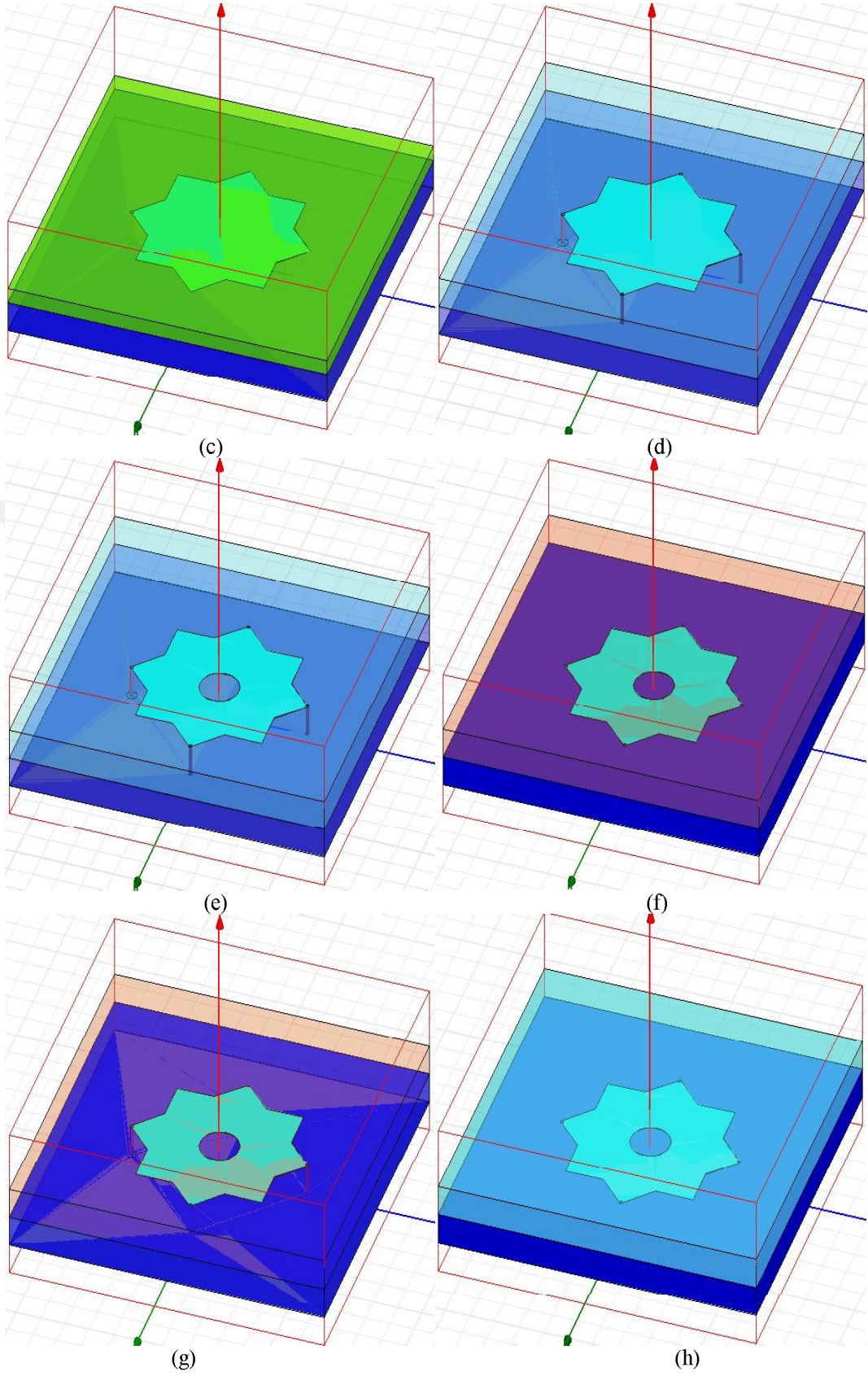
Bir sonraki adımda ise, 2400 MHz rezonans frekansı için 10 mm kalınlığında 1 dielektrik sabitli Hava taban kullanılarak tasarlanan yama üzerine 5 ve 10 mm kalınlıklarda 1.05 dielektrik sabitli Foam Kİ yapılmıştır. İlave edilen kapakların şekli ve boyutları yamaların üzerine tasarlandıkları tabanlarla aynı seçilmiştir. Kapak kalınlıkları 1 ila 10 mm arasında 1'er mm aralıklarla değiştirilerek kalınlığın etkileri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda bahsi geçen tasarım için 6 mm kalınlığındaki Hava malzemesinden kapakta en yüksek band genişliğinin elde edildiği, en yakın rezonans frekansının ise kapaksız tasarımda yakalandığı görülmüştür; fakat kapaklı tasarımlardaki frekanslar da kabul edilebilecek kadar yakındır. Bir sonraki adımda farklı malzeme ve rezonans frekanslarında çeşitli kapaklar denenmiş olup kapak kalınlıkları 1 ila 10 mm arasında değiştirilerek elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Sonraki aşamada, 10 mm kalınlığındaki hava taban üzerine tasarlanan SYMŞA için Kİ antenlerin köşe noktalarına, 0.5 mm yarıçaplı bakır kısa devre pinleri ilave edilmiştir. Pin sayısı ve konumu, simülasyon ortamında değiştirilerek en iyi sonucu veren parametreler belirlenmiştir. Bir sonraki aşamada ise Kİ antenlerin üzerine, konumu merkezde olmak üzere çeşitli boyutlarda O-yarık açılarak yine en iyi sonuç için gereken yarık yarıçapı elde edilmiştir. Pİ ve Yİ tasarımların sonuçları ise Çizelge 3.30'da verilmiştir. Yapılan BAY'li anten tasarımları Şekil 3.47'de görüldüğü gibidir.

Çizelge 3.30: Farklı BAY' leri ile elde edilen en iyi sonuçlar ve parametreleri

h (mm)	ϵ_r	Taban	Kapak	h_{kapak} (mm)	$\epsilon_{r\text{kapak}}$	Yarık	$r_{\text{yarık}}$ (mm)	Pin	$f_{r\text{Teo}}$ (MHz)	$f_{r\text{Sim}}$ (MHz)	BG_{Teo} (%)	BG_{Sim} (%)
10	1	Hava	-	-	-	-	-	-	2400	2400	3.333	7.88
10	1	Hava	Foam	6	1.05	-	-	-	2400	2380	3.333	8.02
10	1	Hava	5880	4	2.20	-	-	-	2400	2120	3.333	8.58
10	1	Hava	Teflon	7	2.10	-	-	-	2400	2140	3.333	8.55
10	1	Hava	Foam	7	1.05	O	8	-	2400	2350	3.333	8.17
10	1	Hava	5880	10	2.20	O	8	-	2400	2030	3.333	9.13
10	1	Hava	5880	10	2.20	O	8	1	2400	2020	3.333	9.10
10	1	Hava	5880	10	2.20	O	8	3	2400	2060	3.333	9.38

Dairesel yarık uygulanan antenlerden en yüksek band genişliği ve kabul edilebilir rezonans frekansı değerine kalınlığı 1 ila 10 mm arasında değişen Foam ve Duroid 5880 KI tasarımlarda ulaşılmıştır. 10 mm kalınlığındaki Duroid 5880 dielektrik KI tasarımda band genişliği en yüksek değerine ulaşmış olup rezonans frekansındaki aşırı kaymadan ötürü bu sonuç dikkate alınmamıştır. 8 mm yarıçapında dairesel yarıklı Duroid 10 mm KI tasarıma rezonans frekansını ayarlamak için Pİ yapılmış, pin konumu 36-0 mm arasında 6 mm'lik adımlarla denenmiştir. En iyi band genişliği 6 mm'de elde edilmiş; fakat bu durumda yama ile toprak düzlemi kısa devre edilmemiş sadece o noktada bir iletken pin ilavesi yapılmıştır.



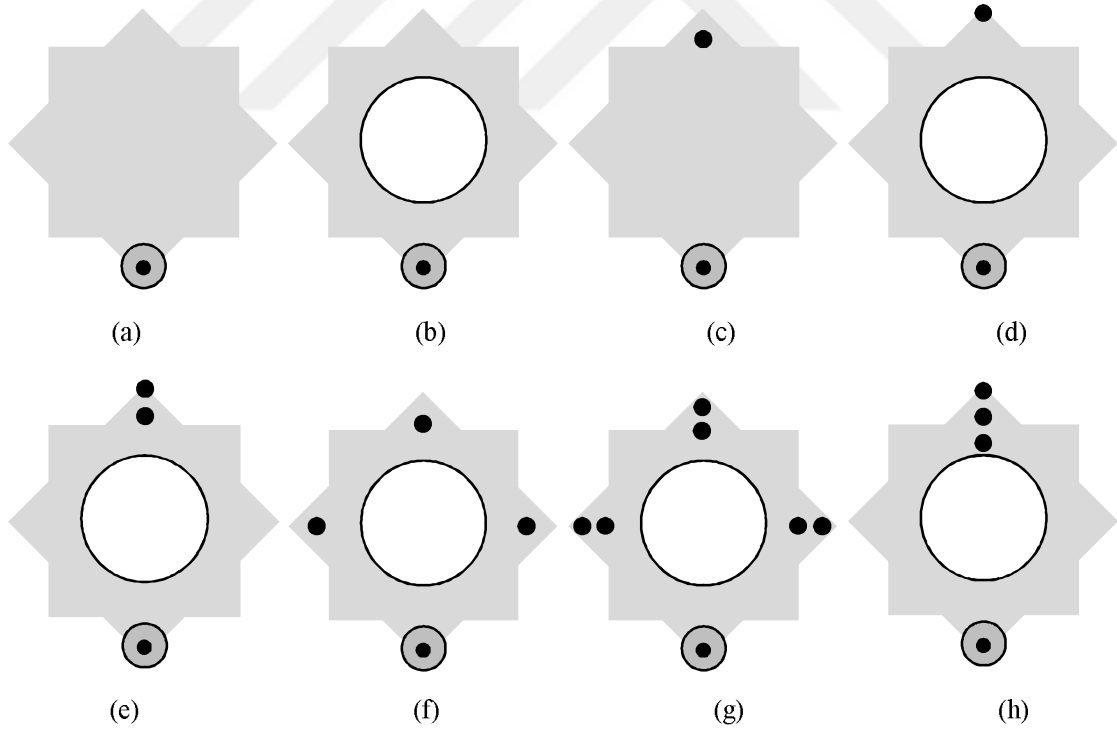


Şekil 3.47: a) Hava taban b)Hava taban+Duroid kapak c)Hava taban+Foam kapak d)Hava taban+Teflon kapak e) Hava taban+Duroid kapak+3 kısadevre pini f) Hava taban+ Duroid kapak+3 kısadevre pini+ O-yarık g) Hava taban+Duroid kapak+ O-yarık h) Hava taban+Duroid kapak+O-yarık+1 kısadevre pini

Bir diğer çalışmada ise, Duroid 5880LZ ($h=4.75\text{mm}$, $\epsilon_r=1.96$) malzemesi ile tasarlanan SYMŞA üzerine O-yarık açılan tasarıma, farklı sayı ve konumlarda bakır kısa devre pinleri ilave edilerek, pin sayısı ve konumunun antenin band genişliği ve diğer parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmaya, HFSS kullanarak tek bir pin ilavesiyle başlanmış ve pin konumu antenin besleme noktasının tam karşısı olarak seçilmiştir. Sonrasında pin konumu “ p ” sistematik adımlarla değiştirilerek en iyi sonucu veren değer belirlenmiştir. Bir sonraki aşamada ise pin sayısı artırılarak iki, üç ve altı pin ilaveli antenlerin sonuçları incelenmiştir. Çizelge 3.31’de ise çalışmanın sonuçları ile tasarım parametreleri verilmiştir. Yapılan tasarımlar Şekil 3.48’den görülebilir.

Çizelge 3.31: Pin ilaveli O-yarıklı SYMŞA tasarım parametreleri ve sonuçları

BAY	r_{SY} (mm)	L_{gnd} (mm)	x_f (mm)	h (mm)	v_d (mm)	p (mm)	ϵ_r	f_{rTeo} (MHz)	f_{rSim} (MHz)	BC_{Teo} (%)	BC_{Sim} (%)	Z_{Teo} (Ω)	Z_{Sim} (Ω)
-	41	98	40	4.75	-	-	1.96	5800	5800	2.5	-	50	98.018
Yİ	41	98	40	4.75	1	-	1.96	5800	5810	2.5	-	50	98.570
Pİ	41	98	40	4.75	-	-12	1.96	5800	5810	2.5	5.852	50	83.189
Pİ+Yİ	41	98	40	4.75	1	-11	1.96	5800	5800	2.5	5.172	50	84.540
2Pİ+Yİ	41	98	40	4.75	20	-30	1.96	5800	5780	2.5	8.651	50	78.939
3Pİ+Yİ	41	98	40	4.75	20	-32	1.96	5800	5840	2.5	8.390	50	80.746
6Pİ+Yİ	41	98	40	4.75	20	-30	1.96	5800	5800	2.5	8.966	50	78.402
3Pİ+Yİ	41	98	40	4.75	20	-29	1.96	5800	5820	2.5	9.450	50	78.692



Şekil 3.48: SYMŞA üzerine Çizelge 3.28’deki pin ve yarık yerleşimleri a) Yalın, b) Yİ, c) Pİ, d) Pİ+Yİ, e) 2Pİ+Yİ, f) 3Pİ+ Yİ, g) 6Pİ+Yİ, h) 3Pİ+Yİ

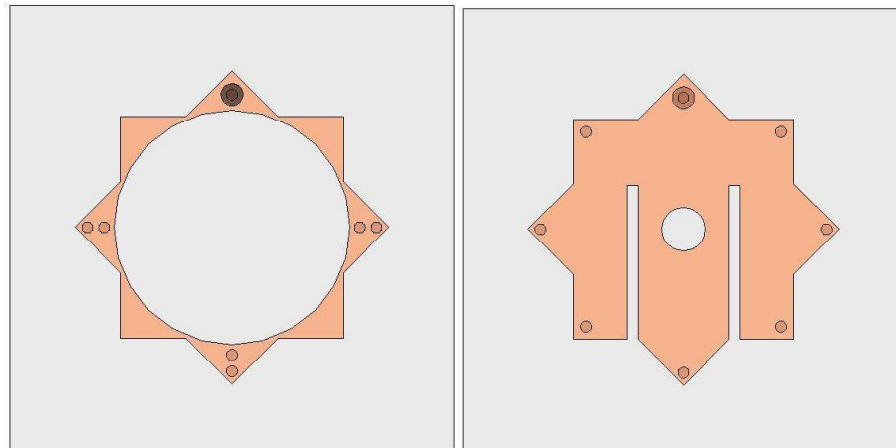
Yine Rogers Duroid 5880 LZ ve Eccostock SH-2 Foam malzemeleri ile iki farklı tasarım yapılmıştır. İlk tasarım 1960 MHz’te ikinci tasarım ise 2670 MHz’te çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu antenlere ait parametreler Çizelge 3.32’de verilmiştir.

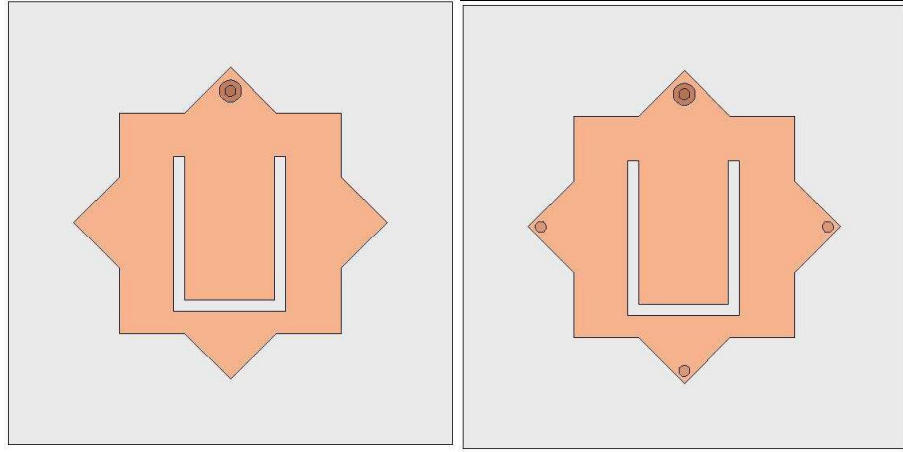
Çizelge 3.32: 1960 ve 2670 MHz için tasarlanan SYMŞA parametreleri

Malzeme	ϵ_r	h (mm)	r_{SY} (mm)	L_{gnd} (mm)	f_{rTeo} (MHz)
Duroid5880LZ	1.96	3.175	32	84.85	1960
Eccostock SH-2	1.06	25.400	32	84.85	2670

Tasarımlar üzerinde çeşitli boyutlarda ve şekillerde yarıklar açılmış olup geri dönüş kaybı değerleri -4.5 dB civarında elde edilmiştir. Değerin -10 dB’in altına inmesi için çeşitli yöntemler denenmiştir. Öncelikle yamalara kendi taban özellikleriyle aynı özelliklere sahip dielektrik malzemeden kapaklar ilave edilmiş, bu yöntemin yamaların geri dönüş kayıplarında dikkate değer değişiklik sergilemediği gözlenmiştir, sadece rezonans frekansları ilk tasarlandığı değerden ufak sapmalar göstermiştir. Sonrasında yamalar üzerine U şeklinde yarıklar açılmış ve yarık boyutları sistematik biçimde değiştirilmiştir. Bu yöntem ise ana tasarımda yüksek olan dönüş kaybı değerinde dikkate değer bir etki göstermemiş, yine rezonans frekansının ilk duruma göre biraz daha tasarım değerine yaklaşmasına yol açmıştır. Belli yarık değerlerinde ise S_{11} grafiğinde geri yansımalar ($S_{11} > 0$ dB) gözlenmiştir.

5880LZ ile yapılan tasarımda öncelikle 5880LZ ile 3.175 mm kalınlığında, SH-2 ile 25.4 mm kalınlığında ve PP-2 ile 3.175 mm kalınlığında KI gerçekleştirilmiştir. Sonrasında beslemenin olmadığı kenarlara DÇ açılmıştır. Yarık boyutları 1 mm kalınlığında seçilip yarık yan kollarının uzunlukları 8 ila 32 mm arasında 8 mm aralıklarla taranmıştır. Sonrasında aynı yan kol uzunlukları için bu sefer 2 mm kalınlığında U yarık açılması gerçekleştirilmiştir.





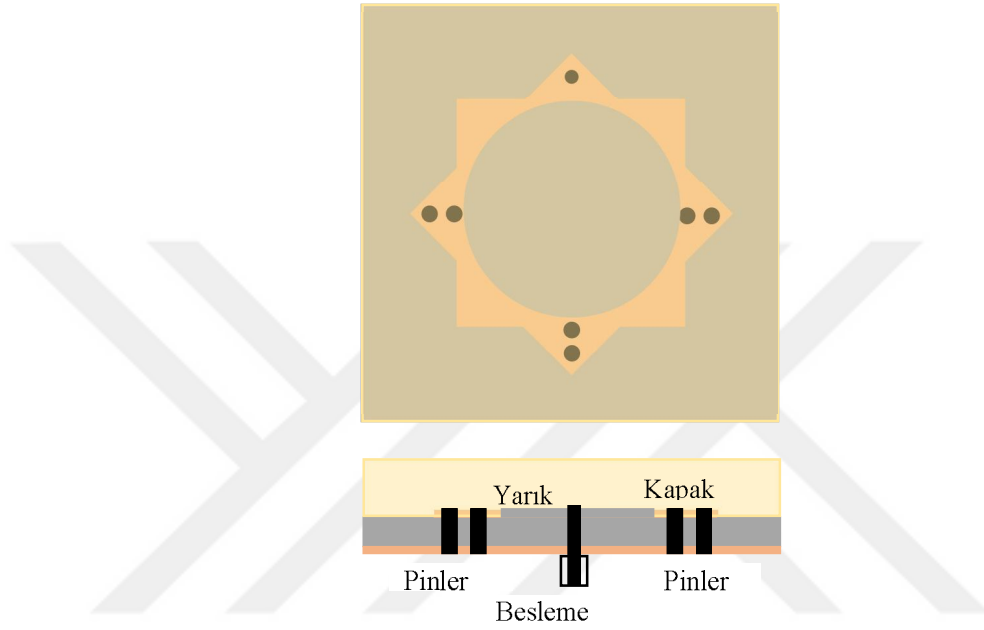
Şekil 3.49: SH-2 SYMŞA (2670 MHz) üzerinde uygulanan çeşitli BAY

SH-2 Foam ile yapılan SYMŞA tasarımına ise öncelikle SH-2 ile 25.4 mm kalınlığında Kİ, ardından Duroid 5880LZ tipinde 3.175 mm kalınlığında Kİ yapılmıştır. Sonraki adımda ise 1 ve 2 mm kalınlıklarında uzunluğu 10 ile 40 mm arasında değişen U yarıklar açılmıştır. Son olarak U yarıklı yamalar üzerine önce 1 sonra 3 olmak üzere köşe noktalarından Pİ gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.49’da uygulanan BAY’lerin tasarımları görülmektedir.

Çizelge 3.33’te görülen sonuçlar sırasıyla Eccostock SH-2 ($h=25.4\text{mm}$, $\epsilon_r=1.06$) Foam malzemesi üzerine 2670 MHz rezonans frekansı için tasarlanan SYMŞA’ye farklı BAY uygulanmasıyla elde edilmiştir. Bunlar; sırasıyla yama merkezine 24 mm yarıçaplı O-yarık açılması, bu yarıklı tasarımın besleme olmayan üç köşesine 1 mm kalınlığında 3 adet Pİ, yine aynı yamaya bu sefer önceki pinlerden 4 mm içerde 3’er tane daha pin eklenerek toplamda 6 adet Pİ ve bu 6 pinli yarıklı tasarıma SH-2 malzemesinden 25.4 mm kalınlığında (kapak₁), Duroid 5880LZ malzemesinden 3.175 mm kalınlığında (kapak₂), Eccostock PP-2 malzemesinden 3.175 mm kalınlığında (kapak₃) ve son olarak da yine PP-2 malzemesinden 6.35 mm kalınlığında (kapak₄) dielektrik kapakların tek tek ilave edilmesiyle tasarımlarına ait simülasyonlar sonuçlandırılmıştır. Örnek olarak en yüksek BG değerini veren 6 Pİ ve O-Yİ ve Kİ tasarım Şekil 3.50’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.33: SH-2 SYMŞA Tasarımlarının BAY Sonuçları

BAY	Pin sayısı	$\epsilon_{r\text{kapak}}$	h_{kapak} (mm)	$f_{i\text{Teo}}$ (MHz)	$f_{i\text{Sim}}$ (MHz)	BG _{Sim} (%)
O-yarık	-	-	-	2670	1987.49	7.05
O-yarık + pin	6	-	-	2670	2192.60	5.11
O-yarık+pin+kapak ₁	6	1.05	25.400	2670	2101.55	8.81
O-yarık+pin+kapak ₂	6	1.05	3.175	2670	2191.60	7.03
O-yarık+pin+kapak ₃	6	1.96	3.175	2670	2013.51	6.16
O-yarık+pin+kapak ₄	6	1.96	6.350	2670	2190.60	6.94



Şekil 3.50: O-yarık+pin+kapak ilaveli SYMŞA tasarımı

Bölüm 3.1.4'te 6010 ile tasarlanan 47.46 mm yarıçapa sahip SYMŞA ise $x_f=36$ mm için % 1.48'lik bir band genişliği ve 5630 MHz civarında baskın bir rezonans frekansı elde edilmiştir. Ayrıca sırasıyla % 0.43 ve 0.27'lik band genişliklerine sahip 5560 ve 5880 MHz frekanslarında iki adet rezonans frekansı daha görülmüştür. Bu antenin yama boyutları değiştirilerek uygun rezonans frekansına ulaşılması sağlanmıştır. $r_{SY}=41$ mm olarak seçildiğinde yama boyutunda bir önceki tasarıma göre % 13.6'lık bir küçülme sağlanmış ve $x_f=30$ mm için elde edilen rezonans frekansı 5833.45 MHz, band genişliği ise % 0.74 olarak bulunmuştur. Yapılan boyut küçültme çalışmasının sonuçları Çizelge 3.34'te verilmiştir.

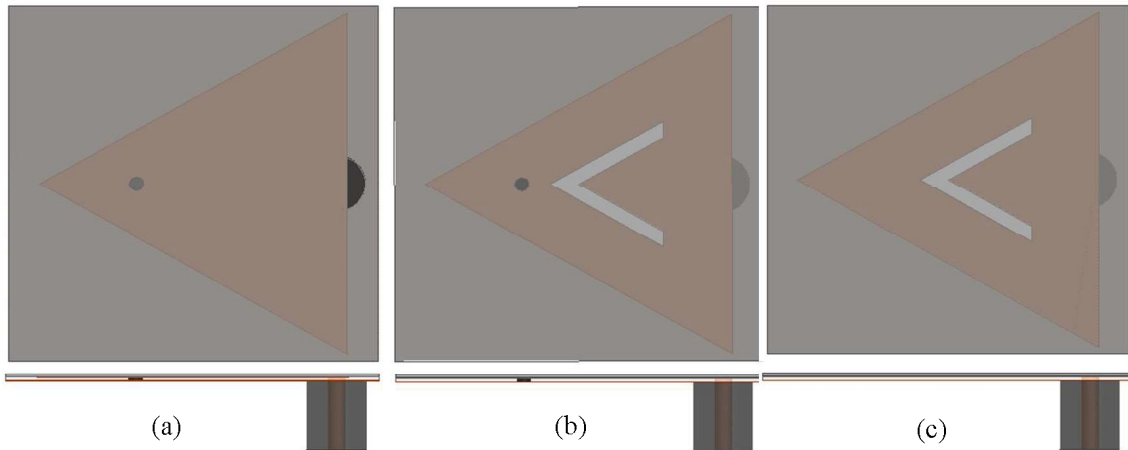
Çizelge 3.34: 6010 SYMŞA için boyut küçültme çalışması parametreleri ve sonuçları

r_{SY} (mm)	x_f (mm)	f_{rTeo} (MHz)	f_{rSim} (MHz)	BG_{Teo} (%)	BG_{Sim} (%)	Z_{Teo} (Ω)	Z_{Sim} (Ω)
48.00	48	5800	5830.44	2.5	0.34	50	92.76
47.46	36	5800	5882.77	2.5	0.27	50	73.71
45.00	45	5800	5848.50	2.5	0.33	50	73.23
43.00	10	5800	5912.71	2.5	0.25	50	68.68
41.00	30	5800	5833.45	2.5	0.74	50	76.94

Rezonans frekansının tasarım değerini yakalamasına rağmen hala istenilen band genişliği değerini yakalayamaması tasarımın iyileştirilmesi gereğini ortaya çıkarmıştır. Bu noktadan sonra yama üzerine Yİ, Kİ ve Pİ ile band genişliğini arttırma ve rezonans frekansını uygun değerde tutma yöntemleri uygulanmış olup simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

3.6.3. İnce EÜMŞA'lere çeşitli şekillerde yarıkların, dielektrik kapakların ve kısa devre pinlerinin birlikte ilavesinin etkilerinin araştırılması

Bu çalışmada üç ayrı kısım mevcuttur. Bunlardan ilki yarık ilaveli antenlere dielektrik kapak ilavesi (Yİ+Kİ), ikincisi yarık ilaveli antenlere kısa devre pini ilavesi (Yİ+Pİ) ve son olarak da hem yarık hem de pin ilaveli antenlere dielektrik kapak ilavesidir (Yİ+Pİ+Kİ). Çizelge 3.35'te üç kısmın da simülasyon sonuçları verilmiştir. Şekil 3.51'de ise yapılan tasarımlara ait şekiller verilmiştir.



Şekil 3.51: Birden fazla BAY' nin aynı anda kullanıldığı örnek anten tasarımları a) Yalnızca yarıklı anten+Kİ, b) V-yarıklı+Pİ+Kİ, c) V-yarıklı+Kİ

Çalışmada, genel olarak kapak ilaveli tasarımlarda band genişliğinde bir azalma gözlenirse de antenlerin rezonans frekansları teorik değere daha da yaklaşmıştır. Çalışmada

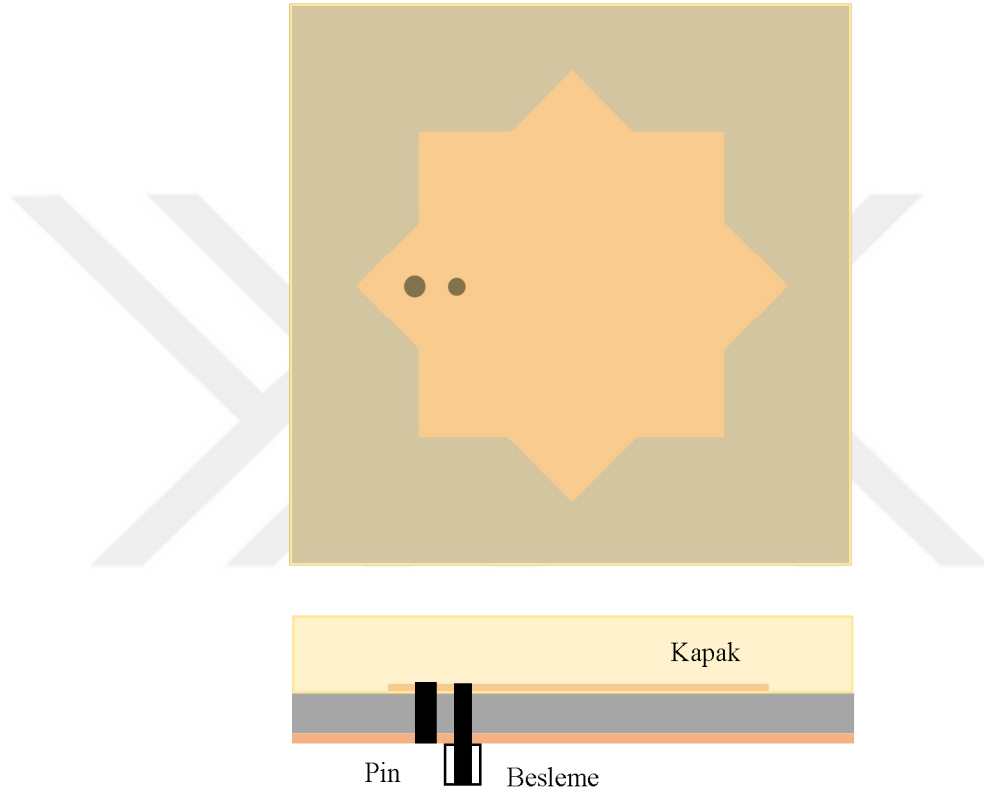
en büyük band genişliğine ve en yakın rezonans frekansına yalın anten üzerine Pİ+Kİ birlikte yapıldığı tasarımda 5170 MHz ve % 1.161 olarak ulaşılmıştır. İlave edilen kapak, anten tabanıyla aynı özelliklere sahiptir. Kİ sonrasında pin ve besleme konumunda ya da yama ve toprak düzlemi boyutlarında herhangi bir değişiklik yapılmamış olup kapak ilavesinden sonra sıralanan diğer parametreler üzerinde de değişikliklere gidilerek anten performansı iyileştirilebilir.

Çizelge 3.35: Antenlere ilave edilen dielektrik kapak parametreleri

Yarık	Kapak	p (mm)	v_d (mm)	r_s (mm)	h_{kapak} (mm)	$\epsilon_{r\text{kapak}}$	BAY	$f_{r\text{Sim}}$ (MHz)	BG_{Sim} (%)
P	5870	-	-	-	0.254	2.32	Yİ+Kİ	4680	1.282
P	5870	-	-	-	0.508	2.32	Yİ+Kİ	4910	1.018
P	FR-4	-	-	-	1.600	4.40	Yİ+Kİ	4820	1.037
P	Foam	-	-	-	5.000	1.05	Yİ+Kİ	4710	1.062
O	5870	-	4	1	0.254	2.32	Yİ+Kİ	4840	1.240
O	5870	-	11	1	0.254	2.32	Yİ+Kİ	5150	1.165
O	5870	-	5	1	0.508	2.32	Yİ+Kİ	4730	1.268
O	5870	-	12	1	0.508	2.32	Yİ+Kİ	5150	0.971
O	FR-4	-	2	1	1.600	4.40	Yİ+Kİ	4820	1.245
O	FR-4	-	13	1	1.600	4.40	Yİ+Kİ	5070	0.986
O	Foam	-	13	1	5.000	1.05	Yİ+Kİ	5280	0.947
O	Foam	-	15	1	5.000	1.05	Yİ+Kİ	5170	0.967
O	5870	-	8	1	0.254	2.32	Yİ+Kİ	5090	0.982
O	5870	-	8	1	0.508	2.32	Yİ+Kİ	4730	1.057
O	FR-4	-	8	1	1.600	4.40	Yİ+Kİ	4910	1.222
O	Foam	-	8	1	5.000	1.05	Yİ+Kİ	5180	0.965
-	5870	-1.25	-	-	0.254	2.32	Pİ+Kİ	5170	1.161
-	5870	-2.25	-	-	0.508	2.32	Pİ+Kİ	5230	1.147
-	5870	-1.25	-	-	0.508	2.32	Pİ+Kİ	5160	0.775
-	FR-4	-0.25	-	-	1.600	4.40	Pİ+Kİ	5170	0.967
-	FR-4	-2.75	-	-	1.600	4.40	Pİ+Kİ	4970	1.207
-	Foam	-2.25	-	-	5.000	1.05	Pİ+Kİ	4970	1.006
-	Foam	0.25	-	-	5.000	1.05	Pİ+Kİ	5190	0.963
-	Foam	-1.25	-	-	5.000	1.05	Pİ+Kİ	5250	0.762
P	5870	-3.25	-	-	0.254	2.32	Yİ+Pi+Kİ	5190	0.385
P	5870	-1.25	-	-	0.254	2.32	Yİ+Pi+Kİ	4940	1.012
P	5870	-2.25	-	-	0.508	2.32	Yİ+Pi+Kİ	5080	0.787
P	5870	-0.75	-	-	0.508	2.32	Yİ+Pi+Kİ	4700	1.277
P	FR-4	-0.25	-	-	1.600	4.40	Yİ+Pi+Kİ	4710	1.062
P	Foam	-1.75	-	-	5.000	1.05	Yİ+Pi+Kİ	5170	0.967
P	Foam	0.25	-	-	5.000	1.05	Yİ+Pi+Kİ	4960	0.806
O	Foam	0.25	8	1	5.000	1.05	Yİ+Pi+Kİ	5200	0.962
O	Foam	0.75	8	1	5.000	1.05	Yİ+Pi+Kİ	4750	1.263
U	Foam	-3.75	-	-	5.000	1.05	Yİ+Pi+Kİ	4750	0.421
U	Foam	-2.25	-	-	5.000	1.05	Yİ+Pi+Kİ	4580	0.873
V	5870	-1.75	-	-	0.254	2.32	Yİ+Pi+Kİ	5050	1.188
V	5870	-1.25	-	-	0.254	2.32	Yİ+Pi+Kİ	4710	1.274
V	5870	-1.75	-	-	0.508	2.32	Yİ+Pi+Kİ	4770	1.258
V	5870	-0.75	-	-	0.508	2.32	Yİ+Pi+Kİ	4910	0.815
V	FR-4	-1.75	-	-	1.600	4.40	Yİ+Pi+Kİ	4690	1.066
V	Foam	-3.25	-	-	5.000	1.05	Yİ+Pi+Kİ	5260	0.760
V	Foam	-2.25	-	-	5.000	1.05	Yİ+Pi+Kİ	5190	0.963
V	Foam	-1.75	-	-	5.000	1.05	Yİ+Pi+Kİ	5150	0.971

3.6.4. Kısa devre edilmiş SYMŞA üzerine dielektrik kapak ilavesinin etkilerinin araştırılması

Çalışmanın bu kısmında, Pİ SYMŞA üzerine Duroid 5880LZ malzemesinden bir dielektrik kapak eklenerek anten performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çizelge 3.36’da elde edilen simülasyon ve ölçüm sonuçları görülmektedir. Şekil 3.52’de tasarlanan Kİ ve Pİ anten görülmektedir.



Şekil 3.52: Pin ve Kapak ilaveli SYMŞA Tasarımı

Çizelge 3.36: Pin ilaveli SYMŞA' e dielektrik kapak ilavesinin sonuçları

$2 \times r_{SY}$ (mm)	L_{gnd} (mm)	h_{kapak} (mm)	$\epsilon_{r\text{kapak}}$	x_f (mm)	P (mm)	f_{iTeo} (MHz)	f_{iSim} (MHz)	$f_{iÖlç}$ (MHz)	BG_{Sim} (%)	$BG_{Ölç}$ (%)
45.88	68.82	-	-	6.94	-	2400	2430	2687	3.704	2.866
50.91	53.00	-	-	6.94	-	2400	2408	-	-	-
50.91	53.00	-	-	6.94	4.55	2400	2400	2454	2.917	3.390
50.91	53.00	2.54	1.96	6.94	4.55	2400	2360	2351	-	3.275

5880LZ ile tasarlanan SYMŞA'ya Pİ ve Kİ bir arada gerçekleştirildiğinde, yalın antene göre rezonans frekansında azalma gözlenirken, band genişliğinde ise simülasyonda bir değer elde edilememiştir; fakat ölçümde belirgin bir artış yakalanmıştır. Pİ tasarım için Kİ'ni tek başına değerlendirecek olursak, eklenen kapak rezonans frekansında ve ölçülen band genişliğinde az da olsa bir azalmaya sebep olmuştur. Farklı kalınlık ve malzemelerden yapılmış Kİ ile ya da eklenen pin sayısı ve konumunun değiştirilmesiyle frekans ve band genişliği değerleri değiştirilebilir. Ayrıca, önceki çalışmalarda olduğu gibi, kapak ilavesinden sonra pin konumunda ya da diğer anten parametrelerinde herhangi bir değişikliğe gidilmemiştir. Kİ SYMŞA üzerinde besleme noktası, pin konumu ve sayısı, Yİ, yama boyutları ve toprak düzlemi boyutlarında bir iyileştirme çalışması yapılabileceği de öngörülmektedir.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Tezde yapılan tüm simülasyon ve ölçümler neticesinde pekçok anten şekli için hangi BAY'nin daha etkin olacağı konusunda çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. BAY'yi seçilirken, tasarlanan antenin frekansı, antenle elde edilmek istenilen band genişliği, antenin tasarlanacağı dielektrik malzemenin özellikleri, antende kullanılacak besleme hattı şekli ve antenin hangi geometrik yama ve toprak düzlemi şekline sahip olacağı soruları yanıtlanması gerekmektedir. Sıralanan tüm bu parametrelerin farklı BAY'yi üzerinde farklı etkilere yol açtığı görülmüştür. Örneğin, $r/h > 1$ şartını sağlayan bir DAMŞA tasarımı için Pİ yerine Yİ kullanılması durumunda antenin band genişliğinde daha büyük bir artış elde edilebileceği ortaya konulmuştur. Yine antenin tasarlandığı dielektrik malzemenin h değeri arttıkça Pİ ve Yİ yöntemlerinin etkileri farklılık sergilemektedir. Anten bant genişliğinin artırılmasına yönelik; yama şekli, dielektrik taban malzemesi, toprak düzlemi boyutu, besleme hattı, diğer yöntemler, birden fazla yöntemin birlikte kullanılması gibi etkenler bu tez çalışması kapsamında incelenmiştir. İncelemeler literatüre dayalı yaygın yama şekillerinin tasarımları yanında özgün tasarımlarla da sürdürülmüştür. Tüm çalışmalarda 450 kadar simülasyon, 50 kadar da simülasyonlar arasından seçilen tasarımların uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulaması yapılan antenlerin ölçümleri alınmış ve simülasyonları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Tezde, farklı yama şekillerinin anten performansı üzerindeki etkilerinin araştırılması sonucunda, sadece yama şeklinin bile anten performansı üzerinde ciddi etkilere sahip olduğu tesbit edilmiştir. Literatürde yaygın olan kare, daire ve üçgen yama şekillerinin yanısıra yeni bir yama şekli olarak önerilen SYMŞA tasarımları da yukarıda sıralanan şekillerdeki yama tasarımlarıyla karşılaştırılmıştır. Foam malzeme üzerine yapılan SYMŞA tasarımlarının çoğunda 2400, 2370 ve 2470 MHz değerleriyle beraber rezonans frekansı teorik değere 1920, 2090 ve 2210 MHz'lik değerler için DAMŞA tasarımlarına göre daha çok yaklaşırken, band genişlikleri ise DAMŞA'lerinden daha büyük değerlere ulaşmıştır. Simülasyonlarda en iyi performansı DAMŞA gösterse de, ölçümlerde DAMŞA ve SYMŞA tasarımları birbirine yakın ve iyi performanslar sergilemiştir. Bu sonuçlar tek bir malzeme ve tek bir rezonans frekansı için elde edildiğinden ötürü çalışmanın farklı malzeme ve frekanslar için genişletilmesi

amaçlanmıştır. Yine kullanılan yamanın boyutu arttıkça teorik frekansla simülasyon frekansı değerlerinin birbirlerine yaklaştıkları, büyük yama boyutu değerleri için 2. ve 3. frekanslarda rezonansın olduğu; fakat band genişliklerinde bariz bir azalma olduğu söylenebilir. Tek bir malzeme değeriyle tasarım yapılmasından dolayı bu sonuçlar da yeterli değildir ve çalışmanın geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Farklı yama şekilli (daire, eşkenar üçgen, kare ve SY şekilli yamalar) antenlerin band genişliğine etkisini incelemek üzere Duroid 6010 ile yapılan çalışmalarda, antenler ayrı ayrı tasarlanmış ve performansları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyonlar sonucunda tüm yama şekillerinde birden fazla rezonans frekansının ortaya çıktığı ve en büyük band genişliği değerine SYMŞA ile ulaşıldığı görülmüştür. %1.48'lik bu değer her ne kadar antenin tasarlandığı ISM 5800 MHz'in ihtiyacı olan %2.5'lik değeri karşılamasa da diğer anten şekilleriyle karşılaştırıldığında çok daha yüksek bir değerdir. Bu tasarım üzerine çeşitli BAY'leri ilave edilerek anten performansı iyileştirilebilir. Elde edilen sonuçlardan, SYMŞA için r_{eff} değerinin kullanımının tam anlamıyla uygun olmadığı, anten performansının sadece yama şekline bağlı olmadığı, bunun yanı sıra kullanılan malzemeye ve çalışma frekansına bağlı olduğu anlaşılmıştır. Çalışmanın devamı niteliğinde, tez sonrasında SYMŞA için r_{SY} değerini verecek bir formül elde edilmesi planlanmaktadır. Bu amaçla tez çalışması boyunca tasarlanan ve uygulaması da gerçekleştirilen anten parametrelerinden faydalanılacaktır.

Toprak düzlemi boyutlarının anten band genişliği üzerindeki etkileri incelenirken, DMŞA'nın toprak düzlemi boyutları yama boyutlarından uzaklaştıkça antenin tasarlandığı rezonans frekansı değerlerine bir yaklaşım olduğu tesbit edilmiştir. Ayrıca antenin kazancı da düşük frekanslı tasarımlarda artarken, yüksek frekanslı tasarımlarda belli bir toprak düzlemi değerinden sonra azalmaya başlamaktadır. Toprak boyutları arttıkça band genişlikleri kazançla ters orantılı olarak, azalmaktadır ve azalma yüksek frekanslarda daha büyük olmaktadır. Bunların yanında, yama ve toprak düzlemi boyutlarının küçük olduğu antenlerde, ışıma desenlerinin çok etkilenmediği anlaşılmıştır. Aynı zamanda, en küçük yama-en büyük toprak düzlemi boyutuyla teorik rezonans frekansının yakalandığı; fakat en büyük band genişliği değerinin en büyük yama-en küçük toprak düzlemi boyutlarıyla elde edildiği söylenebilir. Bu durumda elde edilen rezonans frekansı ise teorik frekanstan oldukça farklı olup, frekansın istenilen değere çekilmesi için farklı yöntemler uygulanması gerekmektedir.

Taban malzemesinin küçük dielektrik sabitli ve kalın olması, band genişliğinin artması anlamına gelmektedir. Foam, Teflon ve FR-4 taban malzemeleri kullanılarak ve

bunların kalınlıklarının (1.58, 2.54 ve 3.175 mm) ve dielektrik sabitlerinin (1.05, 2.10, 4.20) değiştirilerek, band genişliği etkisini incelemek üzere yapılan çalışmalarda, antenler ayrı ayrı tasarlanmış ve performansları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, dielektrik taban sabiti ya da taban kalınlığı ile rezonans frekansı ve empedans band genişliği arasında lineer bir ilişki kurulamamıştır. Bu sebeple çalışmada hedeflenen SY'nın tasarım formülünün elde edilmesi yönünde anlamlı bir değişim elde edilememiştir. Bu çalışmanın sonuçları Genetik Algoritma vb. farklı optimizasyon yöntemleri kullanılarak değerlendirilebilir.

Yine, Duroid 5880, 5880LZ ve 6010 malzemelerinin kullanıldığı SYMŞA tasarımı çalışmasında, en büyük band genişlikleri 6010 ile elde edilirken yine koaksiyel besleme hattının empedansına en yakın anten giriş empedansı değeri bu malzeme ile 43.68 Ohm olarak yapılan simülasyonlarda elde edilmiştir. Rezonans frekansı değerleri de birden fazla tasarımda yakalanmış olup, uygulamanın band genişliği gereksinimine göre uygun olan malzeme, malzeme kalınlığı ve yama boyutuna sahip anten bu sonuçlar değerlendirilerek seçilebilir.

Farklı besleme tiplerinin anten performansı üzerindeki etkilerinin araştırıldığı, koaksiyel hat, mikroşerit hat ve mesafe kuplajlı hat beslemeli yamalar ile yapılan çalışmalarda, en iyi sonuçlara koaksiyel besleme hattı ile 2394 MHz ve % 4.511 olarak ulaşılmıştır. MŞH besleme içinse hiçbir denemede -10dB'in altında bir dönüş kaybı değeri yakalanamamıştır. Çizelgede sadece en yakın rezonans frekanslarının elde edildiği tasarımlar verilmiştir. GMŞH besleme tipi için sadece gömme miktarı değiştirilerek aynı frekans değeri korunarak band genişliğinde 1.5 kat artış elde edilebilmiştir. KH beslemeli başka bir tasarım için % 5.976'lık band genişliği elde edilse de bu durumdaki rezonans frekansı 2008 MHz'te kaldığı için bu tasarım en iyi tasarım olarak kabul edilememiştir. Anten performansı değerlendirilirken band genişliğinin yanında rezonans frekansı da dikkate alınmaktadır. Farklı BAY'nin tasarımlar üzerine uygulanmasıyla ya da aynı anda birden fazla anten parametresinin iyileştirilmesiyle daha büyük band genişliği değerleri yakalanabilir.

DAMŞA'ler üzerine farklı besleme tiplerinin uygulanması sonucunda, en büyük band genişliği ve en yakın rezonans frekansı değeri koaksiyel beslemeli tasarımdan elde edilmiştir. Performans olarak MŞH tasarımı ikinci sırayı almaktadır. GMŞH tasarımında ise farklı hat parametreleri denenmesine rağmen dönüş kaybı grafiğinde -10 dB'in altına inilememiştir. Sonuçları farklı taban malzemesi ve yama tipleri için değişebileceği öngörülmektedir.

Yama üzerine çeşitli şekillerde yarıkların ilave edilmesiyle, yarık parametrelerine bağlı olarak antenin rezonans frekansı ve band genişliği ayarlanabilmektedir. Foam malzeme üzerine tasarlanan V-yarık ilaveli SYMŞA' lerde simülasyon ve ölçümlerden alınan frekans değerleri birbirine oldukça yakındır. Band genişlikleri ise ölçümlerde simülasyonlara göre 5'te 1 oranında azalmıştır. Bunun sebebi ise uygulamalar gerçekleştirilirken kullanılan SMA konnektörlerin istenilen ölçülerle üretilmemiş ve tasarlanan antenler için modifiye edilerek kullanılmış olmasıdır. Bu durumda empedans uyumsuzluklarının oluşması oldukça olası olduğundan ölçüm sonuçları çok güvenilir değildir. FR-4 üzerine tasarlanan EÜMŞA' ler üzerine değişik şekillerde yarıklar ilave edilmiştir. En iyi sonuçlara P-yarıklı tasarımlarda % 2.5'lik band genişliği ile ulaşılmıştır. Yarıklar birbirine yaklaştıkça band genişliğinde artış gözlenmiştir.

İnce 5870 malzemesine tasarlanan EÜMŞA için ise, yarıkların band genişliğini yarık şekillerine bağlı olarak etkilediği söylenebilir. Uygulamalarda en büyük band genişliği değeri O-yarıklı tasarımda elde edilirken, P-yarık ilavesinde yarıklar arası mesafenin artması, akım yolunu dolaylı yoldan artıracığından aynı boyuttaki yarıkları birbirinden daha uzakta konumlandırılarak band genişliğinin artması basitçe sağlanabilir. Yani, yarık boyutları yanında yarıkların konumları da band genişliği üzerinde etkiye sahiptir. O-yarıklı tasarımlarda büyük yarıçapa sahip yarıklarda frekans istenilen teorik değerlere daha fazla yaklaşırken, band genişlikleri de diğer yarık şekillerine göre artış sergilemiştir. Yarık çevresinin uzunluğu bakımından U-yarığın P-yarığa göre avantaj sağlayacağı açıktır. Simülasyon ve ölçümler de beklenen sonuçları vermiştir.

Yama üzerine farklı konum ve sayıda kısa devre pini ilave edilmesi incelenirken, Pİ DAMŞA tasarımı için pin sayısının frekansı çok etkilemediği halde band genişliği üzerinde büyük etkiler yarattığı ve pin konumu için, merkeze ne kadar yakın seçilirse frekansın o kadar teorik değere yaklaşacağı, ayrıca pin konumuyla frekans ve band genişliği arasında, konum ve sayıdan bağımsız, ortak bir ilişki olduğu belirlenmiştir. p konumunun merkeze yakın seçilmesiyle yamanın tasarlandığı frekansa yaklaşıırken band genişliğinin de arttırılabileceği sonucuna varılmıştır. p pin konumunun yama merkezi civarında seçilmesi halinde, yama empedansını etkilediği, rezonans frekanslarının tasarlanan frekans değerlerine çok yakın elde edildiği, yine empedans uyumunun etkin bir şekilde sağlandığı ve yama anten band genişliğinin arttırıldığı görülebilir. Yapılan denemeler sonucunda, her üç h kalınlığındaki mikroşerit anten için de, iki pinin karşılıklı yerleştirilmesi halinde, denenen diğer pin sayı ve konum kombinasyonları ile karşılaştırıldığında, rezonans frekansı ve band genişliğinde anlamlı

bir değişim elde edilememiştir. Bulunan en iyi kombinasyonlar için, rezonans frekansları sabit tutularak, antenlerin band genişlikleri sırasıyla % 1.440, % 2.780 ve % 6.024 oranlarında arttırılmıştır. Sonuçlar literatürdeki ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, band genişliği değerleri için, ciddi iyileştirmeler elde edilmiştir. Her üç antenin de, tüm pin kombinasyonları için, pin konumuna bağlı rezonans frekansı değişimlerinin benzer olduğu görülmüştür. En kalın dielektrik tabana sahip yamada band genişliğinin en büyük oransal artışı elde edilmiştir. Bununla birlikte f_r/h oranıyla ters orantılı olarak, band genişliği artış oranlarının arttığı söylenebilir. Böylelikle, pin ilavesi tekniğinin kalın dielektrik tabanlı yama antenlerde daha etkin bir teknik olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

6010 üzerine tasarlanan SYMŞA' ler için uygun bir p konumu ile antenin rezonans frekansı istenilen değere yaklaştırılabildiği gibi aynı zamanda daha büyük bir band genişliği de elde edilebilmektedir. Birden fazla pin kullanımının etkileri sonraki çalışmalarda incelenebilir.

Dielektrik kapak ile tasarlanan mikroşerit antenlerde, ince 5870 EÜMŞA tasarımlarında, farklı kapaklar için rezonans frekansları teorik ve simülasyonda elde edilen değerlerden oldukça yukarıda ölçülmüş, buna karşılık band genişliği değerlerinde simülasyonlara göre bir artış gözlenmiştir. Foam Kİ rezonans frekansında belli bir etki yaratmamış; fakat band genişliklerini oldukça azaltmıştır. Ayrıca yalın tasarımda ortaya çıkan 2. ve 3. rezonans frekansları da kaybolmuştur.

2400 MHz rezonans frekansı için 10 mm kalınlığında 1 dielektrik sabitli Hava taban kullanılarak tasarlanan SYMŞA üzerine 5 ve 10 mm kalınlıklarda 1.05 dielektrik sabitli Foam Kİ yapıldığında, kalınlıklar 1 ila 10 mm arasında 1'er mm aralıklarla değiştirilerek kalınlığın etkileri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda bahsi geçen tasarım için 6 mm kalınlığındaki Hava malzemesinden kapakta en yüksek band genişliğinin elde edildiği, en yakın rezonans frekansının ise kapaksız tasarımda yakalandığı görülmüştür; fakat kapaklı tasarımlardaki frekanslar da kabul edilebilecek kadar yakındır. Bir sonraki adımda farklı malzeme ve rezonans frekanslarında çeşitli kapaklar denenmiş olup kapak kalınlıkları 1 ila 10 mm arasında değiştirilerek elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Birden fazla BAY'nin bir arada kullanıldığı çalışmalarda, genellikle tek bir BAY'nin istenilen sonuçları vermediği tasarımlar denenmiştir. Örneğin, ince Duroid 5870 ile tasarlanan EÜMŞA'lere yalnızca yarık ilavesi, band genişliğini arttırmak yerine az da olsa düşürmüş, antenlerin rezonans frekansları ise çok fazla etkilenmemiştir. Bu

sebepten ötürü yarık ilaveli yama antenler üzerine Kİ ve Pİ, tek tek ve birlikte ilave edilerek sonuçlar bir kez daha incelenmiştir. Çalışmada, genel olarak kapak ilaveli tasarımlarda band genişliğinde bir azalma gözlenirse de antenlerin rezonans frekansları teorik değere daha da yaklaşmıştır. Çalışmada en büyük band genişliğine ve en yakın rezonans frekansına yalın anten üzerine Pİ+Kİ birlikte yapıldığı tasarımda 5170 MHz ve % 1.161 olarak ulaşılmıştır.

FR-4 üzerinde yapılan EÜMŞA çalışmasında, Kİ ile yarıklı duruma göre rezonans frekansları bir miktar azalmıştır. Band genişlikleri ise genel olarak artış göstermektedir, en büyük band genişliği artışı ise %2.89 simülasyon ve % 3.804 ölçüm sonucu ile P-yarıklı tasarıma Kİ tasarımda görülmüştür.

5880LZ ile tasarlanan SYMŞA'ya Pİ ve Kİ bir arada gerçekleştirildiğinde, yalın antene göre rezonans frekansında azalma gözlenirken, band genişliğinde ise simülasyonda bir değer elde edilememiştir, fakat ölçümde % 3.275' lik bir oran ile belirgin bir artış yakalanmıştır. Pİ tasarım için Kİ'ni tek başına değerlendirecek olursak, eklenen kapak rezonans frekansında ve ölçülen band genişliğinde az da olsa bir azalmaya sebep olmuştur. Farklı kalınlık ve malzemelerden yapılmış Kİ ile ya da eklenen pin sayısı ve konumunun değiştirilmesiyle frekans ve band genişliği değerleri değiştirilebilir. Ayrıca, önceki çalışmalarda olduğu gibi, kapak ilavesinden sonra pin konumunda ya da diğer anten parametrelerinde herhangi bir değişikliğe gidilmemiştir. Kİ SYMŞA üzerinde besleme noktası, pin konumu ve sayısı, Yİ, yama boyutları ve toprak düzlemi boyutlarında bir iyileştirme çalışması yapılabileceği de öngörülmektedir.

Rogers Duroid 5880 LZ ($f_{rTeo}=1960$ MHz) ve Eccostock SH-2 Foam ($f_{rTeo}=2670$ MHz) malzemeleri üzerine yapılan SYMŞA tasarımlarında, öncelikle yamalara kendi taban özellikleriyle aynı özelliklere sahip dielektrik malzemedeki kapaklar ilave edilmiş, bu yöntemin yamaların geri dönüş kayıplarında dikkate değer değişiklik sergilemediği gözlenmiştir, sadece rezonans frekansları ilk tasarlandığı değerden ufak sapmalar göstermiştir. Sonrasında yamalar üzerine U şeklinde yarıklar açılmış ve yarık boyutları sistematik biçimde değiştirilmiştir. Bu yöntem ise ana tasarımda yüksek olan dönüş kaybı değerinde dikkate değer bir etki göstermemiş, yine rezonans frekansının ilk duruma göre biraz daha tasarım değerine yaklaşmasına yol açmıştır. Belli yarık değerlerinde ise S_{11} grafiğinde geri yansımalar ($S_{11} > 0$ dB) gözlenmiştir.

Yine, bazı anten tasarımlarının üretimlerinde yaşanabilecek zorluklar ve oluşabilecek hatalar sebebiyle, simülasyon sonuçları çok çok iyi olmasına rağmen, ölçümlerde daha kötü sonuçların alınması da anten tasarımcılarına yol gösterecek bir

sonuç olarak nitelendirilebilir. Antenin üretimi esnasında yaşanabilecek hatalı boyutlandırma ve empedans uyumsuzlukları performansı ciddi ölçüde etkilemektedir. Bu bakımdan, sadece etkili bir BAY'ı değil, aynı zamanda üretim bakımından da basitlik sağlayacak ve antenin en doğru şekilde çalışabilecek hale getirecek bir yöntem seçilmesi önem kazanmıştır. Tez çalışması esnasında, bazı BAY'nin band genişliği yanında rezonans frekansı ve ışınma deseni üzerinde de ciddi etkileri olduğu, hatta band genişliğini arttırmasına rağmen antenin rezonans frekansında büyük kaymalara yol açtığı ve anteni tasarlandığı frekans için kullanılamaz hale getirdiği gözlenmiştir. Bu nedenle, bir BAY'nin etkileri araştırılırken sadece band genişliği değil, diğer anten parametrelerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Sonuç olarak, tez kapsamında yapılan tüm çalışmaların, tek bir BAY ile en iyi sonuçlar alınabilmesi için, antenin diğer parametrelerinin de aynı zamanda iyileştirilmesi gerektiği görülmüştür. Yalın anten parametreleri ile devam edilen BAY ilaveli tasarımlar frekans değerinde kaymalara ya da band genişliği değerinde azalmalara yol açabilmektedir. Yine aynı sebepten dolayı, çoğu durumda, yalın bir anten üzerine BAY'lerinin sonradan ilave edilmesinden ziyade, antenin ilk tasarımı gerçekleştirilirken bu yöntemlerin göz önünde bulundurulması tasarımına başlanması daha büyük avantaj sağlayacaktır. Kullanılacak BAY'nin belirlenerek diğer anten parametrelerinin de en iyi sonucu verecek şekilde ayarlanmasıyla devam edilmesi tasarımı hızlandırır. Simülasyonlar sonucunda en iyi parametrelerin belirlenmesi ve ardından bu parametrelerle anten uygulamalarının gerçekleştirilmesi, tasarlanan anten için en doğru sonuçların alınmasındaki yegâne yöntemdir. Tasarımın en başında, kullanılacak BAY'nin belirlenmesi de iyileştirmelere gerek duyulan olumsuz sonuçlardan ötürü yaşanacak zaman kaybının önüne geçmektedir.

4.2. Öneriler

SYMŞA için anten parametrelerini belirlemek adına tasarım formüllerinin bulunması hedeflenmektedir. Bu sayede basit yapısı ve kolay üretimi ile rahatlıkla genişband uygulamalarında yer alacak olan bu yeni yama anten şekli, kendine has formüller yardımıyla tasarlandığı frekansta yüksek band genişliğiyle beraber çalışabilecek hale getirilecektir. Bu amaçla tez çalışması kapsamında, simülasyonu ve ölçümü tamamlanan SYMŞA'lerin sonuçları değerlendirilerek uygun bir deneysel ifade elde edilmesi yönünde çalışılacaktır. Bu ifadeler hem yama boyutlarını hem de besleme

noktasını belirleyen, basit ve yüksek doğrulukta ifadeler olmalıdır. Sonraki aşamalar SYMŞA'ya has band genişliğini artırma yöntemleri ortaya konabileceği gibi bu tip anten için en uygun yöntemler de rahatlıkla belirlenebilecektir. Böylelikle yalın halde tasarlanan yama anten, yapı itibarıyla karmaşıklırsa da, performansında çok daha büyük iyileştirmeler elde edilmesi mümkün olacaktır. Yukarıda bahsi geçen tüm bu sebeplerden ötürü bu yeni yama anten şekli de kablosuz haberleşme sistemlerinde kendine rahatlıkla kullanım alanı bulacaktır.

İlerki çalışmalarda, SYMŞA için frekans ve malzeme parametrelerine bağlı bir tasarım ifadesi ve yıldız boyutunu doğrudan bulmaya yarayan bir formül bulunması amaçlanmaktadır.

İleride yapılma gerekliliği olan bir diğer çalışma da anten parametrelerinin birbiriyle olan ilişkilerinin belirlenmesidir. HFSS *Parametrics* özelliği kullanılarak aynı anda bir parametre üzerinde değişikliği gidilerek sonuçlar alınmaktadır; fakat değişen parametre diğer anten parametreleri üzerinde nasıl bir etkiye sahiptir bu durum incelenmemektedir. Bu sebepten ötürü, örneğin besleme noktası-yama boyutu ya da besleme noktası-toprak düzlemi boyutu vb. bir ilişki belirlenebilirse değiştirilen parametreye göre diğer parametreler de aynı anda değiştirilerek sonuçlar daha doğru şekilde elde edilebilir. Çalışmalarda yarık ilavesi yapılmış tasarımlara doğrudan kapak ilavesi gerçekleştirilmiş ve kapak ilavesi sonrası yarık parametreleri de dahil olmak üzere hiçbir anten parametresinde değişikliğe gidilmemiştir. Birden çok BAY'nin birlikte kullanıldığı tasarımlarda tüm parametrelerin aynı anda iyileştirilmesi adına bir yöntemin bulunması bu bakımdan faydalı olacaktır. Bu amaçla Yapay Zeka Teknikleri kullanılabileceği gibi, yöntemlerde bahsi geçen parametrelerin birbirleriyle olan ilişkileri belirlenebilir ve buna uygun olarak belirlenecek adımlar kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abbaspour M, Hassani HR, 2008. Wideband star-shaped microstrip patch antenna. *Progress In Electromagnetics Research Letters*, 1, 61-8.
- Abdelaziz AA, 2008. A compact planar quad-frequency broad-band rectangular microstrip patch antenna. *Microw Opt Techn Let*, 50, 1, 22-4.
- AbuTarboush HF, Nilavalan R, Budimir D, Al-Raweshidy HS, 2010. Double U-Slots Patch Antenna for Tri-Band Wireless Systems. *International Journal of Rf and Microwave Computer-Aided Engineering*, 20, 3, 279-85.
- Abutarboush HF, Nilavalan R, Cheung SW, Nasr KM, Peter T, Budimir D, Al-Raweshidy H, 2012. A reconfigurable wideband and multiband antenna using dual-patch elements for compact wireless devices. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 60, 1, 36-43.
- Adnet N, Bruant I, Pablo F, Proslie L, 2014. The FEM-BIM approach using a mixed hexahedral finite element to model the electromagnetic and mechanical behavior of radiative microstrip antennas. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 38, 17-30.
- Aijaz Z, Shrivastava SC, 2011. Coupling Effects of Aperture Coupled Microstrip Antenna. *Internal Journal of Engineering Trends and Technology*, July-August, 2011.
- Akbari M, Zarbakhsh S, Movahedinia R, Sebak A, 2015. Ultra-Wideband Antenna with Variable Notch Band Function by Defected Ground Structure and Shorting Pin. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 30, 4, 463-8.
- Ali M, Sayem A, Kunda VK, 2007. A reconfigurable stacked microstrip patch antenna for satellite and terrestrial links. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 56, 2, 426-35.
- An H, Nauwelaers BK, Van de Capelle AR, 1993. Broadband circularly polarised microstrip antenna in two-sided structure with coaxial probe coupling. *Electronics Letters*, 29, 3, 310-2.
- An H, Nauwelaers BK, Van de Capelle AR, 1994. Broadband microstrip antenna design with the simplified real frequency technique. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 42, 2, 129-36.
- Angiulli G, Cacciola M, Versaci M, 2007. Microwave devices and antennas modelling by support vector regression machines. *Ieee Transactions on Magnetics*, 43, 4, 1589-92.
- Anguera J, Andujar A, Puente C, 2011. A Mechanism to Electrically Enlarge the Ground Plane of Handset Antennas: A Bandwidth Enhancement Technique. *Microw Opt Techn Let*, 53, 7, 1512-7.
- Ansari JA, Ram RB, 2008. Analysis of broad band U-slot microstrip patch antenna. *Microw Opt Techn Let*, 50, 4, 1069-73.
- Ansari JA, Singh P, Dubey SK, Khan RU, Vishvakarma BR, 2009. Analysis of Stacked V-Slot Loaded Patch Antenna for Wideband Application. *Microw Opt Techn Let*, 51, 2, 324-30.
- Arslan H, Di Benedetto M, 2006. Introduction to Ultra Wideband. In: *Ultra Wideband Wireless Communication*. Eds: Arslan H, Chen ZN, Di Benedetto M. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. , p. 1-3.
- Assila L, Ribero JM, Staraj R, Dubard JL, 2009. Low-Profile Gsm-Dcs-Pcs-Umts Wire Patch Antenna on Small Ground Plane. *Microw Opt Techn Let*, 51, 5, 1247-50.

- Attia H, Yousefi L, Ramahi O. High gain microstrip antennas loaded with high characteristic impedance superstrates. *Antennas and Propagation (APSURSI), 2011 IEEE International Symposium on*, 1258-61.
- Aydin E, Can S, 2012. Operating frequency calculation of a shorting pin-loaded ETMA. *Microw Opt Techn Let*, 54, 6, 1432-5.
- Bahl I, Bhartia P, Garg R, Ittipiboon A, 2001. *Microstrip antenna design handbook*. Artech House.
- Bahl I, J., Bhartia P, 1980. *Microstrip antennas*, Artech house, p.
- Bahl IJ, Bhartia P, Stuchly SS, 1982. Design of microstrip antennas covered with a dielectric layer. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 30, 2, 314-8.
- Bakshi R, 2010. *Investigations on Frequency Agile Behavior of Narrowband and Wideband Microstrip Patch Antennas by Employing Variable Height Ground Planes*, Master, San Diego State University.
- Balanis CA, 1982. *Antenna theory: analysis and design*.
- Balanis CA, 1997. *Antenna theory and design*.
- Baliarda CP, Romeu J, Cardama A, 2000. The Koch monopole: A small fractal antenna. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 48, 11, 1773-81.
- Bao XL, Ammann MJ, 2006. Compact annular-ring embedded circular patch antenna with cross-slot ground plane for circular polarisation. *Electronics Letters*, 42, 4, 192-3.
- Baudha S, Kumar VD, 2014. Miniaturized Dual Broadband Printed Slot Antenna with Parasitic Slot and Patch. *Microw Opt Techn Let*, 56, 10, 2260-5.
- Bhalla R, Shafai L, 2002. Resonance behavior of single U-slot microstrip patch antenna. *Microw Opt Techn Let*, 32, 5, 333-5.
- Bi DH, Yu ZY, 2008. Study of Dual Stopbands Uwb Antenna with U-Slot and V-Slot Dgs. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 22, 17-18, 2335-46.
- Biswas M, Banik S, 2012. Characteristics of circular patch antenna with and without air gaps. *Microw Opt Techn Let*, 54, 7, 1692-9.
- Biswas M, Mandal A, 2015. Experimental and theoretical investigation to predict the effect of superstrate on the impedance, bandwidth, and gain characteristics for a rectangular patch antenna. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 29, 16, 2093-109.
- Büyükcanga M, (2008). Eight Corner Star Themes in Turkish Architecture, *Türk Mimarisinde Sekiz Köşeli Yıldız Motifleri*. 6th of International Turkish World Congress of Social Sciences. Calalabat, Kyrgyzstan: 1230– 4.
- Can S, Kapusuz KY, Aydin E, 2013. Neural Network Based Resonant Frequency Solver for Rectangular-Shaped Shorting Pin-Loaded Antennas. *Microw Opt Techn Let*, 55, 12, 3025-8.
- Can S, Kapusuz KY, Aydin E, 2014. Calculation of Resonant Frequencies of a Shorting Pin-Loaded Etma with Ann. *Microw Opt Techn Let*, 56, 3, 660-3.
- Carroll JM, Tilley KA, Kanamaluru S, Chang K, 1994. Slotcoupling of coplanar waveguide to patch antennas suitable for MMIC applications. *Electronics Letters*, 30, 15, 1195-6.
- Carver KR, Mink JW, 1981. *Microstrip Antenna Technology*. *Ieee T Antenn Propag*, 29, 1, 2-24.
- Cetiner BA, Crusats GR, Jofre L, Biyikli N, 2010. RF MEMS integrated frequency reconfigurable annular slot antenna. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 58, 3, 626-32.

- Chaimool S, Rakluea C, Akkaraekthalin P, 2012. Compact wideband microstrip thinned array antenna using EBG superstrate. *Aeu-International Journal of Electronics and Communications*, 66, 1, 49-53.
- Chaimool S, Rakluea C, Chung KL, Akkaraekthalin P, 2012. Single-Feed Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna Stacked with Periodic Structure. *Microw Opt Techn Let*, 54, 1, 50-4.
- Chair R, Luk KM, Lee KF, 2000. Miniature multilayer shorted patch antenna. *Electronics Letters*, 36, 1, 3-4.
- Chair R, Mak C-L, Lee K-F, Luk K-M, Kishk AA, 2005. Miniature wide-band half U-slot and half E-shaped patch antennas. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 53, 8, 2645-52.
- Chair R, Mak CL, Lee KF, Luk KM, Kishk AA, 2005. Miniature wide-band half U-slot and half E-shaped patch antennas. *Ieee T Antenn Propag*, 53, 8, 2645-52.
- Chair R, Mok WC, Luk KM, Lee KF, 2003. A wideband rectangular patch antenna with shorting pins. *Microw Opt Techn Let*, 37, 3, 165-7.
- Chattopadhyay K, Mitra T, Das D, Das S, Chaudhuri SRB, 2013. Bandwidth enhancement of hexagonal wide slot antenna using a tuning stub. *IETE Journal of Research*, 59, 6, 732-8.
- Chen X, Luo ZJ, Zheng Z, Feng P, Huang K, 2015. Effective Reflective Characteristics of Superstrates and Their Effects on the Resonant Cavity Antenna. *Ieee T Antenn Propag*, 63, 4, 1572-80.
- Chen YK, Yang SW, Nie ZP, 2010. Bandwidth Enhancement Method for Low Profile E-Shaped Microstrip Patch Antennas. *Ieee T Antenn Propag*, 58, 7, 2442-7.
- Chen Z, Ban YL, Chen JH, Li JLW, Wu YJ, 2012. Bandwidth Enhancement of LTE/WWAN Printed Mobile Phone Antenna Using Slotted Ground Structure. *Progress in Electromagnetics Research-Pier*, 129, 469-83.
- Chen ZN, Chia MYW, 2006. *Broadband planar antennas: design and applications*, John Wiley & Sons, p.
- Choi SH, Kwak D, Lee HC, Kwak KS, 2010. Design of a Dual-Band pi-Shaped Microstrip Patch Antenna with a Shorting Pin for 5.2/5.8 GHz WLAN Systems. *Microw Opt Techn Let*, 52, 4, 825-7.
- Choi SH, Lee HC, Kwak KS, 2009. A Novel K-Shaped Dual-Band Antenna with a Shorting Pin for WLAN Communications. *Microw Opt Techn Let*, 51, 10, 2442-4.
- Chung KL, Chaimool S, 2012. Broadside gain and bandwidth enhancement of microstrip patch antenna using a MNZ-metasurface. *Microw Opt Techn Let*, 54, 2, 529-32.
- Cicchetti R, Faraone A, Caratelli D, Simeoni M, 2015. Wideband, Multiband, Tunable, and Smart Antenna Systems for Mobile and UWB Wireless Applications 2014. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2015, 1-4.
- Clenet M, Ravipati CB, Shafai L, 1999. Bandwidth enhancement of U-slot microstrip antenna using a rectangular stacked patch. *Microw Opt Techn Let*, 21, 6, 393-5.
- Clenet M, Shafai L, 1999. Wideband single layer microstrip antenna for array applications. *Electronics Letters*, 35, 16, 1292-3.
- Costantine J, Tawk Y, Christodoulou CG, Barbin S. A star shaped reconfigurable patch antenna. *IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Signal Integrity and High Speed Interconnects*, Guadalajara, Mexico, 97-100.
- Çalışkan R, Gültekin SS, Uzer D, Dündar Ö, 2015. A Microstrip Patch Antenna Design for Breast Cancer Detection. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2905-11.

- Dahele JS, Lee KF, 1983. Effect of Substrate Thickness on the Performance of a Circular-Disk Microstrip Antenna. *Ieee T Antenn Propag*, 31, 2, 358-60.
- Dastranj A, Abiri H, 2010. Bandwidth Enhancement of Printed E-Shaped Slot Antennas Fed by CPW and Microstrip Line. *Ieee T Antenn Propag*, 58, 4, 1402-7.
- De Aza MAG, Zapata J, Encinar JA, 2000. Broad-band cavity-backed and capacitively probe-fed microstrip patch arrays. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 48, 5, 784-9.
- Deshmukh AA, Kumar G, 2005. Compact broadband U-slot-loaded rectangular microstrip antennas. *Microw Opt Techn Let*, 46, 6, 556-9.
- Deshmukh AA, Kumar G, 2006. Various slot loaded broadband and compact circular microstrip antennas. *Microw Opt Techn Let*, 48, 3, 435-9.
- Deshmukh AA, Parulekar M, Kadam S, Kadam A, Ray K. Broadband proximity fed modified E-shaped microstrip antenna. *Communications (NCC), 2011 National Conference on*, 1-5.
- Deshmukh AA, Ray KP, 2009. Compact Broadband Slotted Rectangular Microstrip Antenna. *Ieee Antennas and Wireless Propagation Letters*, 8, 1410-3.
- Dey S, Mittra R, 1996. A compact broadband microstrip antenna. *Microw Opt Techn Let*, 11, 6, 295-7.
- Diallo A, Luxey C, Le Thuc P, Staraj R, Kossiavas G, 2006. Study and reduction of the mutual coupling between two mobile phone PIFAs operating in the DCS1800 and UMTS bands. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 54, 11, 3063-74.
- Emerson & Cuming Microwave Products Resoruces, 2012. *Application and Theory of Dielectric Materials in RF/Microwave Systems*.
- Duffy SM, 2000. An enhanced bandwidth design technique for electromagnetically coupled microstrip antennas. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 48, 2, 161-4.
- Dundar O, Selek H, Uzer D, Gultekin SS, (2011). Dikdörtgen Mikroşerit Antenlerde Toprak Boyutlarının Değiştirilmesinin Rezonans Frekans ve Band Genişliğine Etkisi. 3. Ulusal Ereğli Tebliğ Günleri. Ereğli, Konya.
- Dundar O, Uzer D, Gultekin SS, Bayrak M, (2012). Effects of microstrip feed line width on 1×4 rectangular microstrip antenna array electrical parameters and estimation with artificial neural networks. *Progress in electromagnetic research (PIERS)*. Kuala Lumpur, Malaysia: 656.
- Eclercy D, Reineix A, Jecko B, 1997. FDTD genetic algorithm for antenna optimization. *Microw Opt Techn Let*, 16, 2, 72-4.
- Egashira S, Nishiyama E, 1996. Stacked microstrip antenna with wide bandwidth and high gain. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 44, 11, 1533-4.
- Eldek AA, Elsherbeni AZ, Smith CE, 2003. *Wideband Slot Bow-Tie Antennas for Radar Applications*
- Eldek AA, Elsherbeni AZ, Smith CE. Wideband bow-tie slot antenna with tuning stubs. *Radar Conference, 2004. Proceedings of the IEEE*, 583-8, 26-29 April 2004, Philadelphia, Pennsylvania.
- Engel P, 1983. *The Fractal Geometry of Nature - Mandelbrot, Bb. Sciences-New York*, 23, 5, 63-8.
- Eskandari H, Azarmanesh MN, 2009. Bandwidth enhancement of a printed wide-slot antenna with small slots. *Aeu-International Journal of Electronics and Communications*, 63, 10, 896-900.
- Fan ZB, Lee KF, 1992. Input Impedance of Circular-Disk Microstrip Antennas with a Dielectric Cover. *Microw Opt Techn Let*, 5, 13, 701-4.

- Fang ST, Wong KL, 1999. A dual-frequency equilateral-triangular microstrip antenna with a pair of narrow slots. *Microw Opt Techn Let*, 23, 2, 82-4.
- Ferguson K, (2012). *Fractal Antennas*, Submitted as coursework for PH250, Spring 2012. California, USA, Stanford University.
- Fu JH, Yang GH, Liu M, Wu Q, Li LW. The research of H-shaped coupling slot microstrip antenna array. *International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology*, 2008. ICMMT 2008. , 1234-7, 21-24 April 2008, Nanjing, P. R. China.
- Gan YB, Chua CP, Li LW, 2004. An enhanced cavity model for microstrip antennas. *Microw Opt Techn Let*, 40, 6, 520-3.
- Garg R, 2001. *Microstrip antenna design handbook*, Artech house, p.
- Garg R, Bhartia P, Bahl I, Ittipiboon A, 2001. *Microstrip Antenna Design Handbook*, Boston, London, Artech House, p. 73-126.
- Garima DB, Saini JS, Saxena VK, Joshi LM, 2011. Design of broadband circular patch microstrip antenna with Diamond shape slot. *Indian Journal of Radio and Space Physics*, 40, 275-81.
- Ge YH, Esselle KP, Bird TS, 2004. E-shaped patch antennas for high-speed wireless networks. *Ieee T Antenn Propag*, 52, 12, 3213-9.
- Gopakumar C, Mathew KT, 2011. A Microstrip-Line-Fed Isosceles-Trapezoidal Dielectric Resonator Antenna with Slotted Ground Plane for 2.4 Ghz Wlan Operation. *Microw Opt Techn Let*, 53, 3, 553-7.
- Gultekin S, Guney K, Sagioglu S, (2003). Neural networks for the calculation of bandwidth of rectangular microstrip antennas, DTIC Document.
- Gultekin SS, Uzer D, 2011. Modelling of physical slot parameters with Artificial Neural Networks for U-slot rectangular microstrip patch antennas. *Scientific Research and Essays*, 6, 17, 3675-83.
- Guney K, Sagioglu S, Erler M, 2002. Generalized neural method to determine resonant frequencies of various microstrip antennas. *International Journal of Rf and Microwave Computer-Aided Engineering*, 12, 1, 131-9.
- Guney K, Sarikaya N, 2003. Artificial neural networks for calculating the input resistance of circular microstrip antennas. *Microw Opt Techn Let*, 37, 2, 107-11.
- Guney K, Sarikaya N, 2006. Adaptive neuro-fuzzy inference system for computing patch radius of circular microstrip antennas. *Microw Opt Techn Let*, 48, 8, 1606-10.
- Guo YX, Shackelford A, Lee KF, Luk KM, 2001. Broadband quarter-wavelength patch antennas with a U-shaped slot. *Microw Opt Techn Let*, 28, 5, 328-30.
- Guo Z, Tian H, Wang X, Luo Q, Ji Y, 2013. Bandwidth enhancement of monopole UWB antenna with new slots and EBG structures. *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, 12, 1550-3.
- Gupta KC, (1988). Broadbanding techniques for microstrip patch antennas-a review. *Electromagnetics Laboratory/Th MIMICAD Research Center*. Paper 118.
- Gupta R, Sharma U, Sayanu P, Kumar G, 2008. MEMS based reconfigurable dual band antenna. *Microw Opt Techn Let*, 50, 6, 1570-5.
- Gupta SD, Garg A, Saran AP, 2008. Improvement in Accuracy for Design of Multidielectric Layers Microstrip Patch Antenna. *International Journal of Microwave and Optical Technology (IJMOT)*, 3, 5, 498-504.
- Gupta SD, Singh A, 2012. Design and Analysis of Multi dielectric Layer Microstrip Antenna With varying Superstrate Layer Characteristics. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 3, 55-68.
- Günay M, 2012. Design of Dual Aperture Coupled Antenna and Offset Slot Fed Aperture Coupled Microstrip Antenna, Yeditepe University, İstanbul, Turkey.

- Hadalgi PM, Madhuri RG, Marrikarjun SR, 2010. Slot-fed wideband dielectric resonator antenna for wireless applications. *Indian Journal of Radio and Space Physics*, 39, 372-5.
- Hall PS, Dahele JS, James JR, 1989. Design Principles of Sequentially Fed, Wide Bandwidth, Circularly Polarized Microstrip Antennas. *Iee Proceedings-H Microwaves Antennas and Propagation*, 136, 5, 381-9.
- Harkouss Y, Ngoya E, Rousset J, Argollo D, 2000. Accurate radial wavelet neural-network model for efficient CAD modelling of microstrip discontinuities. *Iee Proceedings-Microwaves Antennas and Propagation*, 147, 4, 277-83.
- Hildebrand LT, McNamara DA, 1995. Verification of spatial domain integral-equation analysis of microstrip wire-grid arrays. *Iee Proceedings-Microwaves Antennas and Propagation*, 142, 4, 314-8.
- Holland SS, 2008. Miniaturization of Microstrip Patch Antennas for GPS Applications, Master, University of Massachusetts Amherst, Amherst, Massachusetts.
- Hsiao FR, Wong KL, 2002. Compact planar inverted-F patch antenna for triple-frequency operation. *Microw Opt Techn Let*, 33, 6, 459-62.
- Hsu HT, Kuo FY, Lu PH, 2010. Design of WiFi/WiMAX Dual-Band E-Shaped Patch Antennas Through Cavity Model Approach *Microw Opt Techn Let*, 52, 2, 471-4.
- Hsu WH, Wong KL, 2000. A wideband circular patch antenna. *Microw Opt Techn Let*, 25, 5, 327-8.
- Huang J, 1983. The Finite Ground Plane Effect on the Microstrip Antenna Radiation-Patterns. *Ieee T Antenn Propag*, 31, 4, 649-53.
- Huang J, 1983. The finite ground plane effect on the microstrip antenna radiation patterns. *Ieee T Antenn Propag*, 31, 4, 649-53.
- Hudson S, Pozar D, 2000. Grounded coplanar waveguide-fed aperture-coupled cavity-backed microstrip antenna. *Electronics Letters*, 36, 12, 1.
- Hussain AH, 2009. Radiation Performance Evaluation of Microstrip Antenna Covered with a Dielectric Layer”, *Eng. & Tech. Journal*, vol, 7, 1280-6.
- Huynh MC, Stutzman W. Ground plane effects on planar inverted-F antenna (PIFA) performance. *Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings*, 209-13.
- Huynh T, Lee K-F, 1995. Single-layer single-patch wideband microstrip antenna. *Electronics letters*, 31, 16, 1310-2.
- Imeci ST, 2015. E- and H-Shaped High Gain Patch Antennas. *Microw Opt Techn Let*, 57, 6, 1395-400.
- Isfahani HH, 2012. A Slit-Loaded Notch-Cut Patch Antenna for Broadband Applications *International Journald of Engineering Science and Advanced Technology* 2, 2, 380-7.
- Islam MT, Ullah MH, Singh MJ, Faruque MRI, 2013. A New Metasurface Superstrate Structure for Antenna Performance Enhancement. *Materials*, 6, 8, 3226-40.
- Iwasaki H, 1995. A circularly polarized rectangular microstrip antenna using single-fed proximity-coupled method. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 43, 8, 895-7.
- Izadi OH, Mehrparvar M. A compact microstrip slot antenna with novel E-shaped coupling aperture. *5th International Symposium on Telecommunications (IST)*, 2010 110-4, Tahrn, Iran.
- Jaggard DL, 1990. On fractal electrodynamics. In: *Recent advances in electromagnetic theory*. Eds: Springer, p. 183-224.
- Jaggard DL, Kim Y, 1987. Diffraction by band-limited fractal screens. *JOSA A*, 4, 6, 1055-62.

- James JR, Hall PS, Wood C, 1981. *Microstrip Antenna: Theory and Design*, Stevenage, Hertfordshire, Peter Peregrinus/Institution of Electrical Engineers, p.
- Jang YW, 2002. Experimental study of a broadband U-slot triangular patch antenna. *Microw Opt Techn Let*, 34, 5, 325-7.
- Kaka AO, Toycan M, Walker SD, 2015. Miniaturized stacked implant antenna design at ISM band with biocompatible characteristics. *Compel-the International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 34, 4, 1270-85.
- Kan HK, Waterhouse RB, 1999. Size reduction technique for shorted patches. *Electronics Letters*, 35, 12, 948-9.
- Kandwal A, Sharma R, Khah SK, 2013. Bandwidth Enhancement Using Z-Shaped Defected Ground Structure for a Microstrip Antenna. *Microw Opt Techn Let*, 55, 10, 2251-4.
- Kaya A, Kilinc S, Yuksel EY, Cam U, 2004. Bandwidth enhancement of a microstrip antenna using negative inductance as impedance matching device. *Microw Opt Techn Let*, 42, 6, 476-8.
- Kayabasi A, Akdagli A, 2015. A Comparative Study on ANN, ANFIS and SVM Methods for Computing Resonant Frequency of A-Shaped Compact Microstrip Antennas. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, 9, 8, 594-600.
- Khayat MA, Williams JT, Jackson DR, Long SA, 2000. Mutual coupling between reduced surface-wave microstrip antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, IEEE Transactions on, 48, 10, 1581-93.
- Khodae M, Akbari M, Zarbakhsh S, 2013. A Novel Antenna With Dual Band-Notched Characteristics using Shorting Pin and Z-Shaped Slot on Conductor Backed. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 28, 9, 809-14.
- Khotso P, Lehmsiek R, van Zyl RR, 2012. Circularly Polarized Circular Microstrip Patch Antenna Loaded with Four Shorting Posts for Nanosatellite Applications. *Microw Opt Techn Let*, 54, 1, 8-11.
- Kuboyama H, Imai S, Hirasawa K, Fujimoto K. Post loaded microstrip antenna for pocket size equipment at UHF. *Internat. Symp. on Antennas and Propagation (ISAP) 1985*, 433-6, Kyoto, Japan.
- Kuga N, Arai H, 1996. Circular patch antennas miniaturized by shorting posts. *Electronics and Communications in Japan Part I-Communications*, 79, 6, 51-8.
- Kulshrestha S, Chheda DJ, Chakrabarty SB, Jyoti R, Sharma SB, 2011. Pole discontinuity removal using artificial neural networks for microstrip antenna design. *International Journal of Electronics*, 98, 12, 1711-20.
- Kumar G, Ray KP, 2002. *Broadband microstrip antennas*, Artech House, p.
- Kuo JS, Wong KL, 2000. A dual-frequency L-shaped patch antenna. *Microw Opt Techn Let*, 27, 3, 177-9.
- Kuo JS, Wong KL, 2001. A compact microstrip antenna with meandering slots in the ground plane. *Microw Opt Techn Let*, 29, 2, 95-7.
- Latif SI, Shafai L, Sharma SK, 2005. Bandwidth enhancement and size reduction of microstrip slot antennas. *Ieee T Antenn Propag*, 53, 3, 994-1003.
- Lee KF, Chen W, Lee RQ, Luk KM, Tong KF, 1995. Microstrip Antennas with Multidielectric Layers. *Microw Opt Techn Let*, 9, 3, 149-53.
- Lee KF, Luk KM, Tong KF, Shum SM, Huynh T, Lee RQ, 1997. Experimental and simulation studies of the coaxially fed U-slot rectangular patch antenna. *Iee Proceedings-Microwaves Antennas and Propagation*, 144, 5, 354-8.

- Leung M, Splitt G, (2002). Microstrip Antenna Design Using Mstrip40. Australia, University of Canberra: 1-23.
- Li CL, Wang HH, Lin HJ, Shi XW, Li WT, Xu L. Analysis and design of broadband microstrip patch antenna with a pair of double cross-shaped slots. International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), 2010 18-21, 8-11 May 2010, Chengdu
- Li Y, Chair R, Luk KM, Lee KF, 2004. Shorted wideband low-profile patch antenna with two shorting pins. *Microw Opt Techn Let*, 41, 2, 135-7.
- Li Y, Luk K, Chair R, Lee K. A wideband triangular shaped patch antenna with folded shorting wall. *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2004. IEEE, 3517-20.
- Lier E, Jakobsen KR, 1983. Rectangular Microstrip Patch Antennas with Infinite and Finite Ground Plane Dimensions. *Ieee T Antenn Propag*, 31, 6, 978-84.
- Lin SJ, Row JS, 2008. Bandwidth enhancement for dual-frequency microstrip antenna with conical radiation. *Electronics Letters*, 44, 1, 2-U3.
- Lindberg P, Ojefors E, 2006. A bandwidth enhancement technique for mobile handset antennas using wavetraps. *Ieee T Antenn Propag*, 54, 8, 2226-33.
- Liu JX, Khan SN, Li H, He SL, Khan SN, He SL, 2008. Shorted Pin Circular Axe-Shaped Patch Antenna for Compact and Dual Band Applications. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 22, 14-15, 2105-12.
- Liu XF, Chen YB, Jiao YC, Zhang FS, 2007. Modified particle swarm optimization for patch antenna design based on IE3D. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 21, 13, 1819-28.
- Lo YT, Solomon D, Richards WF, 1979. Theory and Experiment on Microstrip Antennas. *Ieee T Antenn Propag*, AP-27, 137-49.
- Luk K, Tam W, Yip C, 1989. Analysis of circular microstrip antennas with superstrate. *IEE proceedings. Part H. Microwaves, antennas and propagation*, 136, 3, 261-2.
- Madhuri RG, Hadalgi PM, Mallikarjun SL, Hunagund PV, 2010. A Wideband-Stacked Rectangular Dielectric Resonator Antenna. *Microw Opt Techn Let*, 52, 11, 2432-4.
- Mahajan M, Chakarvarty T, Khah SK, De A, 2008. Extended cavity model for input impedance of annular microstrip antenna loaded with multiple shorting posts. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 22, 10, 1333-40.
- Mahmoud SF, Sheta AF, 2006. Cavity mode analysis for a rectangular patch with a shorting pin. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 20, 14, 2013-25.
- Maity S, Gupta B, 2015. Cavity model analysis of 30 degrees-60 degrees-90 degrees triangular microstrip antenna. *Aeu-International Journal of Electronics and Communications*, 69, 6, 923-32.
- Mak CL, Chair R, Lee KF, Luk KM, Kishk AA, 2003. Half U-slot patch antenna with shorting wall. *Electronics Letters*, 39, 25, 1779-80.
- Malekpoor H, Jam S, 2015. Analysis on bandwidth enhancement of compact probe-fed patch antenna with equivalent transmission line model. *Iet Microwaves Antennas & Propagation*, 9, 11, 1136-43.
- Mallikarjun SL, Hadalgi PM, Satnoor SK, Hunagund PV, 2009. Effect of Slot on Ground Plane in Enhancing the Impedance Bandwidth of Modified Rectangular Microstrip Antenna and Its Array. *ICFAI University Journal of Electrical & Electronics Engineering*, 2, 3, 7-13.

- Mandal K, Sarkar PP, 2015. A compact low profile wideband U-shape antenna with slotted circular ground plane. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 70, 3, 336-40.
- Mehta A, Mirshekar-Syahkal D, Nakano H, 2008. A star patch antenna for generating multiple radiation patterns. *Microw Opt Techn Let*, 50, 7, 1908-10.
- Mendhe SE, Kosta YP, 2014. Gain Enhancement and Broadband Using Helical Resonating Metamaterial Superstrate in Stacked Microstrip Patch Antenna. *Microw Opt Techn Let*, 56, 9, 1978-82.
- Menzel W, Grabherr W, 1991. A microstrip patch antenna with coplanar feed line. *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, 1, 11, 340-2.
- Merad L, Bendimerad FT, Meriah SM, 2011. Design and resonant frequency calculation of rectangular microstrip antennas. *International Journal of Numerical Modelling-Electronic Networks Devices and Fields*, 24, 2, 144-53.
- Milligan T, 2005. Antenna designer's notebook - Editor's note. *Ieee Antennas Propag*, 47, 1, 110-.
- Mirzapour B, Hassani HR, 2008. Size reduction and bandwidth enhancement of snowflake fractal antenna. *Iet Microwaves Antennas & Propagation*, 2, 2, 180-7.
- Mok WC, Chair R, Luk KM, Lee KF, 2003. Wideband quarter-wave patch antenna with shorting pin. *Iee Proceedings-Microwaves Antennas and Propagation*, 150, 1, 56-60.
- Montrose B, Popovic D, Popovic B, Popovic Z. Dual-polarization star microstrip antennas. 31st European Microwave Conference, 2001. , 1-4, 24-26 Sept. 2001, London, England
- Moren S, Rowell C, (2002). Trap microstrip PIFA. AB A. Sweden, Google Patents. **US6380895 B1**.
- Mosig JR, 1988. Arbitrarily Shaped Microstrip Structures and Their Analysis with a Mixed Potential Integral-Equation. *Ieee Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 36, 2, 314-23.
- Mosig JR, Gardiol FE, 1983. Analytical and Numerical Techniques in the Green-Function Treatment of Microstrip Antennas and Scatterers. *Iee Proceedings-H Microwaves Antennas and Propagation*, 130, 2, 175-82.
- Mosig JR, Gardiol FE, 1985. General Integral-Equation Formulation for Microstrip Antennas and Scatterers. *Iee Proceedings-H Microwaves Antennas and Propagation*, 132, 7, 424-32.
- Mulayim S, 1992. Geometric Ornaments in Anatolian Turkish Architecture-Seljuk Era, Anadolu Türk Mimarisinde Geometrik Süslemeler — Selçuklu Çağı, Ankara, Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları, p.
- Munson R, 1974. Conformal Microstrip Antennas and Microstrip Phased Arrays. *Ieee T Antenn Propag*, AP-22, 74-8.
- Namkung J, Hines EL, Green RJ, Leeson MS, 2007. Probe-fed microstrip antenna feed point optimization using a genetic algorithm and the method of moments. *Microw Opt Techn Let*, 49, 2, 325-9.
- Nasimuddin, Chen ZN, Qing X, 2011. Circularly Polarized Slotted/Slit-Microstrip Patch Antennas. In: *Microstrip Antennas*. Eds: Nasimuddin. India: InTech Open, p. 341-60.
- Ojaroudi N, Ojaroudi M, 2013. Bandwidth enhancement of an ultra-wideband printed slot antenna with WLAN band-notched function. *Microw Opt Techn Let*, 55, 7, 1448-51.

- Oney G, Erginsoy U, 1992. Architectural Decoration and Minor Arts in Seljuk Anatolia, Anadolu Selçuklu Mimari Süslemesi ve El Sanatları, Ankara, Türkiye İis Bankası Kultur Yay., p.
- Pan SC, Wong KL, 1997. Dual-frequency triangular microstrip antenna with a shorting pin. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, *IEEE Transactions on*, 45, 12, 1889-91.
- Panaia P, Luxey C, Jacquemod G, Staraj R, Kossiavas G, Dussopt L, Vacherand F, Billard C. MEMS-based reconfigurable antennas. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2004 175-9, 4-7 May 2004, Ajaccio, France.
- Panayi P, Al-Nuaimi M, Ivrisimtzis L. Tuning techniques for the planar inverted-F antenna. *Antennas and Propagation*, 1999. *IEE National Conference on*, 259-62.
- Panda AK, Panda AK, Sahu S, Mishra RK, 2015. C-Shaped Complementing Patch Antenna for Broadband Communications. *Iete Journal of Research*, 61, 6, 617-23.
- Parasnis K, Shafai L, Kumar G, 1986. Performance of star microstrip as a linearly and circularly polarised TM_{2,1} mode radiator. *Electronics Letters*, 22, 9, 463-4.
- Parasnis K, Shafai L, Kumar G, 1986. Performance of Star Microstrip as a Linearly and Circularly Polarized Tm_{2,1} Mode Radiator. *Electronics Letters*, 22, 9, 463-4.
- Patil MSS, Joshi VV, 2015. Performance Improvement of Microstrip Antenna using EBG Structure. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 4, 07, July-2015.
- Patre SR, Singh SP, 2015. Cpw-Fed Flower-Shaped Patch Antenna for Broadband Applications. *Microw Opt Techn Let*, 57, 12, 2908-13.
- Paulson M, Kundukulam SO, Aanandan CK, Mohanan P, Vasudevan K, 2003. Compact microstrip slot antenna for broadband operation. *Microw Opt Techn Let*, 37, 4, 248-50.
- Peng L, Ruan C, Zhang Y. A novel compact broadband microstrip antenna. *Asia-Pacific Microwave Conference*, 2007. *APMC 2007*, 1-4, 1 Dec 2007, Bangkok, Thailand
- Porath R, 2000. Theory of miniaturized shorting-post microstrip antennas. *Ieee T Antenn Propag*, 48, 1, 41-7.
- Pozar DM, 1985. Microstrip antenna aperture-coupled to a microstripline. *Electronics letters*, 21, 2, 49-50.
- Pozar DM, (1996). *A Review of Aperture Coupled Microstrip Antennas: History, Operation, Development, and Applicatons*. University of Massachusetts at Amherst.
- Pozar DM, Kaufman B, 1987. Increasing the Bandwidth of a Microstrip Antenna by Proximity Coupling. *Electronics Letters*, 23, 8, 369-.
- Pozar DM, Schaubert DH, 1995. *Microstrip. The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays*. In: *Antennas*. Eds: Pozar DM, Schaubert DH. New York: IEEE Antennas and Propagation Society, p.
- Pozar DM, Targonski SD, 1991. Improved Coupling for Aperture Coupled Microstrip Antennas. *Electronics Letters*, 27, 13, 1129-31.
- Prajapati PR, Murthy GGK, Patnaik A, Kartikeyan MV, 2015. Design and testing of a compact circularly polarised microstrip antenna with fractal defected ground structure for L-band applications. *Iet Microwaves Antennas & Propagation*, 9, 11, 1179-85.
- Pramod K, Kumar S, Reddy V, Rao P, (2010). Novel structural design for compact and broadband patch antenna. *International Workshop on Antenna Technology (IWAT)*. Lisbon: 1-4.

- Pramod KM, Jyoti R, Kumar SS, Reddy VSK. Simplified and efficient technique for designing of broadband patch antenna. Applied Electromagnetics Conference (AEMC), 2009, 1-4, 14-16 Dec 2009, Kolkata
- Prombutr N, Kirawanich P, Akkaraekthalin P, 2009. Bandwidth enhancement of UWB microstrip antenna with a modified ground plane. International Journal of Microwave Science and Technology, 2009.
- Pues HF, Vandecapelle AR, 1989. An Impedance-Matching Technique for Increasing the Bandwidth of Microstrip Antennas. Ieee T Antenn Propag, 37, 11, 1345-54.
- Qin PY, Weily AR, Guo YJ, Liang CH, 2010. Polarization Reconfigurable U-Slot Patch Antenna. Ieee T Antenn Propag, 58, 10, 3383-8.
- Raina TK, Kaur A, Khanna R, 2012. Design of Aperture Coupled Micro-Strip patch Antenna for Wireless Communication applications at 5.8 GHz. IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), 2, 7, 96-9.
- Ramahi OM, Lo YT, 1992. Superstrate Effect on the Resonant-Frequency of Microstrip Antennas. Microw Opt Techn Let, 5, 6, 254-7.
- Ramya Keertana D, Murthy MVSDNN, Yeswanth B, Rajasekhar C, Kumar DN, 2014. A Novel Multi Frequency Rectangular Microstrip Antenna with Dual T Shaped Slots for UWB Applications. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE), 9, 1, 120-4.
- Rashmi R, Ray K, Dutttagupta SP, 2013. Bandwidth enhancement using gap-coupled hexagonal microstrip antennas in L band. Microw Opt Techn Let, 55, 11, 2703-9.
- Rathi V, Kumar G, Ray KP, 1996. Improved coupling for aperture coupled microstrip antennas. Ieee T Antenn Propag, 44, 8, 1196-8.
- Rawat S, Sharma KK, 2015. Annular ring microstrip patch antenna with finite ground plane for ultra-wideband applications. International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 7, 2, 179-84.
- Ray KP, Kumar G, 2003. Broadband microstrip antennas, Boston and London, Artech House, Boston and London, p.
- Ray KP, Kumar G, Lodwal HC, 2003. Hybrid-coupled broadband triangular microstrip antennas. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 51, 1, 139-41.
- Razi ZM, Rezaei P, Valizade A, 2015. A novel design of Fabry-Perot antenna using metamaterial superstrate for gain and bandwidth enhancement. Aeu-International Journal of Electronics and Communications, 69, 10, 1525-32.
- Revankar UK, Kumar A, 1992. Broadband stacked three-layer circular microstrip antenna arrays. Electronics Letters, 28, 21, 1995-7.
- Revankar UK, Kumar A, 1994. Mutual coupling between stacked three-layer circular microstrip antenna elements. Electronics Letters, 30, 24, 1997-8.
- Richards WF, Lo YT, Harrison DD, 1981. An Improved Theory for Microstrip Antennas and Applications. Ieee T Antenn Propag, 29, 1, 38-46.
- Row JS, 2005. Experimental study of circularly polarised microstrip antennas loaded with superstrate. Electronics Letters, 41, 21, 1155-7.
- Rowley JT, Waterhouse RB, 1999. Performance of shorted microstrip patch antennas for mobile communications handsets at 1800 MHz. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 47, 5, 815-22.
- Sagioglu S, Guney K, 1997. Calculation of resonant frequency for an equilateral triangular microstrip antenna with the use of artificial neural networks. Microw Opt Techn Let, 14, 2, 89-93.
- Sagioglu S, Guney K, Erler M, 1998. Resonant frequency calculation for circular microstrip antennas using artificial neural networks. International Journal of Rf and Microwave Computer-Aided Engineering, 8, 3, 270-7.

- Sagioglu S, Guney K, Erler M, 1999. Calculation of bandwidth for electrically thin and thick rectangular microstrip antennas with the use of multilayered perceptrons. *International Journal of Rf and Microwave Computer-Aided Engineering*, 9, 3, 277-86.
- Sagnard F, Rejiba F, 2011. Wide band coplanar waveguide-fed bowtie slot antenna for a large range of ground penetrating radar applications. *Microwaves, Antennas & Propagation, IET*, 5, 6, 734-9.
- Saidulu V, Rao KS, Rao PVDS, 2013. The Effect of Dielectric Superstrates on the Characteristics of Circular and Square Patch Antennas *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*, 6, 3, 132-44.
- Sainati RA, 1996. *CAD of microstrip antennas for wireless applications*, Artech House, Inc., p.
- Sameena NM, Mulgi SN, 2011. Comparative Study of Slot Loaded Rectangular Microstrip Antenna for Impedance Bandwidth and Its Verification. *Microw Opt Techn Let*, 53, 8, 1713-8.
- Sanad H. Effect of the shorting posts on short circuit microstrip antennas. *Antennas and Propagation Society International Symposium, 1994. AP-S. Digest*, 794-7, 20-24 June 1994, Seattle, WA, USA
- Shackelford AK, Lee KF, Luk KM, 2003. Design of small-size wide-bandwidth microstrip-patch antennas. *Ieee Antennas Propag*, 45, 2, 58-.
- Sharma SK, Rattan M, 2010. Analysis of Broad Banding and Minimization Techniques for Square Patch Antenna. *Iete Journal of Research*, 56, 2, 88-93.
- Shin HS, Kim N, 2002. Wideband and high-gain one-patch microstrip antenna coupled with H-shaped aperture. *Electronics Letters*, 38, 19, 1072-3.
- Shinde PN, Shinde JP, 2015. Design of compact pentagonal slot antenna with bandwidth enhancement for multiband wireless applications. *Aeu-International Journal of Electronics and Communications*, 69, 10, 1489-94.
- Shirzad H, Virdee B, Ghobadi C, Shokri M, Sedghi T, Asiaban S, Pourahmadazar J, 2013. Bandwidth Enhancement of Compact Planar Microstrip Antenna. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 28, 5, 441-5.
- Siakavara K, 2011. Methods to Design Microstrip Antennas for Modern Applications. In: *MICROSTRIP ANTENNAS*. Eds: Nasimuddin. India: InTech Open, p. 173-9.
- Siakavara K, 2011. Methods to design microstrip antennas for modern applications, INTECH Open Access Publisher, p.
- Sim CYD, Han TY, 2008. Gps antenna design with slotted ground plane. *Microw Opt Techn Let*, 50, 3, 818-21.
- Sim CYD, Tu SY, 2007. Dual-frequency shorted patch antenna for WLAN applications. *Microw Opt Techn Let*, 49, 2, 389-91.
- Singh A, Ansari JA, Kamakshi, Aneesh M, Sayeed SS, 2015. Analysis of slot loaded compact patch antennas for dualband operation. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 47, 1, 163-75.
- Singh AK, Meshram MK, 2008. Slot-loaded shorted patch for dual-band operation. *Microw Opt Techn Let*, 50, 4, 1010-7.
- Slomian I, Wincza K, Gruszczynski S, 2013. Low-cost broadband microstrip antenna array for 24 GHz FMCW radar applications. *International Journal of Rf and Microwave Computer-Aided Engineering*, 23, 4, 499-506.
- Smith DR, Padilla WJ, Vier DC, Shelby R, Nemat-Nasser SC, Kroll N, Schultz S, 2001. Left-handed metamaterials. In: *Photonic crystals and light localization in the 21st century*. Eds: Springer, p. 351-71.

- Smith RL, Williams JT, 1992. Coplanar waveguide feed for microstrip patch antennas. *Electronics Letters*, 28, 25, 2272-4.
- Soliman EA, 2007. Semi-analytical calculation for sensitivities of the method of moments impedance and excitation matrices. *International Journal of Rf and Microwave Computer-Aided Engineering*, 17, 6, 533-41.
- Soliman EA, Brebels S, Delmotte P, Vandebosch GAE, Beyne E, 1999. Bow-tie slot antenna fed by CPW. *Electronics Letters*, 35, 7, 514-5.
- Somasiri NP, Chen X, Rezazadeh AA, 2004. Neural network modeller for design optimisation of multilayer patch antennas. *Iee Proceedings-Microwaves Antennas and Propagation*, 151, 6, 514-8.
- Song K, Yin YZ, Fan ST, Wang YZ, Zhang L, 2009. Open L-slot antenna with rotated rectangular patch for bandwidth enhancement. *Electronics Letters*, 45, 25, 1286-7.
- Sung Y, 2011. A Printed Wide-Slot Antenna With a Modified L-Shaped Microstrip Line for Wideband Applications. *Ieee T Antenn Propag*, 59, 10, 3918-22.
- Sung Y, 2012. Bandwidth Enhancement of a Microstrip Line-Fed Printed Wide-Slot Antenna With a Parasitic Center Patch. *Ieee T Antenn Propag*, 60, 4, 1712-6.
- Sürmeli K, Türetken B. U-slot stacked patch antenna using high and low dielectric constant material combinations in S-band. *General Assembly and Scientific Symposium, 2011 XXXth URSI*, 1-4, 13-20 August 2011, Istanbul, Turkey.
- Svacina J, 1992. Analysis of Multilayer Microstrip Lines by a Conformal Mapping Method. *Ieee Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 40, 4, 769-72.
- Sze JY, Wong KL, 1999. Single-layer single-patch broadband rectangular microstrip antenna. *Microw Opt Techn Let*, 22, 4, 234-6.
- Sze JY, Wong KL, 2000. Slotted rectangular microstrip antenna for bandwidth enhancement. *Ieee T Antenn Propag*, 48, 8, 1149-52.
- Targonski SD, Waterhouse RB, Pozar DM, 1998. Design of wide-band aperture-stacked patch microstrip antennas. *Ieee T Antenn Propag*, 46, 9, 1245-51.
- Thomas AS, Prakash AK, 2013. A Survey on Microstrip Patch Antenna using Metamaterial. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2, 12, 6289-94.
- Tian YB, Zhang SL, Li JY, 2011. Modeling resonant frequency of microstrip antenna based on neural network ensemble. *International Journal of Numerical Modelling-Electronic Networks Devices and Fields*, 24, 1, 77-86.
- Toktas A, Akdagli A, Yagoub MCE, 2013. Calculating the dual-frequencies of equilateral triangular compact microstrip antennas with a shorting-pin. *Microw Opt Techn Let*, 55, 6, 1227-30.
- Tong KF, Luk KM, Lee KF, Lee RQ, 2000. A broad-band U-slot rectangular patch antenna on a microwave substrate. *Ieee T Antenn Propag*, 48, 6, 954-60.
- Tong KF, Wong TP, 2007. Circularly polarized U-Slot antenna. *Ieee T Antenn Propag*, 55, 8, 2382-5.
- Tong MS, Yang M, Chen Y, Mittra R. Design and analysis of a stacked dual-frequency microstrip planar inverted-F antenna for mobile telephone handsets using the FDTD. *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2000. IEEE*, 270-3, 16-21 July 2000, Salt Lake City, Utah, USA.
- Uzer D, Gultekin SS, (2012). A New Seljuk Star Shape Microstrip Antenna Design. *Progress in Electromagnetic Research (PIERS)*. Kuala Lumpur, Malasia.
- Uzer D, Gultekin SS, Dundar O, (2012). Estimation and Design of U-slot Physical Patch Parameters with Artificial Neural Networks. *Progress in Electromagnetic Research (PIERS)*. Kuala Lumpur, Malasia.

- Uzer D, Gültekin SS, 2015. An Investigation of Shorting Pin Effects on Circular Disc Microstrip Antennas. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, 3, 3, 218-22.
- Uzer D, Gültekin SS, Uğurlu E, Dündar Ö, Top R, (2015). Bandwidth Enhancement of Equilateral Triangle Microstrip Patch Antenna with Slot Loading and Dielectric Superstrate. *International Conference of Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN)*. Antalya, Türkiye.
- Uzer D, Uzer MS, Gultekin SS, Yilmaz N. Effect of U-slot applications on circular microstrip patches modeling with artificial neural networks on impedance bandwidth. *30th Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS)*, Kuala Lumpur, Malasia.
- Uzer MS, Uzer D, Yilmaz N, Gultekin SS. Bandwidth Modeling of U-slot Rectangular Microstrip Antennas with Artificial Neural Networks. *30th Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS)*, Kuala Lumpur, Malasia.
- Vallecchi A, Gentili GB, Calamia M. Dual-band dual polarization microstrip antenna. *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2003. IEEE, 134-7, 22-27 June 2003, Columbus, Ohio, USA.
- Verma AK, Nasimuddin, 2004. Multilayer cavity model for microstrip rectangular and circular patch antenna. *Electromagnetics*, 24, 3, 193-217.
- Verma S, Ansari JA, 2015. Analysis of U-slot loaded truncated corner rectangular microstrip patch antenna for broadband operation. *Aeu-International Journal of Electronics and Communications*, 69, 10, 1483-8.
- Veselago VG, 1968. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ? *Soviet physics uspekhi*, 10, 4, 509.
- Veysi M, Jafarholi A, 2012. Directivity and Bandwidth Enhancement of Proximity-Coupled Micro strip Antenna Using Metamaterial Cover. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 27, 11, 925-30.
- Wang H, Huang XB, Fang DG, 2008. A single layer wideband U-slot microstrip patch antenna array. *Ieee Antennas and Wireless Propagation Letters*, 7, 9-12.
- Waterhouse R, 1995. Small Microstrip Patch Antenna. *Electronics Letters*, 31, 8, 604-5.
- Waterhouse R, 2001. Microstrip Patch Antennas. In: *Handbook of antennas in wireless communications*. Eds: Godara LC: CRC press, p. 6-1,6-5.
- Weigand S, Huff GH, Pan KH, Bernhard JT, 2003. Analysis and design of broad-band single-layer rectangular U-slot microstrip patch antennas. *Ieee T Antenn Propag*, 51, 3, 457-68.
- Wong K-L, 2004. *Compact and broadband microstrip antennas*, John Wiley & Sons, p.
- Wong KL, 2004. *Compact and broadband microstrip antennas*, John Wiley & Sons, p.
- Wong KL, Chen WS, 1997. Compact microstrip antenna with dual-frequency operation. *Electronics Letters*, 33, 8, 646-7.
- Wong KL, Hsu WH, 1997. Broadband triangular microstrip antenna with U-shaped slot. *Electronics Letters*, 33, 25, 2085-6.
- Wong KL, Hsu WH, 2001. A broad-band rectangular patch antenna with a pair of wide slits. *Ieee T Antenn Propag*, 49, 9, 1345-7.
- Wu CK, Wong KL, 1999. Broadband microstrip antenna with directly coupled and parasitic patches. *Microw Opt Techn Let*, 22, 5, 348-9.
- www.ansys.com/HFSS, 2015. Erişim. Erişim adresi.
- www.figes.com, 2015. Erişim. Erişim adresi.
- Xia L, Wang CF, Li LW, Kooi PS, Leong MS, 2000. Resonant behaviours of microstrip antenna in multilayered media: An efficient full-wave analysis - Abstract. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 14, 11, 1551-3.

- Xiao S, Shao Z, Wang BZ, Zhou MT, Fujise M, 2006. Design of low-profile microstrip antenna with enhanced bandwidth and reduced size. *Ieee T Antenn Propag*, 54, 5, 1594-9.
- Yadahalli RM, Vani RM, Farida SF, Hunagund PV, 2007. Compact broadband dual-frequency slot-loaded rectangular microstrip antenna with ground plane meandering slots and stacking. *Microw Opt Techn Let*, 49, 10, 2477-81.
- Yadav RK, Yadava RL, 2011. Performance analysis of superstrate loaded patch antenna and abstain from environmental effects. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3, 8.
- Yang F, Zhang XX, Ye XN, Rahmat-Samii Y, 2001. Wide-band E-shaped patch antennas for wireless communications. *Ieee T Antenn Propag*, 49, 7, 1094-100.
- Yang HW, Yang ZK, Liu JX, Li AP, You X, 2013. A novel DGS microstrip antenna simulated by FDTD. *Optik*, 124, 16, 2277-80.
- Yang P, He SQ, Li Y, Jiang LJ, 2012. Low-Profile Microstrip Antenna with Bandwidth Enhancement for Radio Frequency Identification Application. *Electromagnetics*, 32, 4, 244-53.
- Yazgan E, 2006. Mikroşerit Antenler. *Elektrik Mühendisliği*, 262-8.
- Yetkin SK, 1965. Islamic architecture, islam mimarisi, Ankara, Ank. Uni. İlah. Fak. Turk ve Islam San. Tar. Ens. Yay., p.
- Zaid L, Kossiavas G, Dauvignac JY, Cazajous J, Papiernik A, 1999. Dual-frequency and broad-band antennas with stacked quarter wavelength elements. *Ieee T Antenn Propag*, 47, 4, 654-60.
- Zarrabi FB, Mansouri Z, Ahmadian R, Rahimi M, Kuhestani H, 2015. Microstrip Slot Antenna Applications with Srr for Wimax/Wlan with Linear and Circular Polarization. *Microw Opt Techn Let*, 57, 6, 1332-8.
- Zebiri C, Lashab M, Benabdelaziz F, 2011. Rectangular microstrip antenna with uniaxial bi-anisotropic chiral substrate-superstrate. *Iet Microwaves Antennas & Propagation*, 5, 1, 17-29.
- Zhang C, Yang S, Pan HK, Fathy AE, El-Ghazaly S, Nair VK, 2009. A reconfigurable multiband patch antenna for wireless applications using MEMS switches. *Microw Opt Techn Let*, 51, 8, 1892-6.
- Zhang H, Yan DB, Yuan NC. Microstrip dipole antenna with H-shaped aperture coupling. *Microwave Conference Proceedings, 2005. APMC 2005. Asia-Pacific Conference Proceedings*, 2 pp., 4-7 Dec 2005.
- Zhong SS, Liu G, Qasim G, 1994. Closed-Form Expressions for Resonant-Frequency of Rectangular Patch Antennas with Multidielectric Layers. *Ieee T Antenn Propag*, 42, 9, 1360-3.
- Zhong YW, Yang GM, Zheng LR, 2015. Planar Circular Patch with Elliptical Slot Antenna for Ultrawideband Communication Applications. *Microw Opt Techn Let*, 57, 2, 325-8.
- Zhou R, Liu D, Xin H, 2012. A Wideband Circularly Polarized Patch Antenna for 60 GHz Wireless Communications. *Wireless Engineering and Technology*, 3, 3, 97-105.
- Zhou W, Wahid PF, 1998. Dyadic Green's function for a microstrip antenna with the patch and the ground plane of the same size. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 12, 5, 589-603.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Dilek Uzer
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Üsküdar 1983
Telefon : 0 332 2232056
Faks : 0 332 2410635
e-mail : dilek_uzer@selcuk.edu.tr, dilek_uzer@live.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Meram Anadolu Lisesi, Meram, Konya	2001
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2006
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2009
Doktora	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2016

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2008	Selçuk Üniversitesi Elk.-Elt.Müh.Bölm.	Arş.Gör.

UZMANLIK ALANI

Mikrodalga, Mikroşerit Antenler, elektromanyetik, kablosuz haberleşme teknikleri

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Dilek Uzer, S. Sinan Gültekin, Özgür Dündar, Emrah Uğurlu, Rabia Top, *Bandwidth Enhancement of Equilateral Triangle Microstrip Patch Antenna with Slot Loading and Dielectric Superstrate*, International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering (IJCESEN), Vol. 1-No.1 (2016) pp. 1-5 (Doktora tezinden yapılmıştır.)

Dilek Uzer, S. Sinan Gültekin, *An Investigation of Shorting Pin Effects on Circular Disc Microstrip Antennas*, International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers (IJAMEC), Vol.3, No.3, pp:218-222, 2015. (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır.)

S. Sinan Gültekin, **Dilek Uzer**, *Modeling of Physical Slot Parameters with Artificial Neural Networks for U-slot Rectangular Microstrip Patch Antennas*, Scientific Research and Essays, Vol. 6(17), pp. 3675-3683, 26 July, 2011 (SCI-E) (Doktora tezinden yapılmıştır.)

Rabia Top, S. Sinan Gültekin ve **Dilek Uzer**, *Different antenna designs for getting data from heart*, International Journal of Arts & Sciences (IJAS) 17-21 April 2016, Vienna, Austria.

Dilek Uzer, S. Sinan Gültekin, Özgür Dündar, Emrah Uğurlu, Rabia Çalışkan, *Bandwidth Enhancement of Equilateral Triangle Microstrip Patch Antenna with Slot Loading and Dielectric Superstrate*, 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, (ICCESEN-2015), 14-19 October 2015, Antalya-Turkey (Doktora tezinden yapılmıştır.)

Ahmet Aksu, S. Sinan Gültekin, and **Dilek Uzer**, *An Aperture Microstrip Antenna Design and Application for Sync Working Problem of Solar Flasher Systems*, 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, (ICCESEN-2015), 14-19 October 2015, Antalya-Turkey

Emrah Uğurlu, S. Sinan Gültekin, Özgür Dündar, **Dilek Uzer**, *The Effects of Variations in Rectangular Microstrip Antenna Parameters on The Agreement Between Experimental and Simulation Result*, 12th Conference of Society for Electronics, Telecommunications, Automotion and Informatics (ETAI), 24-26 September 2015, Makedonya.

Rabia Çalışkan, S. Sinan Gültekin, **Dilek Uzer**, Özgür Dündar, *A Microstrip Patch Antenna Design For Breast Cancer Detection*, World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship, 28-30 May 2015, İstanbul.

S. Sinan Gultekin, **Dilek Uzer**, Ozgur Dundar, *Calculation of Circular Microstrip Antenna Parameters with a Single Artificial Neural Network Model*, Progress in Electromagnetic Research PIERS 2012, 27-30 Mar 2012, Kuala Lumpur, Malesia. pp: 545 – 548.

Dilek Uzer, S. Sinan Gultekin, Ozgur Dundar, *Estimation and Design of U-slot Physical Patch Parameters with Artificial Neural Networks*, Progress in Electromagnetic Research PIERS 2012, 27-30 Mar 2012, Kuala Lumpur, Malesia. pp: 549 – 553. (Doktora tezinden yapılmıştır.)

Dilek Uzer, M. S. Uzer, S. S. Gultekin, N. Yilmaz, *Effect of U-slot Applications on Circular Microstrip Patches Modeling with Artificial Neural Networks on Impedance Bandwidth*, Progress in Electromagnetic Research PIERS 2012, 27-30 Mar 2012, Kuala Lumpur, Malesia. pp: 554 – 558. (Doktora tezinden yapılmıştır.)

Mustafa S. Uzer, **Dilek Uzer**, N. Yilmaz, S. S. Gultekin, *Bandwidth Modeling of U-slot Rectangular Microstrip Antennas with Artificial Neural Networks*, Progress in Electromagnetic Research PIERS 2012, 27-30 Mar 2012, Kuala Lumpur, Malesia. pp: 559 – 563. (Doktora tezinden yapılmıştır.)

Dilek Uzer, S. Sinan Gultekin, *A New Seljuk Star Shape Microstrip Antenna Design*, Progress in Electromagnetic Research PIERS 2012, 27-30 Mar 2012, Kuala Lumpur, Malesia. pp: 574 – 577. (Doktora tezinden yapılmıştır.)

Ozgur Dundar, **Dilek Uzer**, S. Sinan Gultekin, Mehmet Bayrak, *Effects of Microstrip Feed Line Width on 1×4 Rectangular Microstrip Antenna Array Electrical Parameters*

and Estimation with Artificial Neural Networks, Progress in Electromagnetic Research PIERS 2012, 27-30 Mar 2012, Kuala Lumpur, Malesia. pp 1341 – 1345.

Mustafa S. Uzer, Nihat Yılmaz, **Dilek Uzer**, *Case Study: A Vision-Based Fuzzy Logic Controller for Mobile Robot Systems*, INISTA2010, International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, 21-24 June, No:113, p.60-64, Kayseri, 2010.

Nihat Yılmaz, Evrim Yılmaz, **Dilek Koçer**, Emrah Asar, Mustafa Koyuncu, *Designing and Implementation of a Robot Colony with Different Structured Robots Based on Bluetooth Communication*, The International Conference on Modeling and Simulation (AMSE), 28-30 August 2006, Konya, Türkiye, vol.1, p.535-540, 2006.

Emrah Bakırcı, Özgür Dündar, **Dilek Uzer**, S.Sinan Gültekin, *Mikroşerit Anten Parametrelerinin Visual Basic'te Hazırlanan Arayüz Kullanılarak Hesaplanması*, 3. Ulusal Ereğli Meslek Yüksekokulu Tebliğ Günleri 28-29/04/11, Konya.

Sümbül S. Amen, **Dilek Uzer**, Özgür Dündar, S. Sinan Gültekin, *Dilimli Dairesel Mikroşerit Antenlerin Elektriksel Parametrelerinin İncelenmesi*, 3. Ulusal Ereğli Meslek Yüksekokulu Tebliğ Günleri 28-29/04/11, Konya.

Özgür Dündar, Hasan Selek, **Dilek Uzer**, S. Sinan Gültekin, *Dikdörtgen Mikroşerit Antenlerde Toprak Boyutlarının Değiştirilmesinin Rezonans Frekansı ve Band Genişliğine Etkisi*, 3. Ulusal Ereğli Meslek Yüksekokulu Tebliğ Günleri 28-29/04/11, Konya. (Doktora tezinden yapılmıştır.)

Dilek Uzer, Özgür Dündar, S.Sinan Gültekin, Yasemin Ülker, Hasan Selek, *U-Yarık Dikdörtgen Mikroşerit Yama Antenler için Fiziksel Yarık Parametrelerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi*, 2. Ulusal Ereğli Meslek Yüksekokulu Tebliğ Günleri Konya, 2010. (Doktora tezinden yapılmıştır.)

Mustafa S. Uzer, **Dilek Koçer**, S. Sinan Gültekin, *Dairesel Mikroşerit Antenlerin Yöneltilik, Yama Yarıçapı ve Işıma Direncinin Bir Yapay Sinir Ağı Modeli ile Hesaplanması*, 1. Ulusal Ereğli Meslek Yüksekokulu Tebliğ Günleri, 21-22/05/09, Konya.