T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DELİKLİ DİELEKTRİK LENS ANTEN TASARIMI

Mücahit ALÇEP

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı

Haberleşme Programı

Danışman

Doç. Dr. Fikret TOKAN

Ağustos, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DELİKLİ DİELEKTRİK LENS ANTEN TASARIMI

Mücahit ALÇEP tarafından hazırlanan tez çalışması çalışması 08.08.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Haberleşme Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Fikret TOKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Fikret TOKAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Hamid TORPİ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Aytaç ALPARSLAN, Üye
Trakya Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Fikret TOKAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Delikli Dielektrik Lens Anten Tasarımı başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Mücahit ALÇEP

İmza

Aileme

ve

biricik eşime

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının danışmanlığını yürüten, yardımını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Fikret TOKAN'a, çalışmam süresince bana destek olan sevgili Gökçe KUTLU'ya, her zaman bana maddi ve manevi destek olan ve hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos, 2019

Mücahit ALÇEP

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiii

1 Giriş 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 2

1.3 Hipotez 2

2 Lens Anten 3

2.1 Lens Anten Çeşitleri 5

2.1.1 Luneburg Dielektrik Lens 5

2.1.2 Uzatılmış Yarım Küre Lens 6

2.1.3 Eliptik Lens 7

2.2 Lens Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları 8

2.2.1 Lens Anten Avantajları 8

2.2.2 Lens Anten Dezavantajları 9

2.2.3 Lens Anten Uydurma Katmanları 9

3 Lens Tasarımı ve Benzetim Çalışması **12**

3.1 Dar Bantlı Çalışma (74-80 GHz/W-Bant) 12

3.1.1 Açıklık Kuplajlı Yama Anten 13

3.1.2 Lens Tasarımı 15

3.2 Bantlı Çalışma (4-12 GHz/C-Bant ve X-Bant) 29

3.2.1 Çok Geniş Bantlı Slot Anten 29

3.2.2 Lens Tasarımı 31

4 Sonuç ve Öneriler **46**

Kaynakça **47**

Tezden Üretilmiş Yayınlar **49**

SİMGE LİSTESİ

R_A	Anten Reaktansı
A_e	Anten Verimi
λ	Dalga Boyu
dB	Desibel
dBi	Desibel-İzotropik
Єr	Elektriksel Geçirgenlik Sabiti
G	Gerçek Kazanç
S11	Geri Dönüş Kaybı
Z_A	Giriş Empedansı
X_A	Dielektrik Kayıp
c	Işık Hızı
D	Yönlendiricilik Kazancı

KISALTMA LİSTESİ

CST	Computer Simulation Technology
GHz	Gigahertz
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ILA	Integrated Lens Antenna
LHCP	Left Hand Circular Polarization
RHCP	Right Hand Circular Polarization
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Anten Alan Sınırları ... 4
Şekil 2.2 Dielektrik Lens ve Optik Lens Yapısı ... 4
Şekil 2.3 Luneberg Lens Yapısı ... 6
Şekil 2.4 Uzatılmış Yarım Küre Lens Yapısı ... 6
Şekil 2.5 Silindir Uzunluğunun Elektriksel Geçirgenlik Sabiti ile Değişimi ... 7
Şekil 2.6 Eliptik Lens Yapısı ... 7
Şekil 2.7 Çok Katmanlı Uydurma Modeli ... 10
Şekil 2.8 Üç Adet Uydurma Katmanına Sahip Geniş Bantlı Lens ... 10
Şekil 2.9 Seri Bağlanmış Uydurma Katman Yapısı ... 11
Şekil 3.1 Açıklık Kuplajlı Yama Anten Yandan Görünüş ... 14
Şekil 3.2 Açıklık Kuplajlı Yama Anten Üstten Görünüş ... 14
Şekil 3.3 Açıklık Kuplajlı Yama Anten CST Çizimi ... 15
Şekil 3.4 Açıklık Kuplajlı Yama Anten *S*11 Sonucu ... 16
Şekil 3.5 Açıklık Kuplajlı Yama Anten Polar Koordinat Düzlemi Işıma Paterni ... 16
Şekil 3.6 Uzatılmış Lens Anten CST Görünümü ... 17
Şekil 3.7 Uzatılmış Lens Anten *S*11 Sonucu ... 18
Şekil 3.8 Uzatılmış Lens Anten Polar Koordinat Düzlemi Işıma Paterni ... 18
Şekil 3.9 Uydurma Katmanına Sahip Lens CST Görünümü ... 19
Şekil 3.10 Uydurma Katmanına Sahip Lens Anten *S*11 Sonucu (Uzatılmış Lens Anten ile Kıyaslamalı) ... 20
Şekil 3.11 Uydurma Katmanı Olan Lens Anten Polar Koordinat Düzlemi Işıma Paterni ... 21
Şekil 3.12 Delikli Uydurma Katmanına Sahip CST Görünümü ... 22
Şekil 3.13 Uydurma Katmanı Yüzeninin Birim Karelere Bölünmesi ... 24
Şekil 3.14 Küre Yarıçap Gösterimi ... 24
Şekil 3.15 Delikli Uydurma Katmanına Sahip Lens Anten *S*11 Sonucu (Uydurma Katmanına Sahip Lens Anten ile Kıyaslamalı) ... 25
Şekil 3.16 Delikli Uydurma Katmanına Sahip Lens Anten Polar Koordinat Işıma Paterni ... 25
Şekil 3.17 Yalın Lens İle Delikli Lens Yapılarının Verim Karşılaştırması ... 26
Şekil 3.18 Dar Bantlı Uygulama *S*11 Parametresi Kıyaslaması ... 26

Şekil 3.19 Dar Bantlı Uygulama Yönlendiricilik Kıyaslaması 27
Şekil 3.20 Yalın Lens İle Delikli Lens Yapılarının Güç Akışının Karşılaştırması. 27
Şekil 3.21 Dar Bantlı Uygulama Gerçek Kazanç Kıyaslaması..... 28
Şekil 3.22 Dar Bantlı Uygulama Phi:0 için Kazanç Kıyaslaması..... 28
Şekil 3.23 Dar Bantlı Uygulama Phi:0 için Yan Kulak Kıyaslaması..... 28
Şekil 3.24 Çok Geniş Bantlı Slot Anten Yandan Görünüm..... 30
Şekil 3.25 Çok Geniş Bantlı Anten Üstten Görünüm..... 30
Şekil 3.26 Çok Geniş Bantlı Anten CST Görünümü..... 32
Şekil 3.27 Çok Geniş Bantlı Slot Anten $S11$ Sonucu..... 32
Şekil 3.28 Çok Geniş Bantlı Slot Anten Polar Koordinat Işıma Paterni..... 33
Şekil 3.29 Çok Geniş Bantlı Uzatılmış Lens Anten CST Görünümü..... 33
Şekil 3.30 Çok Geniş Bantlı Uzatılmış Lens Anten $S11$ Sonucu (Çok Geniş Bantlı Anten ile Kıyaslamalı)..... 34
Şekil 3.31 Çok Geniş Bantlı Uzatılmış Lens Anten Polar Koordinat Işıma Paterni 35
Şekil 3.32 Çok Geniş Bantlı/Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten CST Görünümü 36
Şekil 3.33 Çok Geniş Bantlı/Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten $S11$ Sonucu 38
Şekil 3.34 Çok Geniş Bantlı/Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten Polar Koordinat Işıma Paterni..... 38
Şekil 3.35 Çok Geniş Bantlı/Delikli Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens CST Görünümü 39
Şekil 3.36 Çok Geniş Bantlı/Delikli Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten $S11$ Sonucu 41
Şekil 3.37 Çok Geniş Bantlı/Delikli Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten Polar Koordinat Işıma Paterni 41
Şekil 3.38 Yalın Lens ile Delikli Lens Verim Kıyaslaması 42
Şekil 3.39 Geniş Bantlı Uygulama $S11$ Kıyaslaması..... 42
Şekil 3.40 Geniş Bantlı Uygulama Yönlendiricilik Kıyaslaması..... 43
Şekil 3.41 Geniş Bantlı Uygulama Gerçek Kazanç Kıyaslaması..... 43
Şekil 3.42 Yalın Lens ile Delikli Lens Yapılarının Güç Akışının Karşılaştırması. 44
Şekil 3.43 Geniş Bantlı Uygulama Phi:0 için Kazanç Kıyaslaması..... 44
Şekil 3.44 Geniş Bantlı Uygulama Phi:0 için Yan Kulak Kıyaslaması..... 45

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Benzetim Ortamında Modellenen Malzemeye Ait Bilgiler [6] 13
Tablo 3.2 Açıklık Kuplajlı Yama Anten Parametreleri 14
Tablo 3.3 R/T 5880 Duroid Plakasına Ait Teknik Özellikler [8] 15
Tablo 3.4 Uzatılmış Lens Anten Parametreleri 17
Tablo 3.5 Uydurma Katmanına Sahip Lens Anten Parametreleri 19
Tablo 3.6 Delikli Uydurma Katmanına Sahip Lens Anten Parametreleri 23
Tablo 3.7 Çok Geniş Bantlı Anten Parametreleri 31
Tablo 3.8 Rogers RO3003 Özellik Çizelgesi 31
Tablo 3.9 Çok Geniş Bantlı Uzatılmış Lens Anten Parametreleri 34
Tablo 3.10 Çok Geniş Bantlı/Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten Parametreleri 37
Tablo 3.11 Çok Geniş Bantlı/Delikli Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten Parametreleri 40

ÖZET

Delikli Dielektrik Lens Anten Tasarımı

Mücahit ALÇEP

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Fikret TOKAN

Yüksek frekanslarda çalışan ufak yapıdaki dielektrik lens antenler, milimetrik dalga uygulamalarında kendine sıkça kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Otomotiv sektöründe W bantta çalışan hız sabitleme ve otomatik park sistemleri, X bantta çalışan askeri radar sistemleri ve Ku/K/Ka bantlarında çalışan yapay görüntüleme sistemleri bu kullanım alanlarına örnektir.

Bu tez kapsamındaki çalışmalar iki kısma ayrılmıştır. İlk kısımda W bantta (74-80 GHz) çalışan dar bantlı bir uygulama için tek uydurma katmanına sahip bir lens tasarlanmıştır. İkinci kısımda ise hava ile yoğun malzeme arasındaki geçişi sağlayacak uygun elektriksel geçirgenlik sabitleri olan 3 adet uydurma katmanı ile C ve X bantlarında (4-12 GHz) çalışabilen geniş bantlı bir lens anten tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan geniş bantlı lens yapısına eş değer olacak şekilde, lens

yapısının malzemesi ile aynı elektriksel geçirgenlik sabitine sahip, 3 adet uydurma katmanı üzerinde delikler açılarak elektriksel geçirgenlik sabitleri ayarlanmış bir başka lens tasarımı yapılmıştır. Sonuç olarak delikli dielektrik lens yöntemi ile üretim maliyetinin düşürüleceği aynı ışıma özelliklerine sahip lensin tasarlanabileceği ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Lens anten, çok geniş bant, dielektrik yapı, milimetrik dalga

ABSTRACT

Perforated Dielectric Lens Antenna Design

Mücahit ALÇEP

Department of Electronics and Communications Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Fikret TOKAN

The dielectric lens antennas, which are working in high frequencies, have started to find themselves frequently in millimetric wave applications. Examples of such applications are adaptive cruise and automatic parking systems operating in the W-band used in the automotive industry, military radar systems operating in the X band and artificial imaging systems operating in Ku / K / Ka bands.

In the first part, a lens with a single matching layer is designed for a narrow band application running in the W-band (74-80 GHz). In the second part, a wide-band lens antenna design that can work in C and X-bands (4-12 GHz) is made with 3 matching layers which have appropriate relative permittivity constants

to ensure the transition between air and dense material. Another lens design has been made which has the same relative permittivity constant as the main material of the lens structure, which is equivalent to the previously designed broadband lens structure, and the relative permittivity constants are adjusted by opening the holes on the 3 matching layers. As a result, it has been shown that the lens with the same radiation characteristics can be designed with the perforated dielectric lens method.

Keywords: Lens antenna, ultra wide band, dielectric structure, millimeter wave

1
Giriş

1.1 Literatür Özeti

Dielektrik lens yapılarının geçmişi 1888 yılına kadar uzanmaktadır. Oliver Lodge'nin 1888 yılında 1 m dalga boyundaki yaptığı çalışma lensler ile ilgili yapılan ilk çalışma olarak kabul edilmektedir. Ancak 2.Dünya Savaşının sonuna kadar geçen süre zarfında lensler üzerindeki çalışmalarda pek fazla ilerleme kaydedilmemiştir. Lensler ilk başlarda kazancı arttırmak ve anten hüzmesini yönlendirmek için kullanılmıştır. Parabolik reflektörlere göre hafif ve daha az hacimli olmaları lens yapılarını o dönemlerde bir adım öne çıkarmıştır [1].

D. F. Filipovic, slot anten üzerine tasarlanmış uzatılmış dielektrik lens ve eliptik lens çalışmalarını 1993 yılında literatüre kazandırmıştır. Uzatılmış lens yapısı ile daha yüksek yönlendiricilik kazancı olan lens antenler üretilmiştir [2].

Günümüzde lens antenler ile ilgili çalışmalar yüksek frekanslarda yapılmaktadır. Günümüz ihtiyaçlarında anten yapılarının geniş bantlı ve yüksek kazançlı olmaları talep edilmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda, lens antenlerin üzerine uydurma katmanı eklenerek, lens antenlerin performansında iyileştirmeler yapılmıştır. Uydurma katmanlarının sayısı arttırılarak hava ortamı ile lensi oluşturan dielektrik malzeme arasındaki geçiş kademeli olarak sağlanmış olup geniş frekans bandındaki lens anten performansı arttırılmıştır [3].

Lens antenlerin uydurma katmanlarının artmasıyla birlikte üretim zorluğu da artmıştır. Birden fazla uydurma katmanını üst üste eklemenin üretim maliyetini ve zorluğunu arttıracağı ön görülmüş bu nedenle alternatif yöntemlerin geliştirilmesi

zorunluluk haline gelmiştir. Bu kapsamda lensin üzerine, lens ile aynı malzemeden oluşan, hava ile homojen dağılmış dielektrik yapılar oluşturularak uydurma katmanlarının elektriksel geçirgenlik sabitleri değiştirilmiştir [4].

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, tek çeşit malzemeden oluşan delikli uydurma katmanlarına sahip lens anten ile farklı dielektrik malzemelerden oluşan uydurma katmanlarına sahip lens antenin benzer performans gösterebileceğini ve birbirlerinin alternatifini oluşturabileceğini ortaya koymaktır. Literatür araştırmasında, benzer çalışmaların var olduğu ancak 3 boyutlu bir lens üzerinde denenmemiş olduğu görülmüştür. Bu nedenle 3 boyutlu yapılar üzerinde çalışmalar yapılmış olup elde edilen sonuçlar kıyaslanarak sonuç kısmında verilmiştir.

1.3 Hipotez

Literatürde, dielektrik malzemeler içerisinde homojen olarak dağılmış havanın, malzemenin elektriksel geçirgenlik sabitini değiştirebileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda dielektrik malzemenin üzerine, aynı malzemeden oluşmuş yapılar eklenerek, hava ile karışmış daha düşük yoğunluklu katmanlar elde edilmiştir. Bu tezde ise dielektrik malzemeden oluşan 3 boyutlu bir lensin üzerine eklenecek olan uydurma katmanlarının üzerinde delikler açılarak uydurma katmanlarının elektriksel geçirgenlik sabitleri değiştirilmiştir. Hava ortamına geçişin kademeli olarak yapılması ile ortamlar arasındaki yoğunluk farkına bağlı olarak oluşacak iç yansımaların azaltılabileceği ön görülmüştür.

Günümüz teknolojisinde 3-boyutlu yazıcılar sayesinde bu tür yapıların üretim zorlukları oldukça azalmıştır. 3-boyutlu yazıcıların kullanılması durumunda, farklı malzemelerden oluşan uydurma katmanlarını kullanmak yerine uydurma katmanları üzerinde delik oluşturma işleminin üretim maliyetini azaltacağı ve üretimi basitleştireceği değerlendirilmektedir.

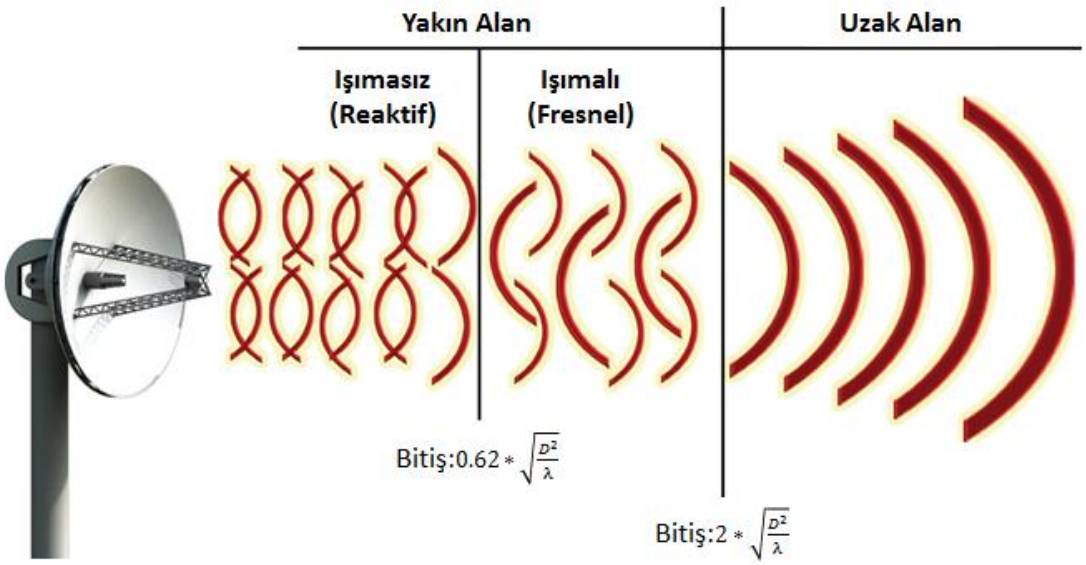
2
Lens Anten

Teorik altyapısı incelendiğinde radyo frekanslarında kullanılan lensler ile optik frekanslarda kullanılan lensler benzer özellikler göstermektedir. Optik lenslerin görünür bölge frekanslarında çalıştığı göz önüne alınırsa çalışma frekansları içerisinde yönlendiricilik kabiliyeti kazandırdığı dalga boyları nano metre mertebelerinde olmaktadır.

Mikrodalga frekanslarında lens, antenlerin ışıma açıklıklarından yayılan elektromanyetik sinyalleri yüksek elektriksel yoğunlukları sayesinde yönlendiren yapılara verilen isimdir. Kullanılan lensin boyutu çalışma frekansına bağlıdır, frekans ne kadar yüksek ise lens o kadar küçük olmaktadır. Bu nedenle lens yapıları yaygın olarak yüksek frekanslarda kullanılmaktadır.

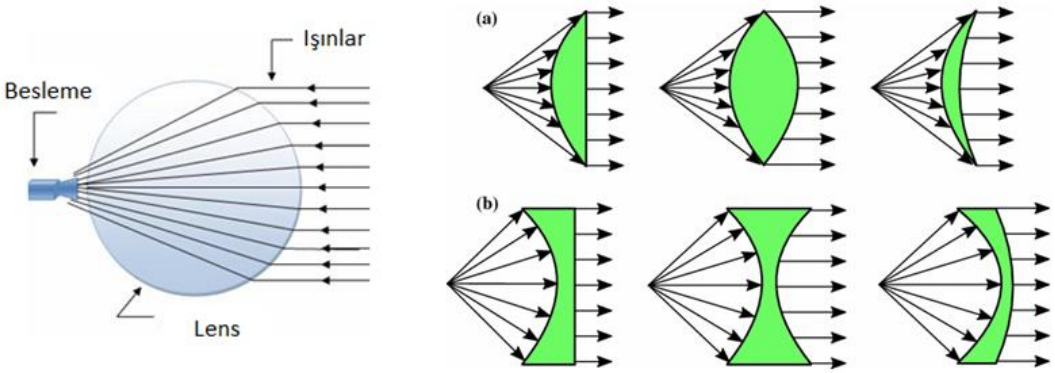
İletim sırasında antenin ön kısmında bulunan lens, antenlerinin odak noktasına denk gelecek şekilde yerleştirilir, bu şekilde antenin ışıma açıklığından dairesel olarak yayılan elektromanyetik sinyaller, lens yüzeyinden düzlemsel dalgaya yakın şekilde yayılmaktadır. Alma sırasında, gelen elektromanyetik dalgalar lens yüzeyine çarptığında elektriksel geçirgenlik sabitinin, gelen ortamdan yoğun ve farklı olmasına bağlı olarak kırılırlar ve alıcı antenin odak noktasına yoğunlaşırlar.

Lensler, frekans ve uygulama alanına bağlı olarak değişiklik gösterse de teorik altyapıda benzer biçimde çalışmaktadır. Düzlemsel dalga yapısı, elektromanyetik dalganın serbest uzayda kayıpsız bir şekilde ilerlemesini sağlamaktadır. Duran dalga modeli ideal bir modeldir. Elektromanyetik dalgalar sonsuz uzaklığa geldiği durumda düzlem dalga yapısına bürünmektedir.



Şekil 2.1 Anten Alan Sınırları

Şekil 2.1'de antenin alan sınırları verilmiştir. Uzak alan sınırı olarak adlandırılan ve elektromanyetik dalganın düzlemsel dalga formuna dönüştüğü bu bölgede elektrik ve manyetik alan birbirlerinin oluşturarak elektromanyetik dalganın serbest uzayda kayıpsız bir biçimde yol almasını sağlamaktadır.



Şekil 2.2 Dielektrik Lens ve Optik Lens Yapısı

Lens yapıları, mikrodalga frekanslarını içeren uygulamalarda giderek artan bir ilgiye maruz kalmaktadır. Özellikle açık alan uygulamalarında yüksek frekanslara çıkıldıkça anten üzerinde oluşan olumsuz çevre koşulları, bununla birlikte

kompakt (1.2λ uzunluğu) alan ihtiyacı bu rağbetin oluşmasında büyük rol oynamaktadır.

Dielektrik lensler, iletim dalgalarının lens ortamı tarafından geciktirildiği bölgeleri için isimlendirilir. Lens, bu durumda genellikle yoğun dielektrik malzemeden oluşur. Bu tip antenler genellikle 3 GHz'den daha düşük frekanslar için ağır ve hacimli olduklarından mikrodalga ve milimetre dalga frekansları kullanılır. Dielektrik malzemenin elektriksel olarak geçirgenlik değeri, lens anten tasarımında kritik derecede önem arz etmektedir.

Lens antenleri yapılarına göre 3 kısma ayırabiliriz. Bu tez kapsamında, 3 boyutlu dielektrik lens anten yapısı kullanılmıştır. Anten üzerinde geniş bantlı ve dar bantlı çalışmalar yapılmış olup dielektrik uydurma katmanları ile lens üzerinde geçiş bölgelerinin oluşturulabileceği, bu geçiş bölgelerinin üzerlerinde delikler açılarak elektriksel geçirgenlik sabitinin değiştirilebileceği öne sürülmüştür.

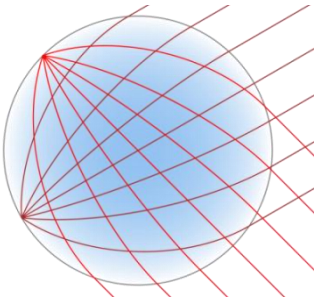
2.1 Lens Anten Çeşitleri

2.1.1 Luneburg Dielektrik Lens

Luneburg Lens yapıları, geniş bantlı ve yüksek kazanca sahip olması nedeniyle geniş açılı hüzme taraması için iyi bilinen bir lenstir. İdeal bir Luneburg Lens yüzeyindeki her nokta, karşı taraftan meydana gelen bir dalganın odak noktasıdır. Genellikle küresel bir Luneburg Lensinin geçirgenlik dağılımı,

$$\varepsilon_r = 2 - (r/R)^2 \tag{2.1}$$

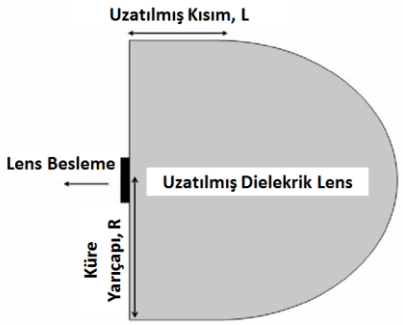
formülü ile ifade edilmektedir.



Şekil 2.3 Luneberg Lens Yapısı

2.1.2 Uzatılmış Yarım Küre Lens

Uzatılmış yarım küre lens, fabrikasyon için basit şekli sayesinde ilave lens yapıları için farklı bir alternatif oluşturmaktadır. Uzatılmış yarım küre lens, Luneberg Lens yapısı ile benzer özellikler göstermekte olup yarı kürenin silindir ile birleştirilerek uzatılmış haline benzemektedir. Burada, R kürenin ve silindirin yarıçapı olup, L ise eklenmiş olan silindirin uzunluğudur. Besleme genellikle lensin taban kısmında bulunan düzlemsel bir antenden veya açıklık anteni tarafından oluşturulan eş değer açıklık üzerinden sağlanmaktadır.



Şekil 2.4 Uzatılmış Yarım Küre Lens Yapısı

Burada tanımlanan L silindir uzunluğunu,

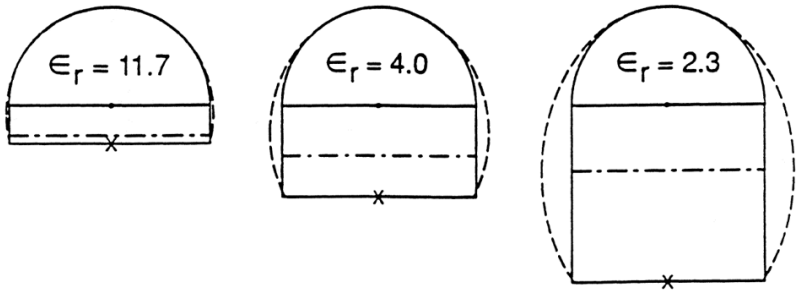
$$L = \frac{R}{n-1} \tag{2.2}$$

formülü ile ifade edilmektedir [2].

L=Silindir Uzunluğu

R= Silindir ve Küre Yarıçapı

n=Lens Kırınım Sabiti

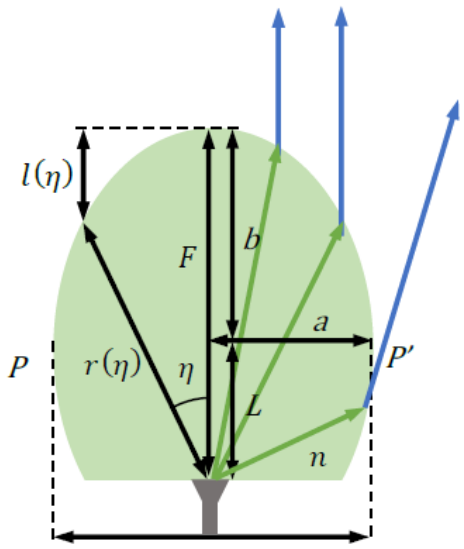


Şekil 2.5 Silindir Uzunluğunun Elektriksel Geçirgenlik Sabiti ile Değişimi

Uzatılmış yarım küre lens yapısının silindir kısmının uzunluğu ile malzemenin elektriksel geçirgenlik sabiti ters orantılıdır. Lens malzemesinin yoğunluğunun artmasıyla birlikte lensin yönlendiricilik kabiliyeti, daha kısa silindir uzunluklarında elde edilmektedir [2].

2.1.3 Eliptik Lens

Eliptik lensler, lensin odak noktasına yerleştirilen bir besleme tarafından üretilen elektromanyetik ışımaların hava ortamında mümkün olduğunca kısa mesafe içerisinde düzlem dalgaya yakınsayacak şekilde çıkmasını sağlayan dielektrik malzemeden oluşmuş yapılardır.



Şekil 2.6 Eliptik Lens Yapısı

Şekil 2.6'da eliptik lens yapısı görülmektedir. Burada parametrik olarak ifade edilen terimler kartezyen koordinat sistemlerinde tanımlanmıştır.

a, x ekseni boyunca yarıçap, b, z ekseni boyunca yarıçaptır. L, odak noktasının merceğin merkezine göre konumunu ifade etmektedir ve b + L = F'dir. Eliptik lensin eksantrikliği, malzemenin elektriksel geçirgenlik sabiti ile ilişkilidir [2].

$$(\frac{x}{a})^2 + (\frac{z-L}{b})^2 = 1 \tag{2.3}$$

$$b = \frac{a}{\sqrt{1-1/n^2}} \tag{2.4}$$

$$L = b/n \tag{2.5}$$

2.2 Lens Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları

Lens antenler, farklı disiplinler içerisinde değerlendirildiğinde ortaya birçok avantaj ve dezavantajları çıkmaktadır.

2.2.1 Lens Anten Avantajları

Lens antenlerin avantajlarından en bariz olanı geniş uygulama alanları için kullanışlı olmalarıdır. Geniş frekans bandı isteyen sistemler için farklı miktarda ve yapıda bulunabilen dielektrik materyaller sayesinde tedarik açısından zorluk çıkarmamaktadır.

Mekanik yapıları, farklı montaj arayüzlerine uyum sağlayabildikleri için tek tipte ve geniş bantta üretilmiş olan bir dielektrik lens anten farklı alanlarda kullanılabilmektedir. Radar sistemine ait antenin ucuna veya bir baz istasyonuna ait düzlemsel antenin ışıma doğrultusuna dik gelecek şekilde ilave edilebilmektedir.

Lens antenlerde düzlemsel dalga formunun kısa mesafeler içerisinde elde edilmesi, özellikle test laboratuvarları gibi belirli koşullar altında çalışma yapılmak istenen alanlar için kritik bir rol oynamaktadır.

Lens antenlerin yüksek kazanca sahip olması ve elektromanyetik dalgaları belirli bir hüzme içerisinde yüksek yoğunluklu olarak yayması bu özellikleri açısından parabolik reflektör antenler ile oldukça benzerlik göstermektedir. Ancak parabolik reflektör antenlerde besleme noktasının neden olduğu görüş açısındaki blokaj nedeniyle hüzme içerisinde kör noktalar oluşabilmekte iken lens antenlerde böyle bir durum ile karşılaşılmamaktadır.

2.2.2 Lens Anten Dezavantajları

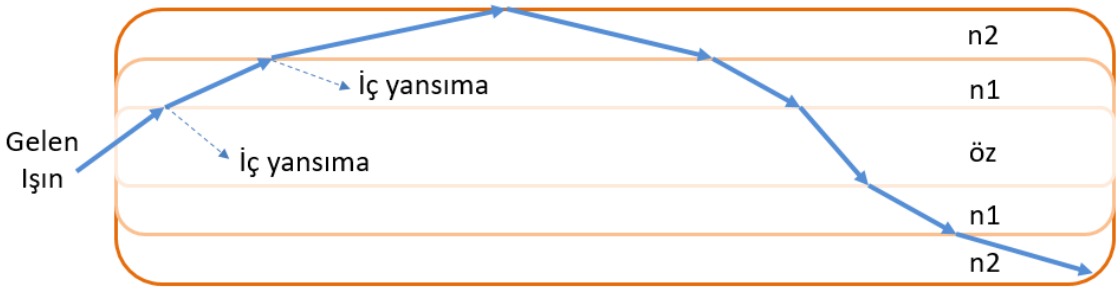
Lens antenlerin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Dezavantajlarının başında üretim kabiliyetinde istenen yüksek hassasiyet gelmektedir. Özellikle yüksek frekanslara çıkıldıkça anten boyutu ve dolayısıyla lens anten ebatlarındaki düşüşler lens üzerinde yapılacak işlem adımlarını mikro metre boyutlarına düşürmektedir. Üretim kaynaklı benzer bir sıkıntı bu çalışma kapsamında yaşanmıştır. Dar bantlı uygulama kapsamında 77 GHz'de üretimi yapılmak istenen delikli dielektrik lens yapısının üzerinde bulunan 250 mikro metre çapındaki delikler, üretim hassasiyetinin düşük olmasına bağlı olarak istenen şekilde üretilememiştir.

Lens yapılarının kullanıldığı 3 boyutlu antenler ile PCB yapıdaki düzlemsel antenler karşılaştırıldığında üretim zorluğu en büyük dezavantajdır. Yaygınlaşan PCB teknolojisi ile düzlemsel anten üretimleri mikrometre hassasiyetine indirilmiş iken 3 boyutlu yapılarda bu teknoloji ulaşılması güç ve maliyet açısından da büyük bir dezavantaja sahiptir.

2.2.3 Lens Anten Uydurma Katmanları

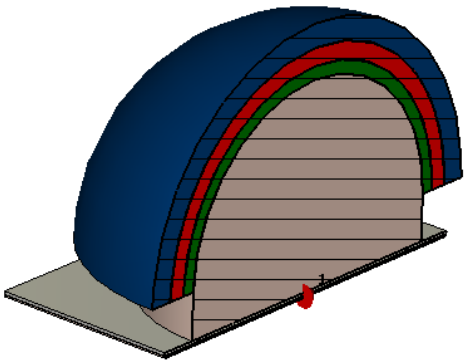
Uydurma katmanları, düzlemsel mikrodalga hatlarında olduğu gibi kullanılan malzeme içerisindeki dalga boyunun dörtte biri uzunluğunda tasarlandıklarında çalışma frekans aralığı dar olmaktadır. Geniş çalışma bandı içerisinde oluşan iç yansımaların ve empedans uyumsuzluğunun giderilmesi için lens ile hava ortamı arasındaki geçişin birden fazla uydurma katmanı ile kademeli olarak sağlanması gerekmektedir [3].

Lens antenin yapısını oluşturan dielektrik malzemenin, elektriksel geçirgenlik sabitinin yüksek olması durumunda malzeme içerisindeki dalga boyu kısalmaktadır. Ancak yüksek yoğunluktaki dielektrik malzeme ile hava ortamı arasındaki geçişin uydurma katmanı olmadan yapılması, elektromanyetik sinyallerin, ortamlar arasında geçişi sırasında yüksek miktarda kırılmalara ve iç yansımalara neden olmaktadır. Bu iç yansımalar ışıma verimini büyük ölçüde etkilemekte olup ışıma veriminde düşüşlere neden olmaktadır [3].



Şekil 2.7 Çok Katmanlı Uydurma Modeli

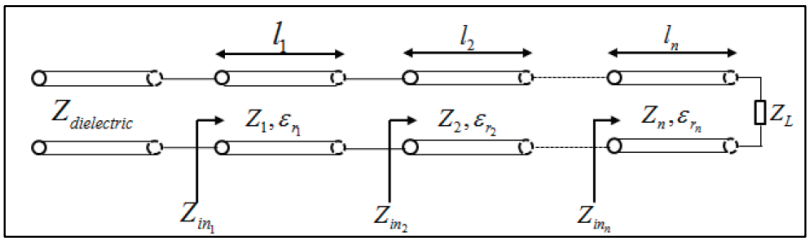
Lensin, birlikte kullanılacak anten sistemi ile tasarlanması önemli bir kıstastır. Anten yapısının düzlemsel bir anten veya açıklık anteni gibi farklı yapılarda olması durumunda lensin, anten ile olan konumlandırma ilişkisi elektromanyetik dalganın yayılım doğrultusunu etkilemektedir. Aynı zamanda lensin konumu antenin empedansı üzerinde büyük değişikliklere neden olmaktadır.



Şekil 2.8 Üç Adet Uydurma Katmanına Sahip Geniş Bantlı Lens

Basamaklı iletim hattı modeli kullanılarak, lens anteni ve uydurma katmanlarına ilişkin genel yansıma katsayısı, aşağıdaki şekilde formüle edilebilir [5];

$$\Gamma=\frac{|Z_{in_n}-Z_{dielektrik}|}{Z_{in_n}-Z_{dielektrik}},\ n=1,2,\ldots,N \qquad (2.6)$$



Şekil 2.9 Seri Bağlanmış Uydurma Katman Yapısı

Burada tanımlanmış olan $Z_{dielektrik} = Z_0/\sqrt{\varepsilon_c}$ olarak ifade edilmektedir. N olarak ifade edilmiş parametre, kullanılan dielektrik uydurma katman sayısı iken, ε_c ise lensin sahip olduğu elektriksel geçirgenlik sabitini sembolize etmektedir.

Formül (2.6)'da belirtilen Z_{in_n} giriş empedansının değeri,

$$Z_{in_n} = Z_n \frac{Z_{in_{n+1}} + jZ_n tan(\beta_n l_n)}{Z_n + jZ_{in_{n+1}} tan(\beta_n l_n)}, n = 1,2, \dots, N. \quad (2.7)$$

formülü ile ifade edilir. Burada Z_n; β_n faz sabiti ve l_n hat uzunluğuna bağlı olarak oluşan hat empedansıdır.

3
Lens Tasarımı ve Benzetim Çalışması

Lens tasarımına başlanmadan önce tasarım parametreleri, ihtiyaç duyulacak alt sistemler ve malzeme çeşitleri üzerinde çalışma yapılmıştır. Lens, bir anten ile birlikte bir sistem bütününü oluşturmaktadır. Bu nedenle uygulama alanı belirlendikten sonra bu uygulama alanına uygun bir anten seçimi ve dolayısıyla lens tasarımı yapmak gerekmektedir. Yapılan literatür araştırmalarından ve incelenen hazır ürünlerden yola çıkarak lens tasarımı iki kısma ayrılmıştır. Bu çalışma kapsamında da benzetimler dar bantlı ve geniş bantlı uygulama olacak şekilde CST benzetim ortamında farklı fiziksel yapıda ve çalışma bandında yapılmıştır.

3.1 Dar Bantlı Çalışma (74-80 GHz/W-Bant)

Tasarımın ilk kısmı olan W-bantta çalışan lens tasarımı, dar bantlı uygulama kapsamına girmektedir. Kendine sivil alanda gittikçe yer edinen W-bant sistemler, boyut avantajını da kullanarak otomotiv ve sivil havacılık sektöründe sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle çarpışma önleme ve mesafe ölçümü (radar altimetre sistemleri vb.) sistemleri gibi güvenlik tedbirlerinin oluşturan sistemlerde milimetrik dalga boyları üzerinden gerçekleştirilen hesaplamalar, doğruluk değeri ve güvenilirliği yüksek sonuçlar vermektedir.

Bu bölümde merkez frekansı 77 GHz olan bir açıklık kuplajlı yama anteni kullanılarak, anten yapısına uygun lens tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada asıl üzerinde durulan nokta, delikli yapıdaki uydurma katmanıdır. Lens yapısı üzerinde kullanılan uydurma katmanları, empedans uyumsuzluğunu minimuma indirecek ve iç yansımaları mümkün olduğunca düşürecek şekilde tasarlanmıştır. Uydurma

katmanlarının genişliği, her bir katmanın sahip olduğu elektriksel geçirgenlik sabiti için dalga boyunun dörtte biri olacak şekilde tasarlanmıştır.

Önerilen uydurma katmanı, lensin merkez kısmı ile aynı malzemeden oluşmaktadır. Uydurma katmanı üzerinde açılacak homojen dağılan delikler ile elektriksel geçirgenlik değerinin düşürülebileceği ön görülmüş ve benzetimler yapılmıştır.

Tablo 3.1 Benzetim Ortamında Modellenen Malzemeye Ait Bilgiler [6]

Physical Properties

PREPERM®	ISO	Unit	3D ABS DK 10.0
Tensile strength	527	MPa	**22**
Yield strength	527	MPa	**-**
Elongation at break	527	%	**5**
Elongation at yield	527	%	**-**
Flexural modulus	178	MPa	**700**
Impact strength, unnotched Izod	180		
4.0 mm (0.156-in) thickness,23°C/73°F		kJ/m^2	**20**
4.0 mm (0.156-in) thickness,-20°C/-4°F		kJ/m^2	**-**
Impact strength, notched Izod	180		
4.0 mm (0.156-in) thickness,23°C/73°F		kJ/m^2	**6**
4.0 mm (0.156-in) thickness,-20°C/-4°F		kJ/m^2	**-**
Vicat softening point	306/		
Rate A	A50	°C	**105**
Rate B	B50	°C	**85**
Deflection temperature	75/		
0.45 MPa (66 psi) – load	Method Bf	°C	**73**
1.8 MPa (264 psi) - load	Method Af	°C	**60**
Dielectric constant (1 GHz)	RF analyzer		**10.0**
Dissipation factor (1 GHz)	RF analyzer		**0.003**
Specific gravity		g/cm^3	**2.28**

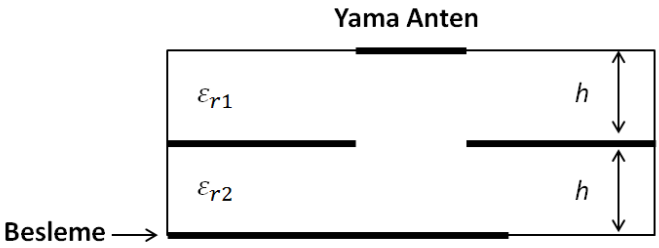
test specimen: 4.0 mm (0.156 in) thick, 10.0 mm (0.391 in) wide injection moulded rod

3.1.1 Açıklık Kuplajlı Yama Anten

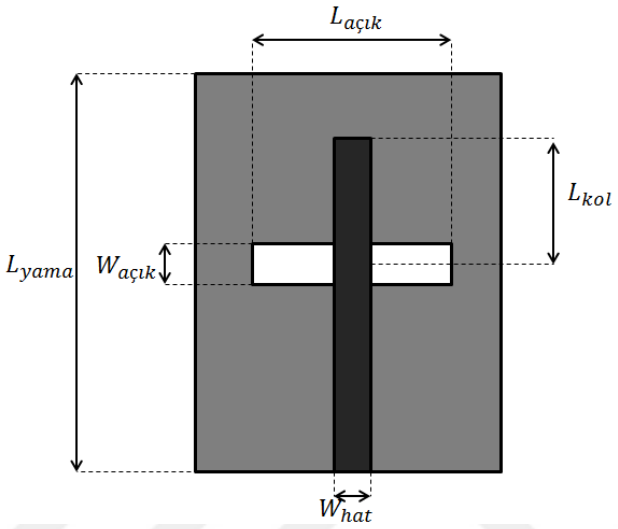
Mikrodalga ve milimetre dalga frekanslarında mikroşerit antenler çok küçük ve hafif olmaktadır. Bu avantajlara rağmen, arka kulak tarafına yapılan radyasyon en büyük dezavantajıdır. Arka kulak ışımasını en aza indirmek için açıklığın arkasında bir yansıtıcı plaka veya bir boşluk kullanılmaktadır [7].

Açıklık kuplajlı yama anten, yama anten ile mikroşerit hat arasındaki bir açıklığın birleştirilmesine dayanır. Mikroşerit hat, yama anteni beslemek için kullanılır iken yama anten, ön düzlemdeki ışımayı yönlendirmek ve aynı zamanda arka kulaklara doğru yapılan ışımayı azaltmak için kullanılır. Bu tür antenler için önemli olan açıklık genişliği ve uzunluğudur [7].

Lens ile birlikte anten sistemini oluşturacak olan açıklık kuplajlı antene ait bilgiler aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.1 Açıklık Kuplajlı Yama Anten Yandan Görünüş



Şekil 3.2 Açıklık Kuplajlı Yama Anten Üstten Görünüş

Tablo 3.2 Açıklık Kuplajlı Yama Anten Parametreleri

$L_{açık}$	0.58 mm
$W_{açık}$	0.26 mm
L_{yama}	19.17 mm
L_{kol}	0.49 mm
W_{hat}	0.3 mm
h	0.127 mm
$\varepsilon_{r_{dielektrik}}$	2.33

Düzlemsel antenin tasarımının gerçekleştirildiği plaka, Rogers firmasının R/T 5880 Duroid ($\boldsymbol{\varepsilon_{r_{dielektrik}}}$=2.33) kodlu ürünüdür. Dielektrik plakaya ait bazı teknik özellikler Çizelge 3.3'de paylaşılmıştır [3].

Tablo 3.3 R/T 5880 Duroid Plakasına Ait Teknik Özellikler [8]

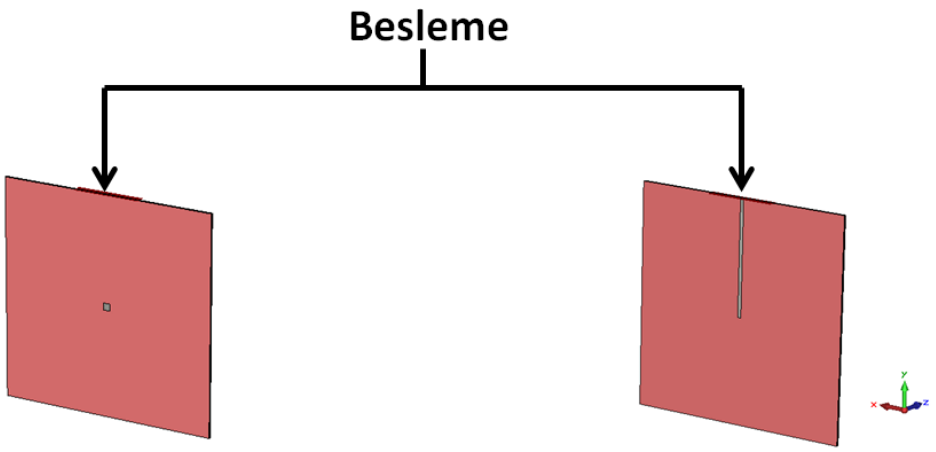
PROPERTY	TYPICAL VALUES RT/duroid 5870	TYPICAL VALUES RT/duroid 5880	DIRECTION	UNITS[3]	CONDITION	TEST METHOD
[1]Dielectric Constant, ε_r Process	2.33 2.33 ± 0.02 spec.	2.20 2.20 ± 0.02 spec.	Z Z	N/A	C24/23/50 C24/23/50	1 MHz IPC-TM-650 2.5.5.3 10 GHz IPC-TM 2.5.5.5
[4]Dielectric Constant, ε_r Design	2.33	2.20	Z	N/A	8 GHz - 40 GHz	Differential Phase Length Method
Dissipation Factor, tan δ	0.0005 0.0012	0.0004 0.0009	Z Z	N/A	C24/23/50 C24/23/50	1 MHz IPC-TM-650, 2.5.5.3 10 GHz IPC-TM-2.5.5.5
Thermal Coefficient of ε_r	-115	-125	Z	ppm/°C	-50 - 150°C	IPC-TM-650, 2.5.5.5
Volume Resistivity	2 X 10^7	2 X 10^7	Z	Mohm cm	C96/35/90	ASTM D257
Surface Resistivity	2 X 10^7	3 X 10^7	Z	Mohm	C/96/35/90	ASTM D257

Standard Thickness	Standard Panel Size	Standard Copper Cladding	Non-Standard Copper Cladding
0.005" (0.127mm) 0.031" (0.787mm) 0.010" (0.254mm) 0.062" (1.575mm) 0.015" (0.381mm) 0.020" (0.508mm) Non-standard thicknesses are available	18" X 12" (457 X 305mm) 18" X 24" (457 X 610mm) Non-standard sizes may be available up to 18" X 48" (457 X 1219 mm)	½ oz. (18µm) and 1 oz. (35µm) electrodeposited and rolled copper foil	¼ oz. (9 µm) electrodeposited copper foil ½ oz. (18µm), 1 oz. (35µm) and 2 oz. (70µm) reverse treat copper foil 2 oz. (70µm) electrodeposited and rolled copper foil
		Thick metal claddings may be available based on dielectric and plate thickness. Contact customer service for more information on available non-standard and custom thicknesses, claddings and panel sizes	

3.1.2 Lens Tasarımı

Otomotiv uygulamalarında sıkça kullanılan W-Bantta (74-80 GHz) yapılan çalışmada sırası ile yama anten, yalın lens yapısı, uydurma katmanına sahip lens ve delikli uydurma katmanına sahip lens yapısı adım adım analiz edilmiştir. Analizler sonucunda; S_{11}, gerçek kazanç, yönlendiricilik kazancı, Phi:0 için kazanç değeri ve Phi:0 için yan kulak seviyeleri karşılaştırılarak çalışma çıktıları elde edilmiştir.

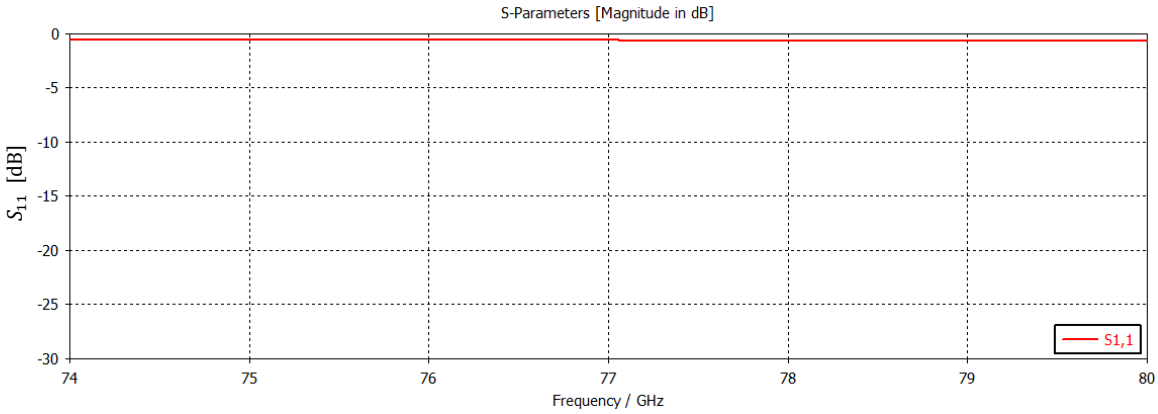
3.1.2.1 Tek Anten Analizi



Şekil 3.3 Açıklık Kuplajlı Yama Anten CST Çizimi

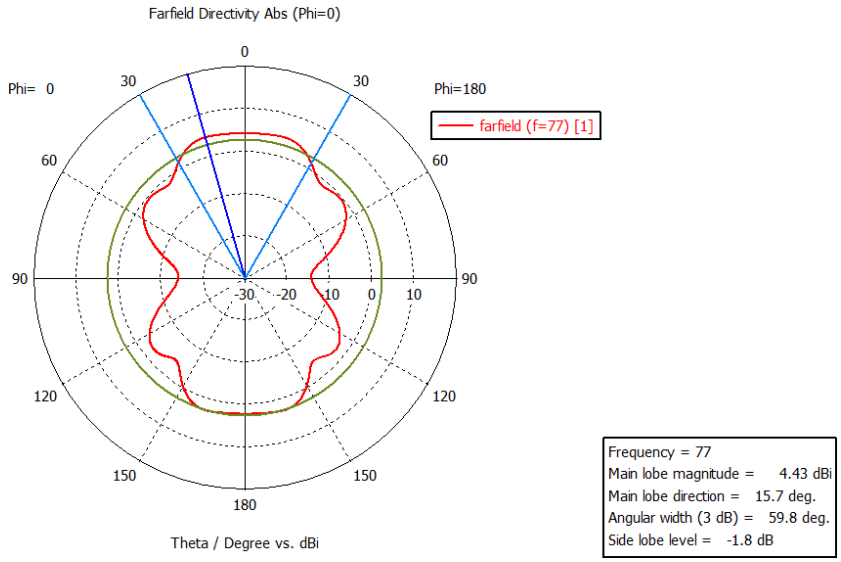
Şekil 3.3'de verilen görsel 77 GHz merkez frekansına sahip açıklık kuplajlı antene ait üç boyutlu çizimi içermektedir. Antenin beslemesi "end-feed" olacak şekilde PCB kartının yan yüzeyinden yapılmıştır.

Antenin 74-80 GHz arasındaki geri dönüş kaybı, CST üzerinde yapılan benzetim ile incelenmiş olup elde edilen sonuç şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Açıklık Kuplajlı Yama Anten S_{11} Sonucu

Açıklık kuplajlı antenin giriş empedans değeri, lens yapısı olmadığı durumda 50 ohm'dan uzaklaşmaktadır. Maksimum ışıma verimini sağlayacak $W_{açık}$ ve $L_{açık}$ değerleri, uzatılmış lens yapısı anten düzleminin üzerine eklendiği durum için hesaplandığından, lensin anten üzerinde olmadığı durumda empedans uyumsuzluğu ile karşılaşılmaktadır. Oluşan empedans uyumsuzluğuna bağlı olarak şekil 3.4'de görülen geri dönüş kaybı elde edilmiştir.



Şekil 3.5 Açıklık Kuplajlı Yama Anten Polar Koordinat Düzlemi Işıma Paterni

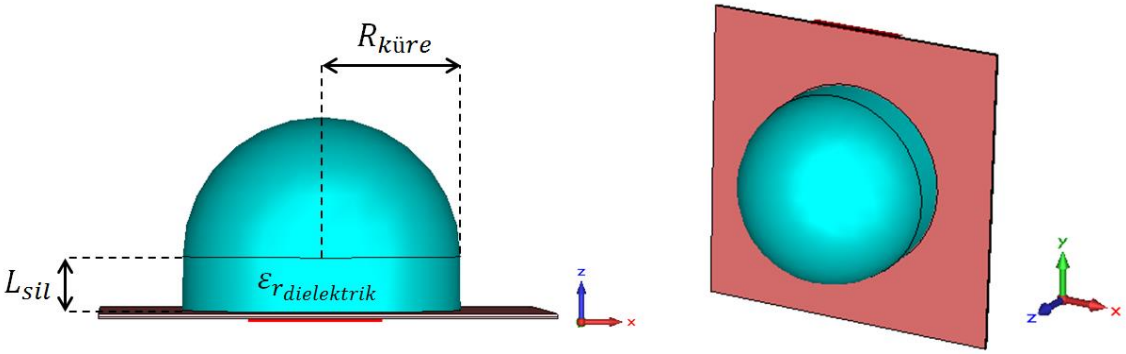
Antene ait ışıma paterni, polar koordinat sisteminde yukarıdaki görselde paylaşılmıştır. Anten, lens olmadan yalnız bir şekilde analiz edildiğinde antenin

ışıma paterni, yatay eksene yerleştirilmiş yönsüz anten ışıma paterni gibi elde edilmiştir. Işıma verimindeki kayıp nedeniyle maksimum 4.69 dBi yönlendiricilik kazancı elde edilmiştir.

Çalışma frekans aralığında, toplam kazanç değerleri incelendiğinde üst frekans bandında kazancın arttığı gözlemlenmiştir.

Antenin ışıma paterni, yönsüz antenin ışıma paternine benzediği için yan kulak seviyelerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Lens yapısının eklenmesiyle birlikte yönlendiricilik kazancı artmış olup yan kulak seviyeleri azalmıştır.

3.1.2.2 Uzatılmış Lens Analizi



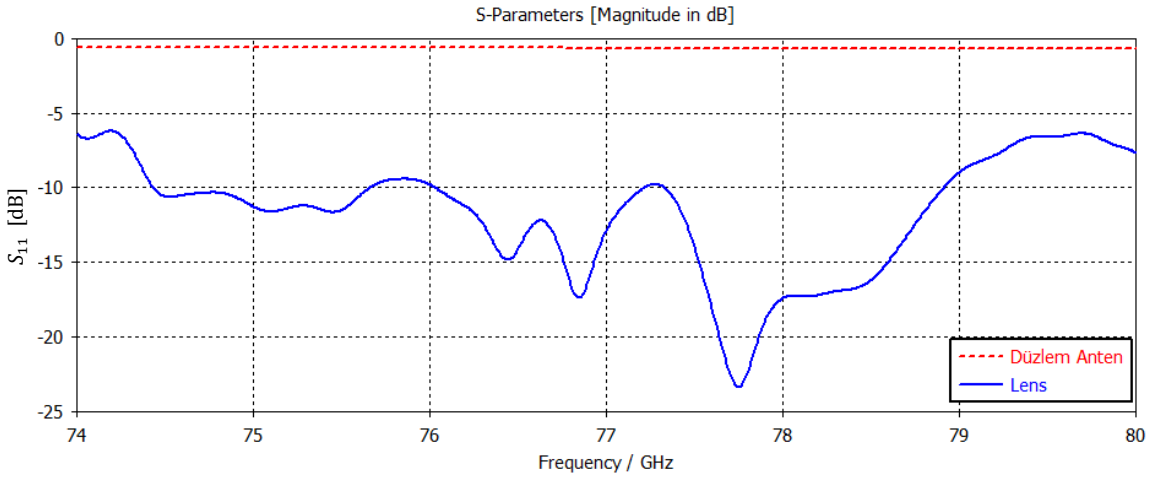
Şekil 3.6 Uzatılmış Lens Anten CST Görünümü

Şekil 3.6'da açıklık yama antenine, uzatılmış bir lens eklenmiştir. Lens, anten üzerine x/y-koordinatlarında simetrik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Lens, Çizelge 3.1'de teknik özellikleri verilen, elektriksel geçirgenlik sabiti $\varepsilon_{r_{dielektrik}}$=10 olan malzemeden tasarlanmıştır. Yapıda; L_sil silindir yüksekliğini, R_küre kürenin ve silindirin yarıçapını ifade etmektedir.

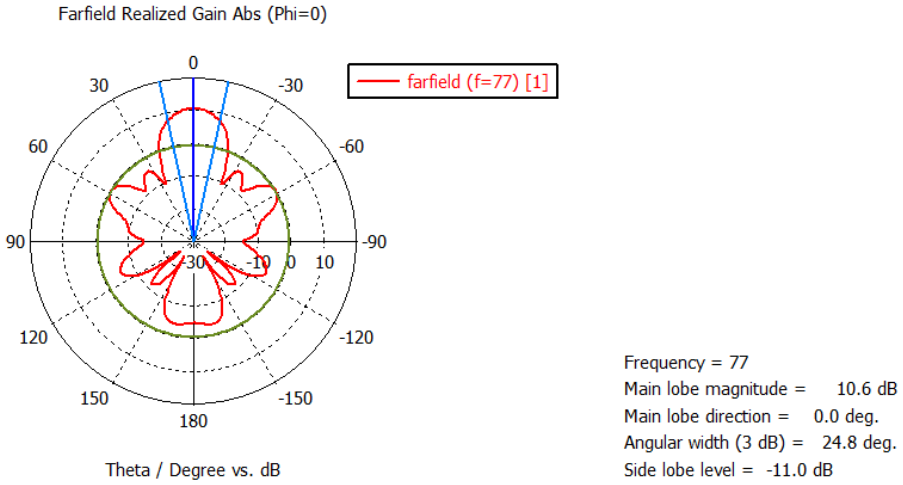
Tablo 3.4 Uzatılmış Lens Anten Parametreleri

L_{sil}	2.3 mm
$R_{küre}$	7 mm
$\varepsilon_{r_{dielektrik}}$	10

Antenin 74-80 GHz arasındaki geri dönüş kaybı, CST üzerinde yapılan benzetim ile incelenmiş olup elde edilen sonuç şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7 Uzatılmış Lens Anten S_{11} Sonucu

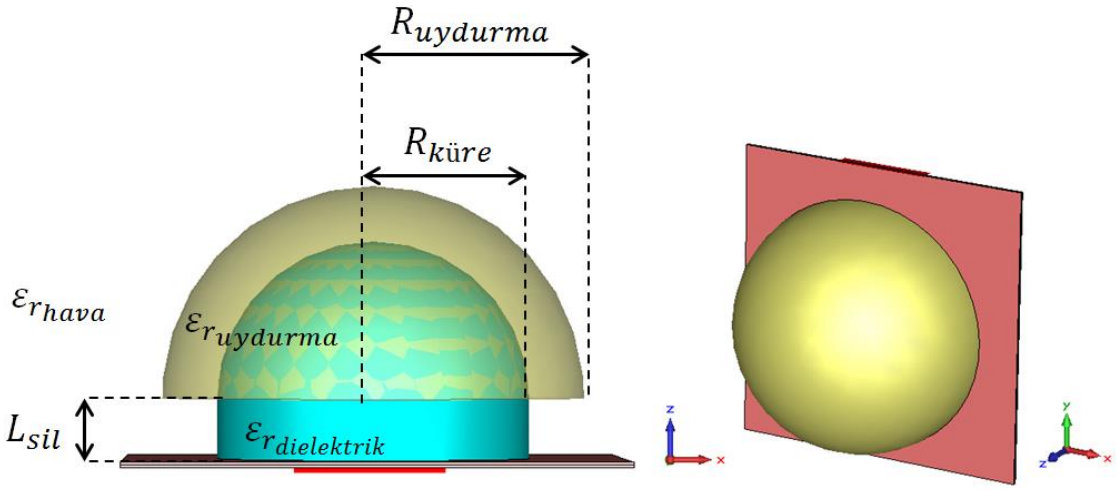


Şekil 3.8 Uzatılmış Lens Anten Polar Koordinat Düzlemi Işıma Paterni

Uzatılmış lens yapısındaki silindir uzunluğu, formül 2.2'de verilen eşitlikten hesaplandıktan sonra L_{sil} uzunluğunun optimizasyonu, 2-3 mm arasında 0.1 mm hassasiyetle gerçekleştirilmiştir.

Benzetim sonucunda antenin merkez frekansındaki S_{11} değerinin -10 dB seviyesinin altına indiği, çalışma bandı içerisinde ise büyük bir alanda -10 dB seviyesi civarında olduğu gözlemlenmiştir. Işıma paterninde ise yönlendiricilik kazancının Θ:0° doğrultusuna doğru 10.6 dBi olduğu gözlemlenmiştir.

3.1.2.3 Uzatılmış Lens Analizi



Şekil 3.9 Uydurma Katmanına Sahip Lens CST Görünümü

Bölüm 3.1.2.2'de uydurma katmanı olmayan uzatılmış lens analizi verilmiştir. Bu aşamadan sonra antenin çalışma frekans bandı içerisindeki performansını arttırmak için λ/4 uzunluğunda uydurma katmanı eklenmiştir. Eklenen uydurma katmanının genişliği, kullanılan malzemenin elektriksel geçirgenlik sabitini göz önüne alarak formül 2.2'deki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.5 Uydurma Katmanına Sahip Lens Anten Parametreleri

L_{sil}	2.3 mm
$R_{küre}$	7 mm
$R_{uydurma}$	9.19 mm
$\varepsilon_{r_{dielektrik}}$	10
$\varepsilon_{r_{uydurma}}$	3.16
$\varepsilon_{r_{hava}}$	1

Şekil 3.9'da verilen görselde; L_{sil} silindir yüksekliğini, $R_{küre}$ küre ve silindirin yarıçapını, $R_{uydurma}$ uydurma katmanının yarıçapını, $\varepsilon_{r_{dielektrik}}$ lens malzemesinin elektriksel geçirgenlik sabitini, $\varepsilon_{r_{uydurma}}$ uydurma katmanını oluşturan malzemenin elektriksel geçirgenlik sabitini, $\varepsilon_{r_{hava}}$ ise havanın elektriksel geçirgenlik sabitini ifade etmektedir.

Uydurma katmanının elektriksel geçirgenlik sabiti,

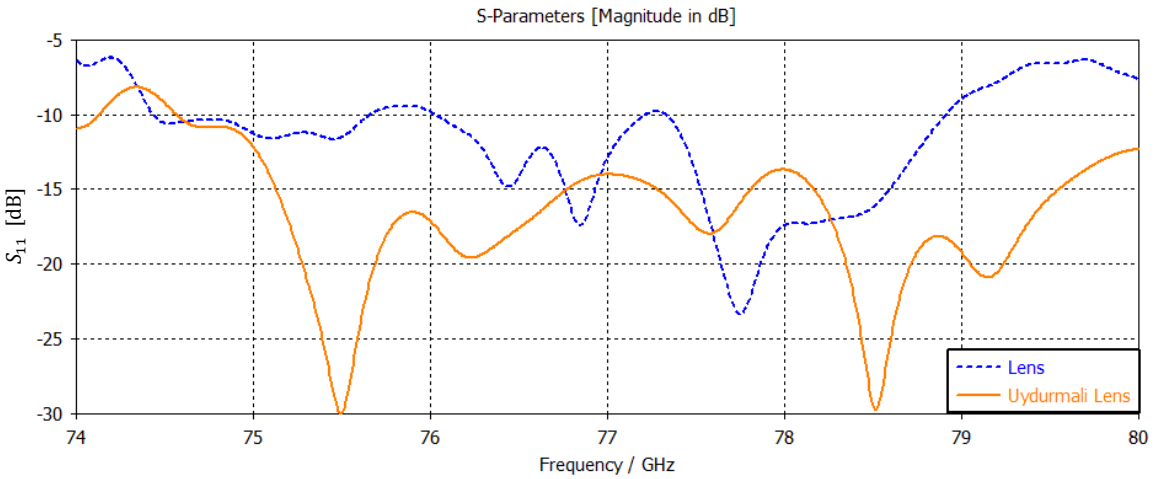
$$\varepsilon_{r_{uydurma}} = \sqrt{\varepsilon_{r_{hava}} * \varepsilon_{r_{dielektrik}}} \tag{3.1}$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

Uydurma katmanını uzunluğu hesaplanırken elektromanyetik dalganın hava ortamında olmadığı göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle elektriksel geçirgenlik sabiti 3.16 olan uydurma katmanı içerisindeki dalga boyu hesaplanırken,

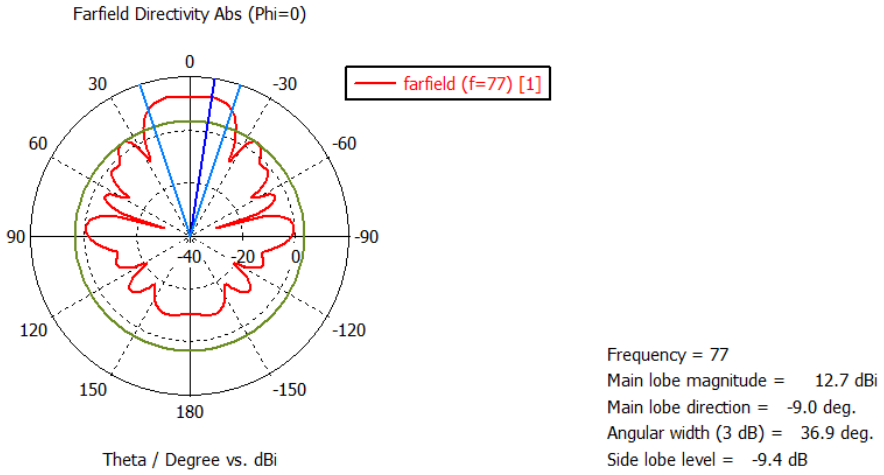
$$\lambda = \frac{c}{f\sqrt{\varepsilon_{r_{uydurma}}}} \tag{3.2}$$

formülü kullanılmıştır.



Şekil 3.10 Uydurma Katmanına Sahip Lens Anten S_{11} Sonucu (Uzatılmış Lens Anten ile Kıyaslamalı)

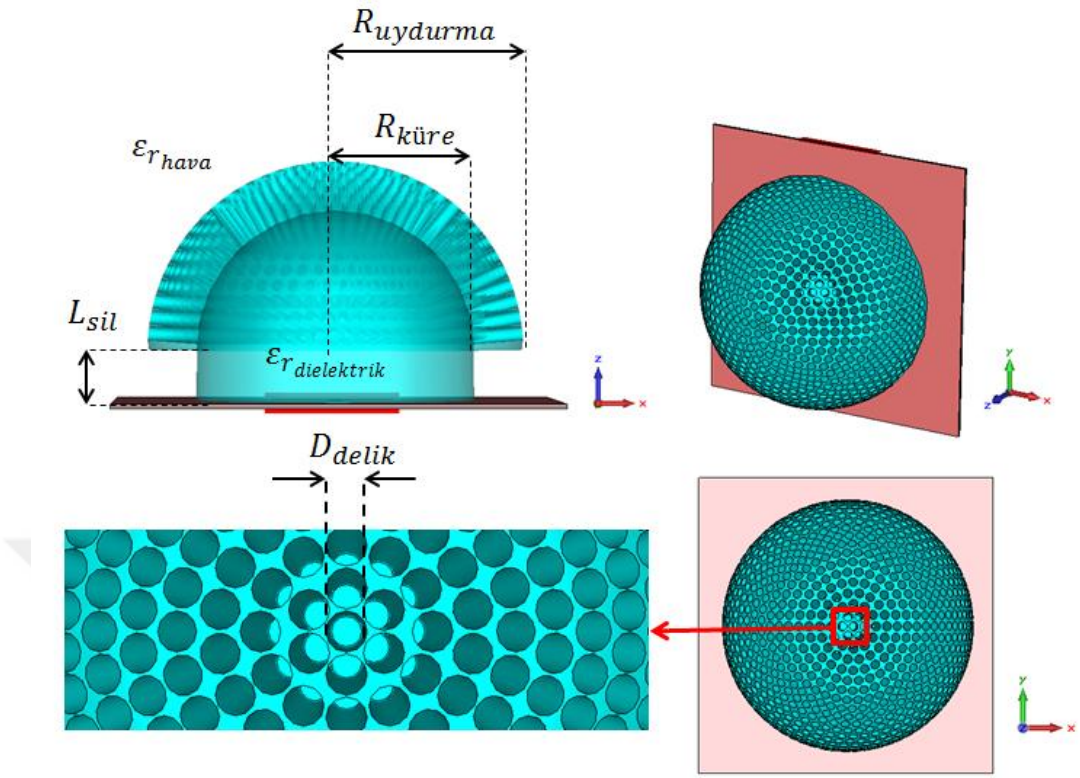
Şekil 3.10'da verilen görselde uydurma katmanına sahip dielektrik lens antenin S_{11} parametresinin merkez frekansında -15 dB seviyesine geldiği, tüm çalışma frekans bandında ise -10 dB seviyesinin altına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.11 Uydurma Katmanı Olan Lens Anten Polar Koordinat Düzlemi Işıma Paterni

Yapılan analizlerin sonucunda ana kulak seviyesinin uydurma katmanı sayesinde 2 dB arttığı gözlemlenmiştir. Lensin sahip olduğu yüksek elektriksel geçirgenlik sabiti sayesinde elektromanyetik sinyalin Θ:0° doğrultusunda yoğunlaşarak, lens antenin yönlendiricilik kazancının açıklık yama antene göre 8 dB daha yüksek olması sağlanmıştır.

3.1.2.4 Delikli Uydurma Katmanına Sahip Lens Analizi



Şekil 3.12 Delikli Uydurma Katmanına Sahip CST Görünümü

Son aşama olarak elektriksel geçirgenlik sabiti 3.16 olan delikli dielektrik uydurma katmanı sayesinde, hava ile lens malzemesi arasındaki geçiş alternatif bir metot ile modellenerek benzetim ortamında analiz gerçekleştirilmiştir.

Milimetre dalga frekanstaki bu anten yapılarını üretmek için yüksek maliyetli üretim cihazları kullanmak gerekmektedir. Bu nedenle önerilen bu alternatif metot ile maliyet ve üretim zorluğunun ortadan kaldırılabileceği düşünülmektedir.

Uydurma katmanının malzemesinin yerine temel yapı ile aynı elektriksel geçirgenlik sabitine sahip malzeme kullanılarak empedans uydurması yapılmıştır. Temel yapının elektriksel geçirgenlik sabitinin değeri 10 olduğu için uydurma katmanı üzerinde delikler açılarak elektriksel geçirgenlik değeri, 3.16'ya getirilmeye çalışılmıştır. Bunun için,

$$\varepsilon_{r_{uydurma}} * Y_{toplam} = \varepsilon_{r_{hava}} * Y_{hava} + \varepsilon_{r_{dielektrik}} * Y_{dielektrik} \quad (3.3)$$

formülü kullanılmıştır.

Y_{toplam}= Toplam yüzey alanı

$\varepsilon_{r_{uydurma}}$ = Uydurma katmanının bağıl geçirgenlik sabiti

Y_{hava}= Deliklerin oluşturduğu yüzey alanı

$\varepsilon_{r_{hava}}$ = Havanın bağıl geçirgenlik sabiti

$Y_{dielektrik}$= Lens malzemesinin oluşturduğu yüzey alanı

$\varepsilon_{r_{dielektrik}}$ = Lens malzemesinin bağıl geçirgenlik sabiti

Tablo 3.6 Delikli Uydurma Katmanına Sahip Lens Anten Parametreleri

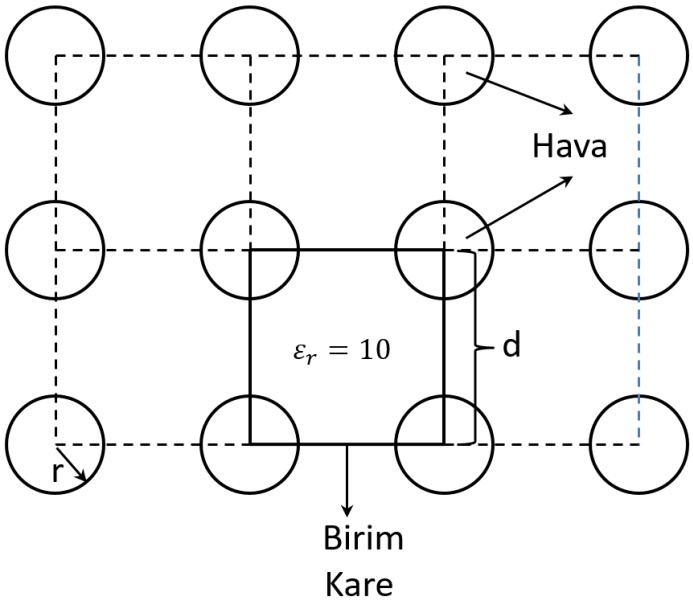
L_{sil}	2.3 mm
$R_{küre}$	7 mm
$R_{uydurma}$	9.19 mm
$\varepsilon_{r_{dielektrik}}$	10
$\varepsilon_{r_{hava}}$	1
D_{delik}	0.66 mm

Şekil 3.12'de verilen görselde; L_{sil} silindir yüksekliğini, $R_{küre}$ küre ve silindirin yarıçapını, $R_{uydurma}$ uydurma katmanının yarıçapını, $\varepsilon_{r_{dielektrik}}$ lens malzemesinin elektriksel geçirgenlik sabitini, D_{delik} uydurma katmanı üzerinde açılan deliklerin çapını, $\varepsilon_{r_{hava}}$ise havanın elektriksel geçirgenlik sabitini ifade etmektedir.

Uydurma katmanının elektriksel geçirgenlik sabitinin 3.16 yapılması için izlenen metot ve görsel Şekil 3.13'de paylaşılmıştır. Buna göre uydurma katmanının yüzeyi homojen olarak, d kenar uzunluğuna sahip birim karelere ayrılmıştır. Bu birim karelerin köşe noktalarından çizilen r yarıçapındaki daireler ile uydurma katmanı içerisinde hava, homojen olarak dağıtılmıştır. Uydurma katmanının içerisindeki hava oranı birim kare için,

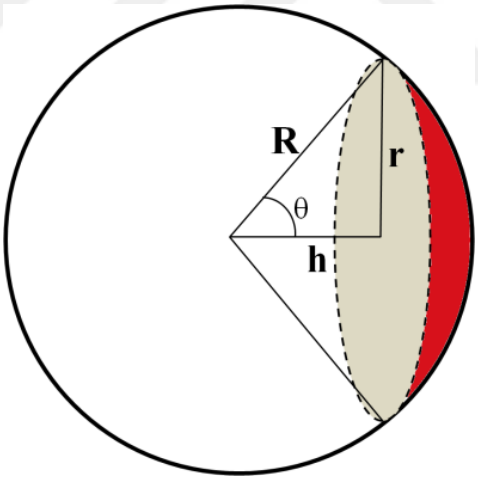
$$f_1 = \frac{\pi r^2}{\sqrt{3}d^2} \tag{3.4}$$

formülü ile hesaplanmaktadır.



Şekil 3.13 Uydurma Katmanı Yüzeninin Birim Karelere Bölünmesi

Formül 3.3'e göre uydurma katmanının elektriksel geçirgenlik sabiti ε_r, 3.16 olması için uydurma katmanının %68.5'inin hava ile homojen olarak doldurulması geri kalan %31.5'nin ise lensin yapı malzemesi ile dolu olması gerekmektedir.

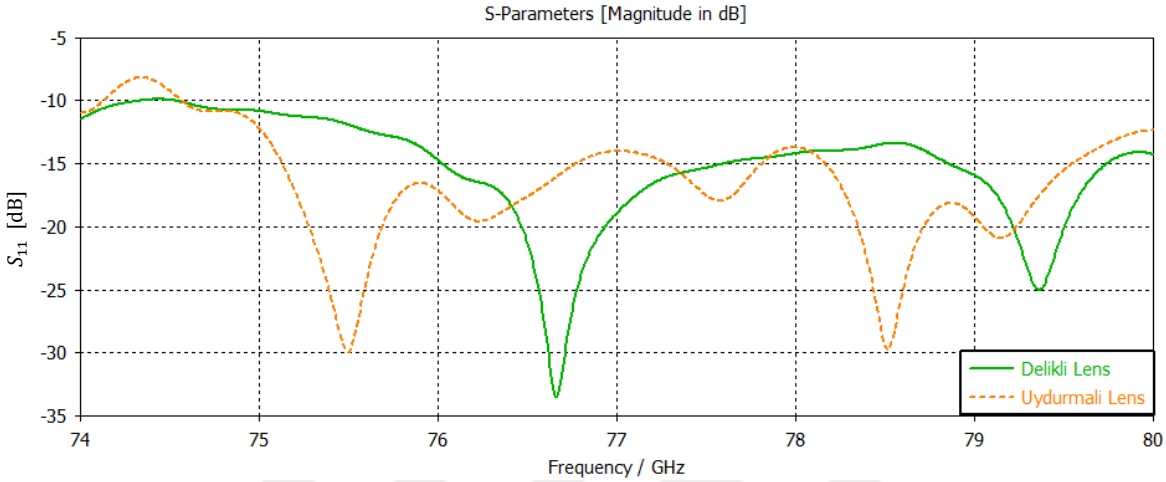


Şekil 3.14 Küre Yarıçap Gösterimi

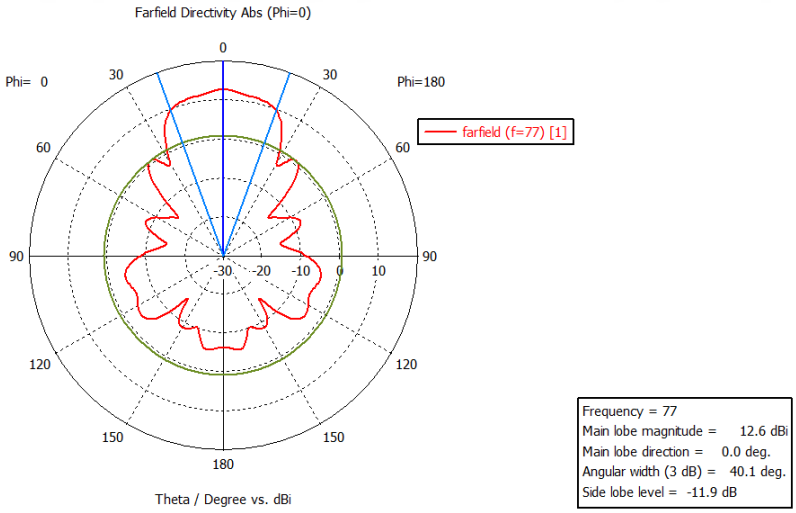
Bu çalışmada, delik yoğunluğu ile elektriksel geçirgenlik sabitini değiştirme hesabı, yüzey alanları üzerinden yapılmıştır.

Yalın lensin yarıçapı $R_{küre}$=14 mm'dir. Uydurma katmanının genişliği ise $R_{uydurma}$=2.19 mm'dir. Bu durumda uydurma katmanının iç yüzeyinin alanı ile dış yüzeyinin alanının eşit oranda hava ile dolması için uydurma katmanında

oluşturulacak deliklerin yarıçapları iç yüzeyden dış yüzeye doğru artması gerekmektedir. Delikler açılırken bu fark ihmal edilmiş olup uydurma katmanının orta noktası için yüzey alanı hesaplanıp delik dağılımı homojen olarak yapılmıştır. Yüzey üzerinden toplamda 784 adet delik açılmış olup elektriksel geçirgenlik değeri $\varepsilon_{r_{uydurma}}$=3.16 değerine getirilmiş olduğu varsayılarak benzetimlere başlanmıştır.



Şekil 3.15 Delikli Uydurma Katmanına Sahip Lens Anten S_{11} Sonucu (Uydurma Katmanına Sahip Lens Anten ile Kıyaslamalı)

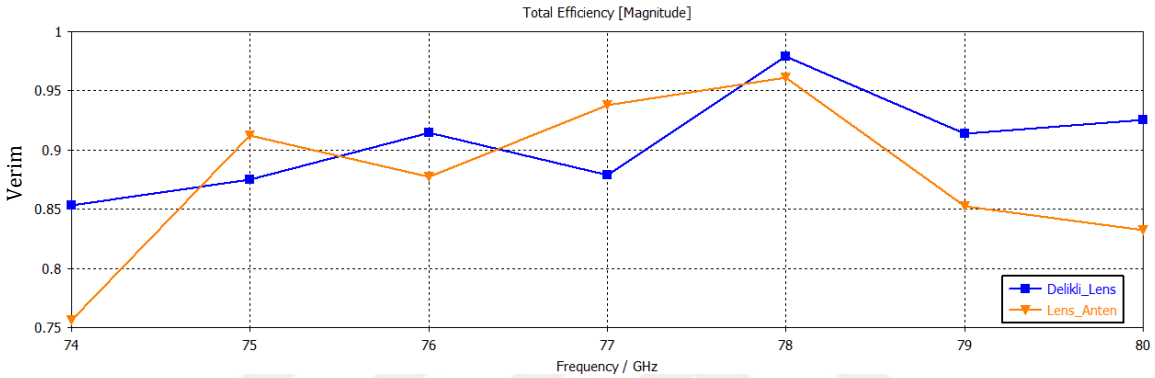


Şekil 3.16 Delikli Uydurma Katmanına Sahip Lens Anten Polar Koordinat Işıma Paterni

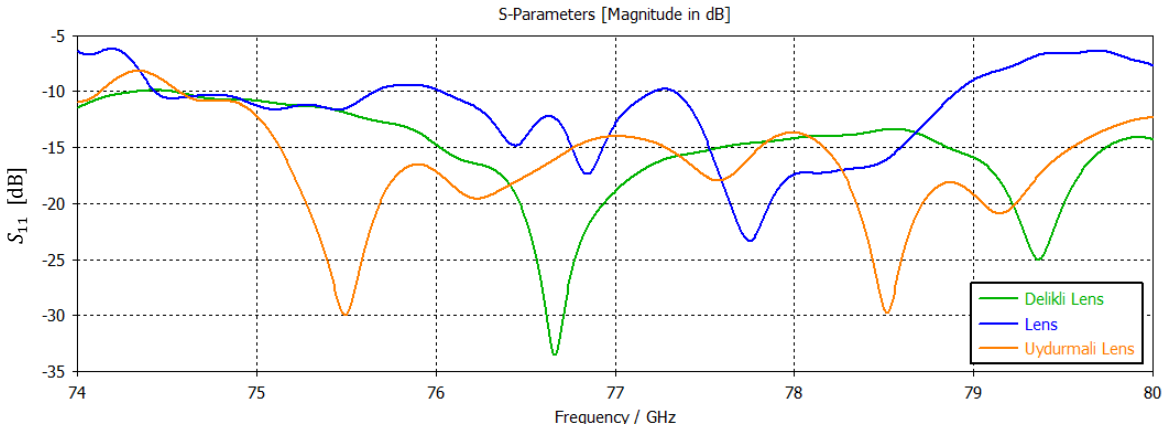
Benzetim sonuçları incelendiğinde S_{11} parametresinin, tüm çalışma frekans bandında -10 dB seviyesinin altında olduğu, çalışma bandı içerisinde ise %75'lik bir kısmın -15 dB seviyesini altında olduğu görülmüştür.

3.1.2.5 Dar Bant Uygulama Sonuç Kıyaslaması

Dar bantlı uygulama çerçevesinde, W-Bantta çalışan lens anten üzerinde adım adım ilerleme kaydedilmiştir. Sırası ile yama anten, yama antene ilave edilmiş lens, uydurma katmanı eklenmiş lens ve son olarak uydurma katmanı delikli yapıdan oluşan lens tasarımları üzerinde çalışılmıştır. Antenlerin performanslarının karşılaştırması aşağıdaki verilen grafiklerde, S_{11}, gerçek kazanç, yönlendiricilik kazancı, güç akışı, toplam verim, Phi:0 için kazanç değeri ve Phi:0 için yan kulak seviyesi olarak verilmiştir.



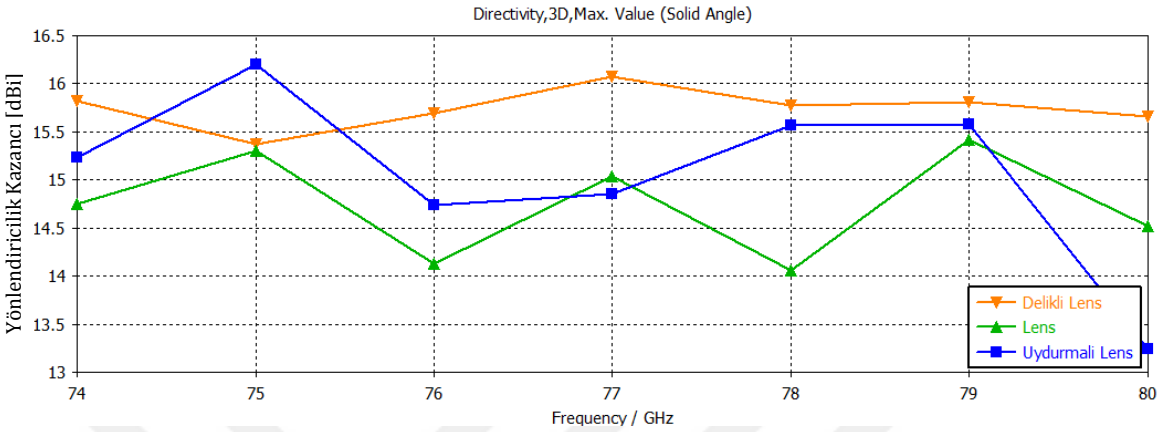
Şekil 3.17 Yalın Lens İle Delikli Lens Yapılarının Verim Karşılaştırması



Şekil 3.18 Dar Bantlı Uygulama S_{11} Parametresi Kıyaslaması

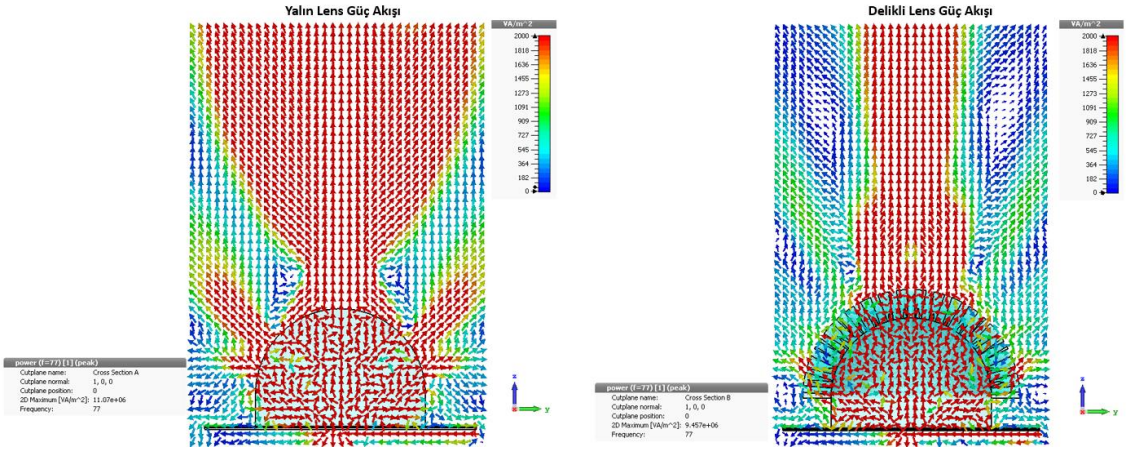
Antenlerin S_{11} parametreleri incelendiğinde, yama antenin lens yapısı olmadan S_{11} değerinin kötü olduğu gözlemlenmiştir. Yama antenin üzerine yalın lensin ilave edilmesi ile birlikte S_{11} parametresinin, çalışma bandının %60'ında iyileştiği, lensin üzerine uydurma katmanının eklenmesi durumunda ise S_{11} performansının çalışma bandı içerisinde %75'lik kısımda -15 dB seviyesinin altında olduğu

gözlemlenmiştir. Delikli uydurma katmanı, farklı malzemeden oluşan uydurma katmanı yapısına alternatif olarak ortaya sürülmüş bir yapıdır. Sonuçlar göstermektedir ki her iki uydurma katmanı da benzer performans sergilemekte olup birbirlerinin yerine kullanılabilmektedir.

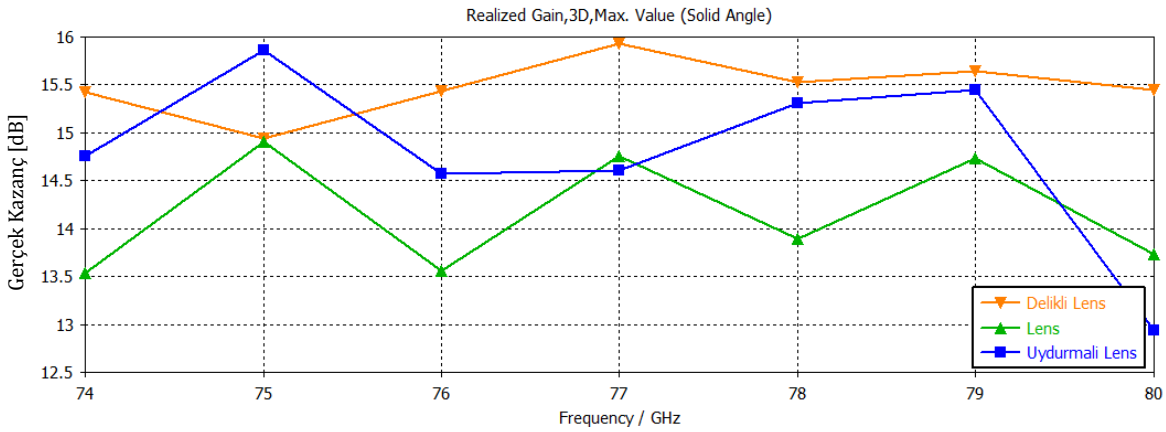


Şekil 3.19 Dar Bantlı Uygulama Yönlendiricilik Kıyaslaması

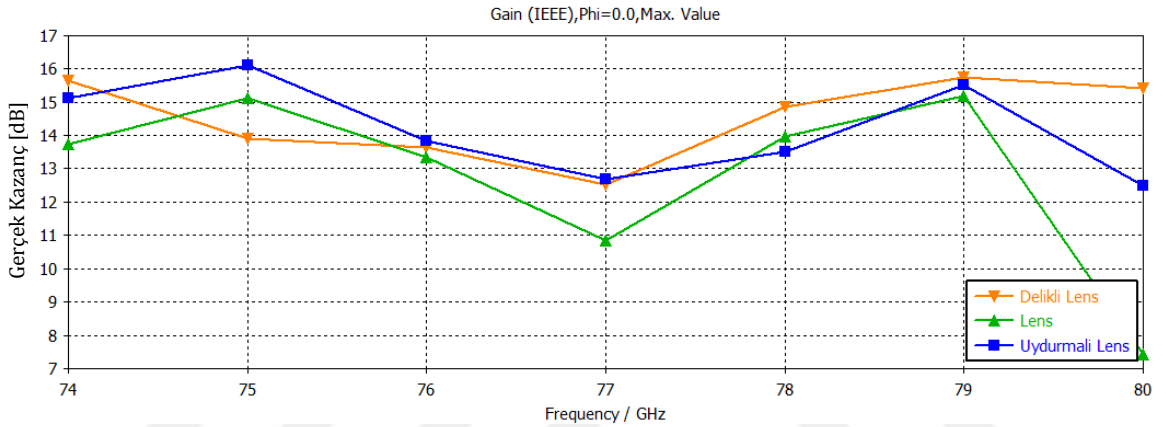
Antenlerin yönlendiricilik kazançları incelendiğinde, lens performanslarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Delikli yapıdaki lens antenin geniş bantta lineer bir ışıma performansının olduğu ve aynı zamanda uydurma katmanı olmayan lens antene göre ortalama 2.5 dB daha yüksek yönlendiricilik kazancı olduğu gözlemlenmiştir.



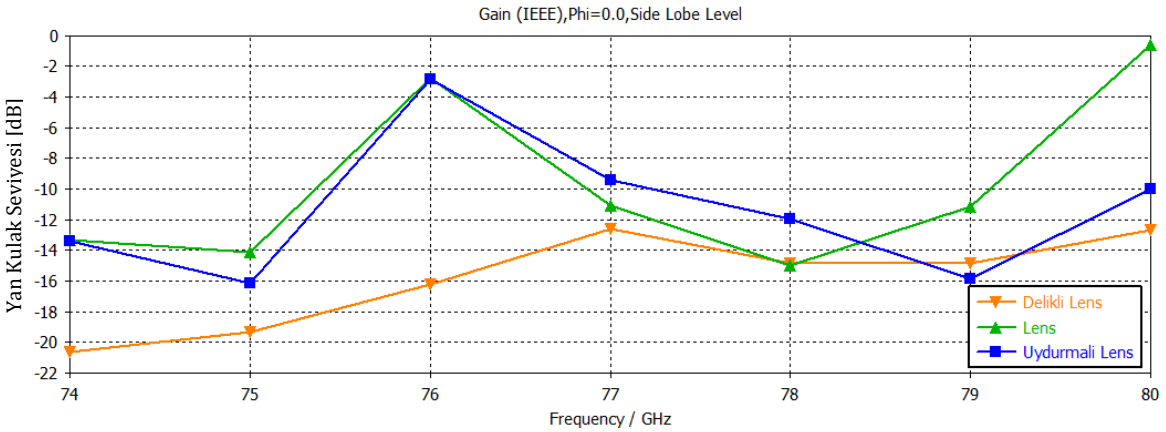
Şekil 3.20 Yalın Lens İle Delikli Lens Yapılarının Güç Akışının Karşılaştırması



Şekil 3.21 Dar Bantlı Uygulama Gerçek Kazanç Kıyaslaması



Şekil 3.22 Dar Bantlı Uygulama Phi:0 için Kazanç Kıyaslaması



Şekil 3.23 Dar Bantlı Uygulama Phi:0 için Yan Kulak Kıyaslaması

Antenlerin yan kulak seviyeleri incelendiğinde, yama antenin yönsüz anten ışıma paternine benzer bir yapıda ışıma yapmasından dolayı, yan kulak seviyelerinin yüksek olduğu görülmüştür. Yama antene, lens ve uydurma katmanına sahip lens ilave edilmesi durumunda ışıma verimi ile birlikte yönlendiricilik kazancı artıp yan

kulak seviyeleri azalmıştır. Delikli uydurma katmanına sahip lensin yama antene ilave edilmesi durumunda ise tüm çalışma frekans bandında yan kulak seviyesi -12 dB seviyesinin altında kalmıştır.

3.2 Bantlı Çalışma (4-12 GHz/C-Bant ve X-Bant)

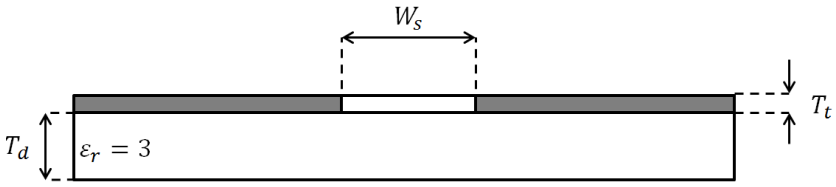
Çalışmanın ikinci kısmında C ve X bantlarında çalışan geniş bantlı lens tasarımı yapılmıştır. Geniş bantlı uygulamalarda, parabolik reflektör antenlere alternatif oluşturan bu lens antenler özellikle veri link sistemleri, uydu haberleşme sistemleri ve radar sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu bölümde merkez frekansı 8 GHz olan çok geniş bantlı bir slot anten kullanılmıştır. Bu anten ile birlikte kullanılmak üzere, üç adet delikli yapıda uydurma katmanına sahip bir lens tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın bu kısmında üzerinde durulan nokta, dar bantlı uygulamada olduğu gibi uydurma katmanları üzerinde delik açılarak malzemenin elektriksel geçirgenlik sabitinin değiştirilebileceğidir. Dar bantlı uygulamadan farklı olarak, sistemin geniş frekans bandında çalışması, geniş bantlı bir empedans uydurma ihtiyacını meydana getirmiştir. Oluşan bu geniş bantlı empedans uydurma ihtiyacını karşılamak için 3 adet uydurma katmanı kullanılmıştır.

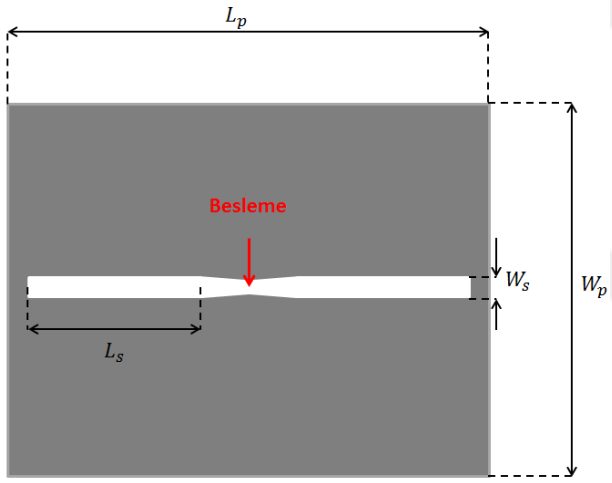
3.2.1 Çok Geniş Bantlı Slot Anten

Mikroşerit yapıdaki çok geniş bantlı slot anten, dar bantlı uygulamadaki anten ile benzer çalışma prensibine sahiptir. Üzerinde bulunan açıklık sayesinde kapasitif özellik gösteren üst yüzey, PCB plakanın alt yüzeyinden gelen mikroşerit hat vasıtasıyla ışıma yapmaktadır. Yama antenlerde olduğu gibi bu anten tipinde de arka ve yan kulan seviyelerine yapılan ışıma miktarının fazla olması en büyük dezavantajlarından biri olarak görülmektedir.



Şekil 3.24 Çok Geniş Bantlı Slot Anten Yandan Görünüm

Şekil 3.24 ve şekil 3.25'de verilen görsellerde; T_d plakanın dielektrik kısmının kalınlığını, T_t plakanın üzerinde bulunan bakır malzemenin kalınlığını, W_s slotun genişliğini, L_s slot kolunun uzunluğunu, W_p plakanın genişliğini, L_p plakanın uzunluğunu, $\varepsilon_{r_{dielektrik}}$ ise dielektrik malzemenin elektriksel geçirgenlik sabitini ifade etmektedir.



Şekil 3.25 Çok Geniş Bantlı Anten Üstten Görünüm

Antenin beslemesi şekil 3.25'deki görselde kırmızı ok ile gösterilen bölgeden "+" ve "–" potansiyel fark oluşacak şekilde slotun iki yanından verilmiştir. Şekil 4.21'de belirtilen T_t değeri plakanın ön yüzünde bulunan bakır yüzeyin kalınlığıdır. Burada kullanılan kalınlık değeri 0.15 mm olup bu değer Rogers plakalar için standart değer değildir. Bu nedenle 0.35 mm kalınlığına sahip standart bir plakaya, üzerinde 0.15 mm kalınlığında bakır yüzeyi kalacak şekilde işlem uygulanmalıdır. Bu kalınlığın oluşturulma amacı, lensi tutacak "lens holder" yapısını oluşturmaktır [9].

Tablo 3.7 Çok Geniş Bantlı Anten Parametreleri

T_d	0.15 mm
T_t	0.26 mm
W_s	1.875 mm
L_s	38.56 mm
W_p	115 mm
L_p	115 mm
$\varepsilon_{r_{dielektrik}}$	3

Çok geniş bantlı slot antenin tasarımının gerçekleştirildiği plaka, Rogers firmasının RO3003 ($\varepsilon_{r_{dielektrik}}$=3) kodlu ürünüdür. Dielektrik plakaya ait bazı teknik özellikler Çizelge 3.8'de paylaşılmıştır [10].

Tablo 3.8 Rogers RO3003 Özellik Çizelgesi

Property	Typical Value[1] RO3003	RO3035	RO3006	RO3010	Direction	Unit	Condition	Test Method
Dielectric Constant, ε_r Process	3.00 ± 0.04	3.50 ± 0.05	6.15 ± 0.15	10.2 ± 0.30	Z	-	10 GHz 23°C	IPC-TM-650 2.5.5.5 Clamped Stripline
[2] Dielectric Constant, ε_r Design	3.00	3.60	6.50	11.20	Z	-	8 GHz - 40 GHz	Differential Phase Length Method
Dissipation Factor, tan δ	0.0010	0.0015	0.0020	0.0022	Z	-	10 GHz 23°C	IPC-TM-650 2.5.5.5
Thermal Coefficient of ε_r	-3	-45	-262	-395	Z	ppm/°C	10 GHz -50 to 150°C	IPC-TM-650 2.5.5.5

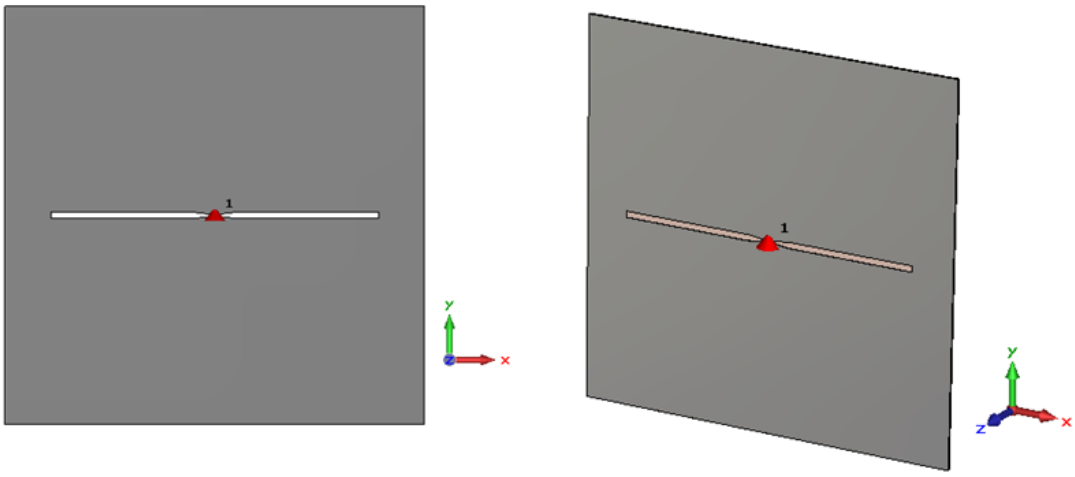
Standard Thickness	Standard Panel Size	Available Copper Cladding
RO3003/RO3035: 0.005" (0.13mm) 0.010" (0.25mm) 0.020" (0.50mm) 0.030" (0.75mm) 0.060" (1.52mm) **RO3006/RO3010:** 0.005" (0.13mm) 0.010" (0.25mm) 0.025" (0.64mm) 0.050" (1.28mm)	12" X 18" (305 X 457mm) 24" X 18" (610 X 457mm)	¼ oz. (9µm) electrodeposited copper foil (HQ/HQ) ½ oz. (17µm) electrodeposited copper foil (HH/HH) 1 oz. (35µm) electrodeposited copper foil (H1/H1) 2 oz. (70µm) electrodeposited copper foil (H2/H2) ½ oz. (17µm) reverse treated electrodeposited cu foil (SH/SH) 1 oz. (35µm) reverse treated electrodeposited cu foil (S1/S1) 2 oz. (70µm) reverse treated electrodeposited cu foil (S2/S2) RO3003 & RO3035 laminates also available with ½, 1 and 2 oz. rolled copper foil RO3003 5 mil thick laminates also available with 6 oz. rolled copper foil and 0.040" rolled copper plate Other claddings may be available. Contact customer service.

3.2.2 Lens Tasarımı

C ve X bantlarında (4-12 GHz) yapılan çalışmada sırası ile slot anten, yalın lens yapısı, uydurma katmanına sahip lens ve delikli uydurma katmanlarına sahip lens

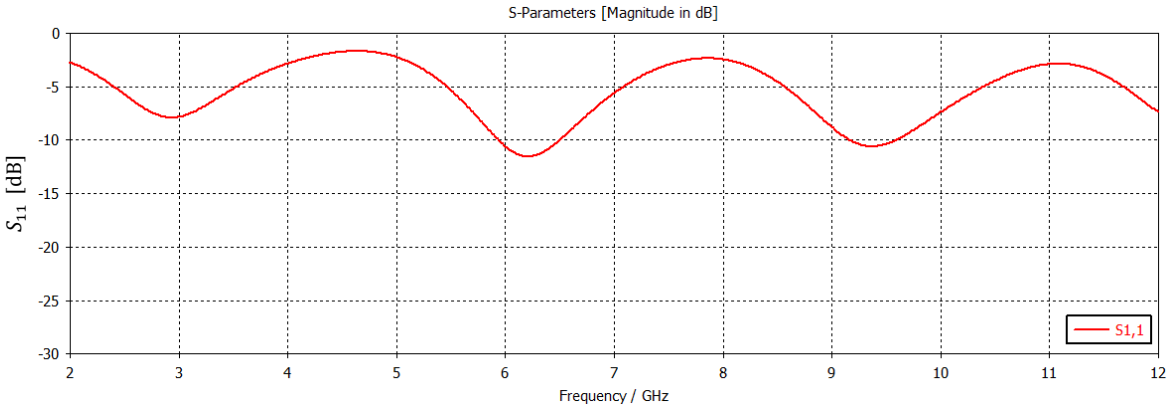
yapısı adım adım analiz edilmiştir. Analizler sonucunda; S_{11}, gerçek kazanç, yönlendiricilik kazancı, Phi:0 için kazanç değeri ve Phi:0 için yan kulak seviyeleri karşılaştırılarak çalışma çıktıları elde edilmiştir.

3.2.2.1 Çok Geniş Bantlı Slot Anten Analizi



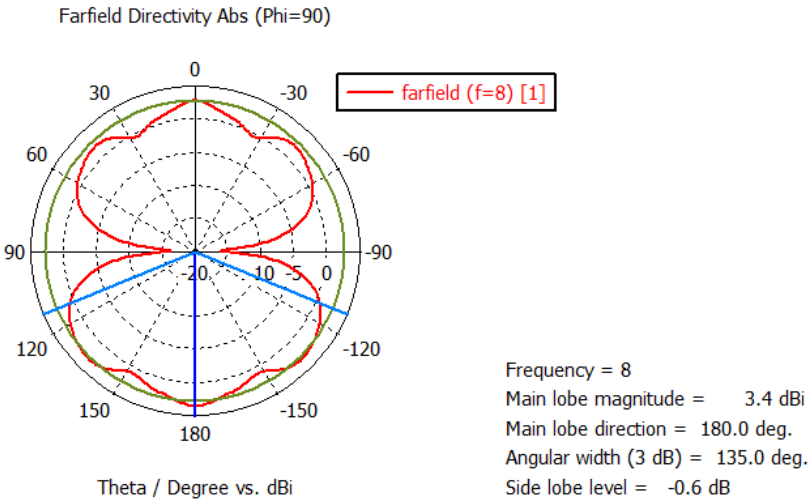
Şekil 3.26 Çok Geniş Bantlı Anten CST Görünümü

Şekil 4.23'de merkez frekansı 8 GHz olan çok geniş bantlı slot antenin CST modeli verilmiştir.



Şekil 3.27 Çok Geniş Bantlı Slot Anten S_{11} Sonucu

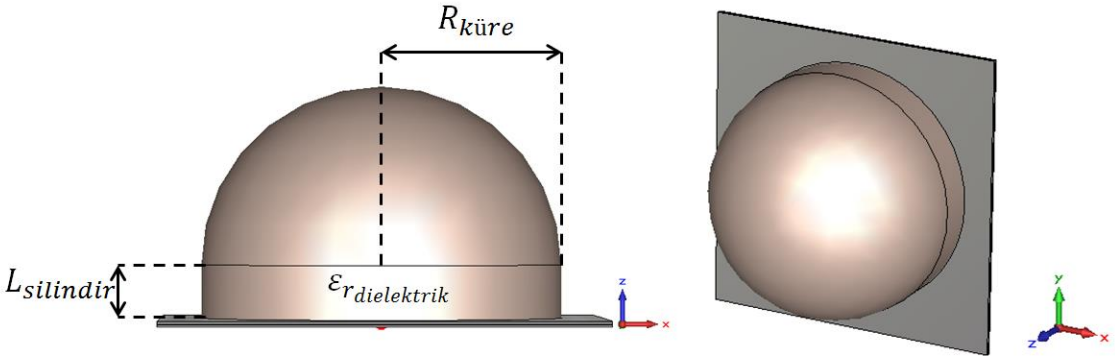
Antenin S_{11} parametresi incelendiğinde, slot parametreleri olan W_s ve L_s uzunlukları, lens yapısının slot anten üzerinde olması durumu için optimize edilmesinden dolayı S_{11} parametresi belirli frekans aralığında -10 dB seviyesinin üzerinde elde edilmiştir.



Şekil 3.28 Çok Geniş Bantlı Slot Anten Polar Koordinat Işıma Paterni

Analiz sonucunda merkez frekansındaki uzak alan sonucu incelendiğinde, slot antenin lens olmadan yönlendiricilik kazancının hesaplanan bu boyutlar için düşük olduğu dar bantlı uygulamada da ortaya koyulmuştu. Bu noktada geniş bantlı antenin ışıma paterni yönsüz anten ile uç ışıma paterni arasında elde edilmiştir. Işıma verimi oldukça düşük olan bu antene uygun boyutlarda dielektrik lens tasarlanarak ışıma verimi arttırılmıştır.

3.2.2.2 Çok Geniş Bantlı Uzatılmış Lens Analizi



Şekil 3.29 Çok Geniş Bantlı Uzatılmış Lens Anten CST Görünümü

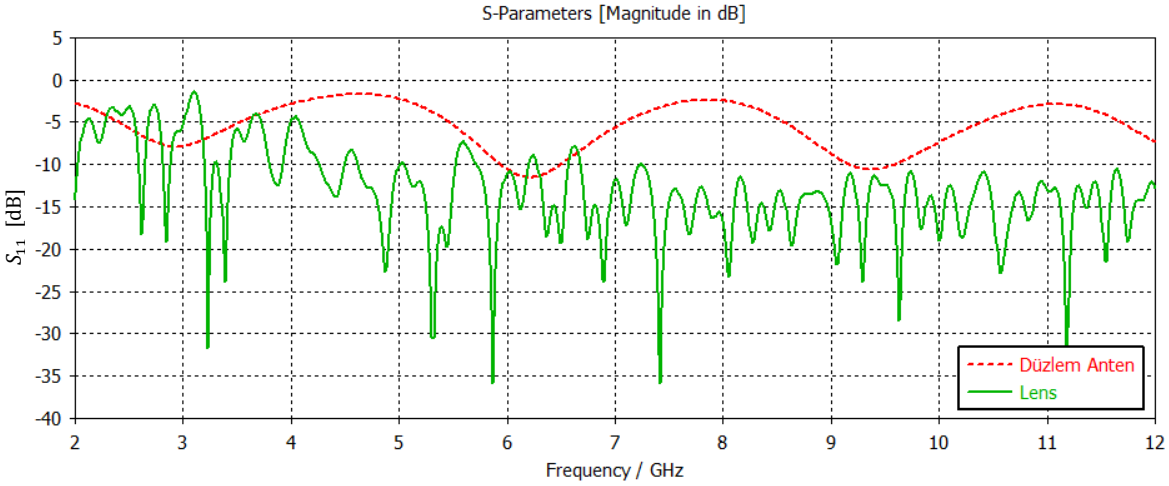
Lens, slot antenin üzerinde bulunan açıklığa gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Lense ait silindir yüksekliği kürenin yarıçapına ve kullanılan malzemenin elektriksel geçirgenlik sabitine bağlı olarak formül 2.2'de verilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

Tablo 3.9 Çok Geniş Bantlı Uzatılmış Lens Anten Parametreleri

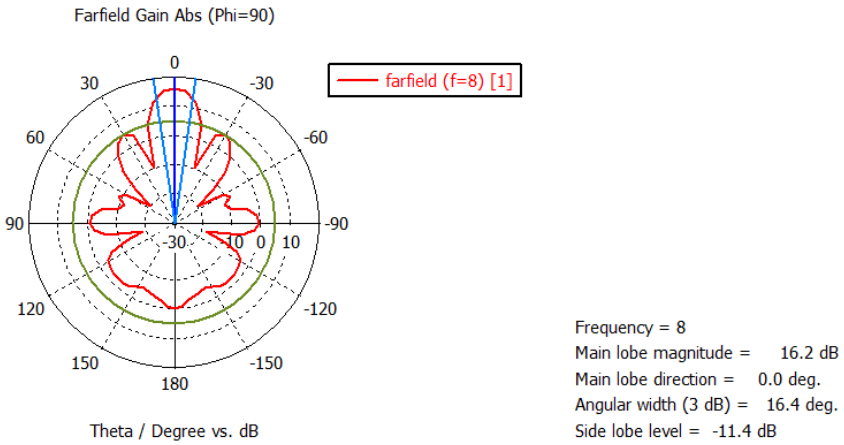
L_{sil}	14.6 mm
$R_{küre}$	46.87 mm
$\varepsilon_{r_{dielektrik}}$	10

Şekil 3.29'da verilen görselde; L_{sil} silindir yüksekliğini, $R_{küre}$ küre ve silindirin yarıçapını, W_s slotun genişliğini, $\varepsilon_{r_{dielektrik}}$ ise dielektrik malzemenin elektriksel geçirgenlik sabitini ifade etmektedir.

S_{11} parametresinin tüm çalışma frekans bandında -10 dB seviyesinin altında elde etmek için CST'nin çoklu analiz özelliği kullanılmıştır. Teorik hesaplama ile ulaşılan analitik değerler, hassas bir şekilde analiz edilip elektromanyetik etkiler göz önüne alınarak belirlenmiştir.



Şekil 3.30 Çok Geniş Bantlı Uzatılmış Lens Anten S_{11} Sonucu (Çok Geniş Bantlı Anten ile Kıyaslamalı)

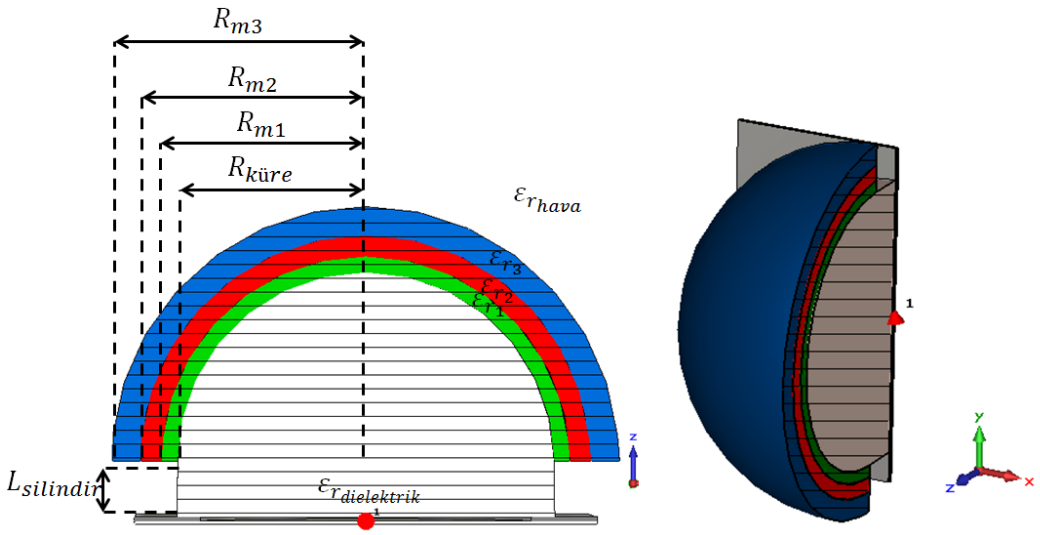


Şekil 3.31 Çok Geniş Bantlı Uzatılmış Lens Anten Polar Koordinat Işıma Paterni

2-12 GHz arasında yapılan benzetim sonuçları incelendiğinde lens yapısının, slot antenin üzerine yerleştirilmesi ile S_{11} parametresi 4-12 GHz arasında -10 dB seviyesinin altına geldiği, yönlendiricilik kazancında da büyük ölçüde artış olduğu gözlemlenmiştir. S_{11} parametresinin iyileşmesine bağlı olarak toplam ışıma verimi artmış olup gerçek kazanç değeri 16.2 dB olarak elde edilmiştir.

3.2.2.3 Çok Geniş Bantlı/Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Analizi

Lens yapısı, slot anten ile birleştirilip bir bütün haline getirildikten sonra anten performansını iyileştirecek uydurma katmanı tasarımına geçilmiştir. Bu noktada dar bantlı uygulamada olduğu gibi malzemenin elektriksel geçirgenlik sabitine bağlı olarak hesaplanan, dalga boyunun dörtte biri uzunluğundaki uydurma katmanları, birbirleri ile seri olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.32 Çok Geniş Bantlı/Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten CST Görünümü

Uydurma katmaları arasındaki empedans uyumunu sağlamak için her katmanın elektriksel geçirgenlik sabiti birbiri ile bağlı olacak şekilde formül 3.4, formül 3.5 ve formül 3.6'da verilen eşitliklerden hesaplanmıştır. Hesaplanan elektriksel geçirgenlik sabitlerine göre her katmanın kendine ait λ/4 uzunluğu, formül 3.2'de verilen eşitlikten hesaplanmıştır.

Elektriksel geçirgenlik sabitleri arasındaki ilişki,

$$\varepsilon_{r_1} = \sqrt{\varepsilon_{r_2} * \varepsilon_{r_{dielektrik}}} \tag{3.5}$$

$$\varepsilon_{r_2} = \sqrt{\varepsilon_{r_1} * \varepsilon_{r_3}} \tag{3.6}$$

$$\varepsilon_{r_3} = \sqrt{\varepsilon_{r_2} * \varepsilon_{r_{hava}}} \tag{3.7}$$

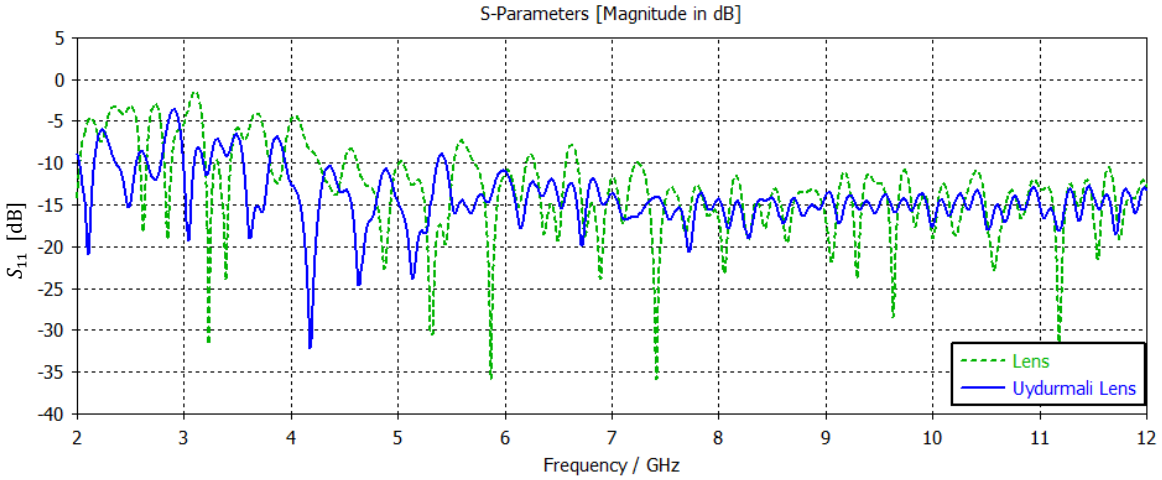
formülleri ile hesaplanmaktadır.

Tablo 3.10 Çok Geniş Bantlı/Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten Parametreleri

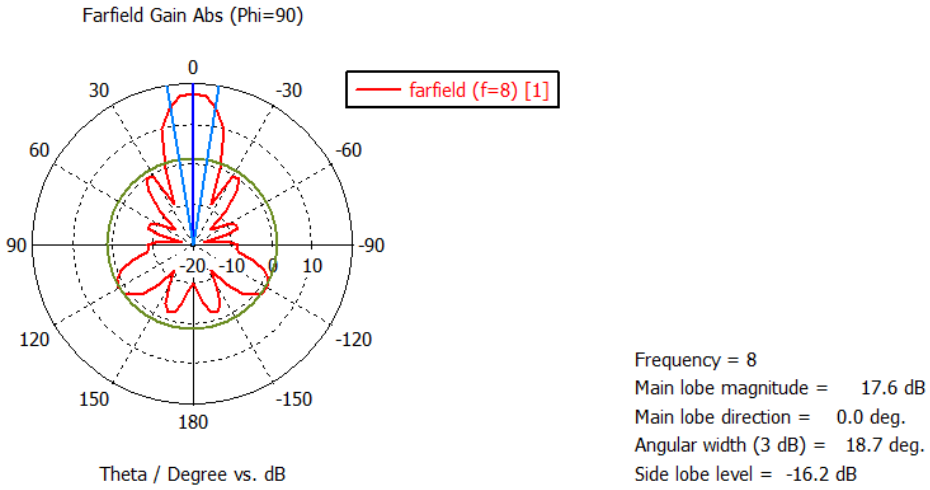
L_{sil}	14.6 mm
$R_{küre}$	46.87 mm
$\varepsilon_{r_{dielektrik}}$	10
R_{m1}	50.82 mm
R_{m2}	56.09 mm
R_{m3}	63.13 mm
ε_{r_1}	5.62
ε_{r_2}	3.16
ε_{r_3}	1.77

Şekil 3.32'de verilen görselde; L_{sil} silindir yüksekliğini, $R_{küre}$ küre ve silindir yarıçapını, $\varepsilon_{r_{dielektrik}}$ dielektrik malzemenin elektriksel geçirgenlik sabitini, R_{m1} ilk uydurma katmanına ait yarıçapı, ε_{r_1} ilk uydurma katmanına ait elektriksel geçirgenlik sabitini, R_{m2} ikinci uydurma katmanına ait yarıçapı, ε_{r_2} ikinci uydurma katmanına ait elektriksel geçirgenlik sabitini, R_{m3} üçüncü uydurma katmanına ait yarıçapı, ε_{r_3} ise üçüncü uydurma katmanına ait elektriksel geçirgenlik sabitini ifade etmektedir.

Üç adet uydurma katmanına sahip lens antene ait analiz, 2-12 GHz frekans aralığı için gerçekleştirilmiştir. Uydurma katmanlarının eklenmesine bağlı olarak lens yüzeyi ile hava ortamı arasındaki geçiş, kademeli olarak sağlanmış olup S_{11} parametresinin belirli frekans aralığında iyileştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.33 Çok Geniş Bantlı/Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten S_{11} Sonucu



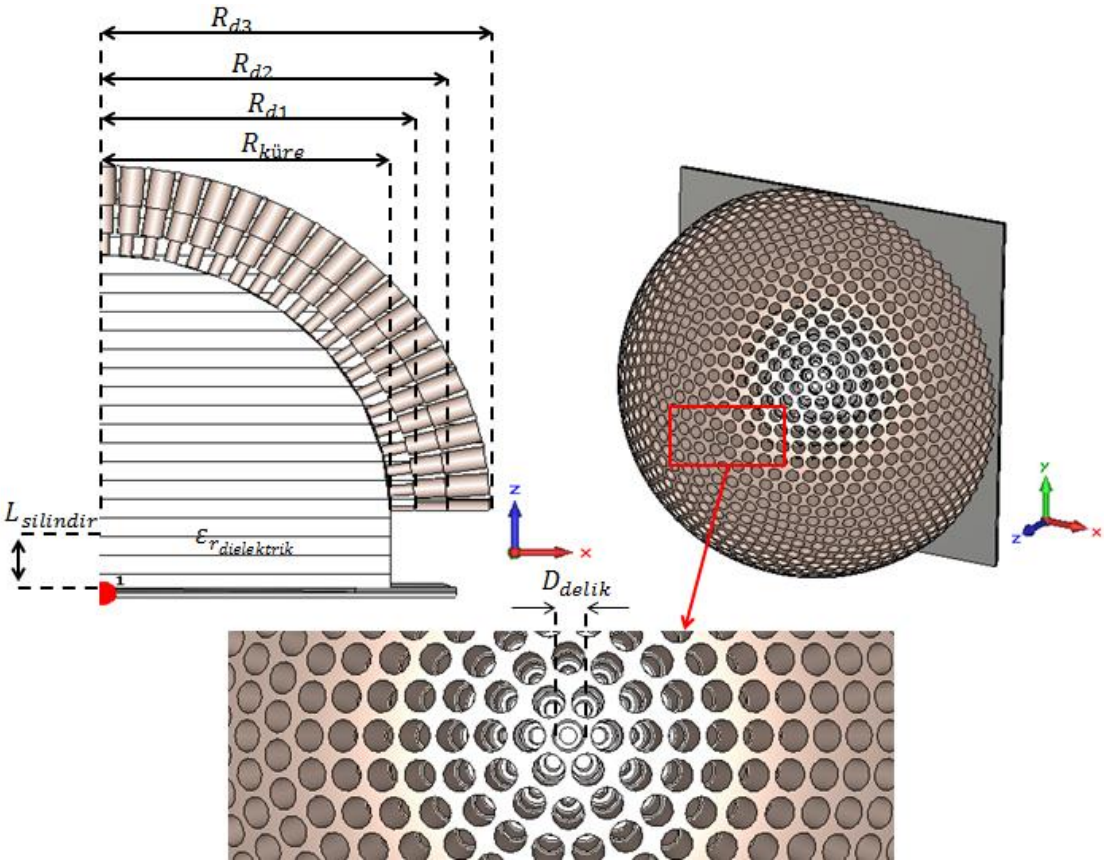
Şekil 3.34 Çok Geniş Bantlı/Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten Polar Koordinat Işıma Paterni

Benzetim sonucunda elde edilen S_{11} parametresi geniş frekans aralığında -10 dB seviyesinin altında kalmıştır. 4 GHz seviyelerinde istenilen değerden uzak olan S_{11} parametresi, uydurma katmanları sayesinde -10 dB'nin altına getirilmiştir.

Işıma paterni incelendiğinde ise ana kulak seviyesinin oldukça yüksek olduğu, yan ve arka kulak seviyelerinin ise yönlendiricilik faktörünün artmasına bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Antenin uydurma katmanları arasındaki geçişlerin kademeli olarak yapılması, oluşabilecek iç yansımaları minimuma indirmiş olup yüzeyler arası geçişlerde ışıma verimi arttırılmıştır.

3.2.2.4 Çok Geniş Bantlı/Delikli Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Analizi

Bu bölümde dar bantlı uygulamada olduğu gibi uydurma katmanlarını, elektriksel geçirgenlik sabiti farklı malzemelerden oluşturmak yerine, lens malzemesi ile aynı elektriksel geçirgenlik sabitine sahip farklı delik yoğunluğundaki katmanlardan oluşturarak lens tasarımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.35 Çok Geniş Bantlı/Delikli Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens CST Görünümü

Şekil 3.35'de verilen görselde; L_{sil} silindir yüksekliğini, $R_{küre}$ küre ve silindirin yarıçapını, $\varepsilon_{r_{dielektrik}}$ dielektrik malzemenin elektriksel geçirgenlik sabitini, R_{m1} birinci uydurma katmanına ait yarıçapını, D_{delik_1} birinci uydurma katmanına ait delik çapını, R_{m2} ikinci uydurma katmanına ait yarıçapını, D_{delik_2} ikinci uydurma katmanına ait delik çapını , R_{m3} üçüncü uydurma katmanına ait yarıçapını, D_{delik_3} üçüncü uydurma katmanına ait delik çapını ifade etmektedir.

Tablo 3.11 Çok Geniş Bantlı/Delikli Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten Parametreleri

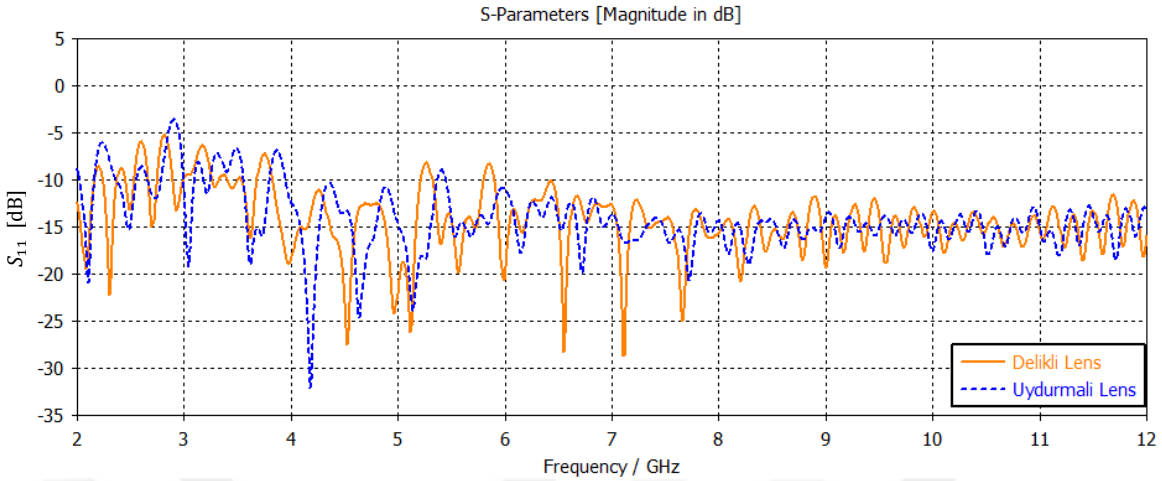
L_{sil}	14.6 mm
$R_{küre}$	46.87 mm
$\varepsilon_{r_{dielektrik}}$	10
R_{m1}	50.82 mm
R_{m2}	56.09 mm
R_{m3}	63.13 mm
D_{delik_1}	1.1
D_{delik_2}	2
D_{delik_3}	2.08

Uydurma katmanlarının sahip olduğu elektriksel geçirgenlik sabitini değiştirmek için katmanların üzerinde oluşturulan deliklerin yarıçapları farklı boyutlarda girilmiştir. Antenin ışıma paterninde olumsuz bir etki oluşturmaması için hava ile lensi oluşturan dielektrik malzeme, homojen bir biçimde dağıtılmıştır.

Bir önceki bölümde üç katmanlı olarak gerçekleştirilen lens tipi bu bölümde yalnızca delikler açılarak gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle uydurma katmanlarına ait kalınlıklar sabit bırakılıp yalnızca elektriksel geçirgenlik sabitleri, lens malzemesi ile aynı değere getirilmiştir.

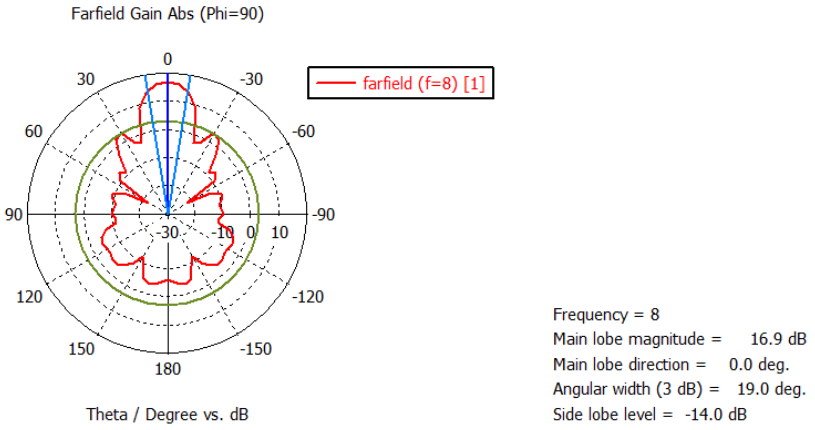
Uydurma katmanlarının yüzey alanlarına bağlı olarak yapılan hesaplamalarda, Şekil 4. 32'de görüldüğü üzere delik hacimlerinin kesişmeyeceği en büyük yarıçap girilmiştir. Formül 3.3'de verilen eşitlik kullanılarak uydurma katmanı-3'ün elektriksel geçirgenlik sabitinin 1.77 olabilmesi için %92'sinin, uydurma katmanı-2'nin elektriksel geçirgenlik sabitinin 3.16 olabilmesi için %68'inin, uydurma katmanı-1'in elektriksel geçirgenlik sabitinin 5.62 olabilmesi için %48.5'inin hava ile homojen olarak karışmış olması gerekmektedir. Ancak küre yüzeyinde birbiri ile kesişmeyen silindirler açılmak istendiğinde oluşturulabilecek en büyük hava oranı %77 olduğu formül 3.4'de verilen eşitlikten elde edilmiştir. Uydurma

katmanı-3 için istenilen hava yüzdesi elde edilememiş olup mümkün olan en yüksek hava yüzdesi olan %77 bu katman için uygulanmıştır.



Şekil 3.36 Çok Geniş Bantlı/Delikli Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten S_{11} Sonucu

2-12 GHz arasında yapılan analiz sonucu incelendiğinde, istenilen hava oranının elde edilemediği uydurma katmanı-3'e bağlı olarak oluşan empedans uyumsuzluğunun, genlik seviyesinde dalgalanmalara neden olduğu görülmüştür. Aynı zamanda istenilen elektriksel geçirgenlik sabitinden uzaklaşılmasına bağlı olarak λ/4 uzunluğunda oluşan hata nedeniyle alt kesim frekansında kaymalar meydana gelmiştir.



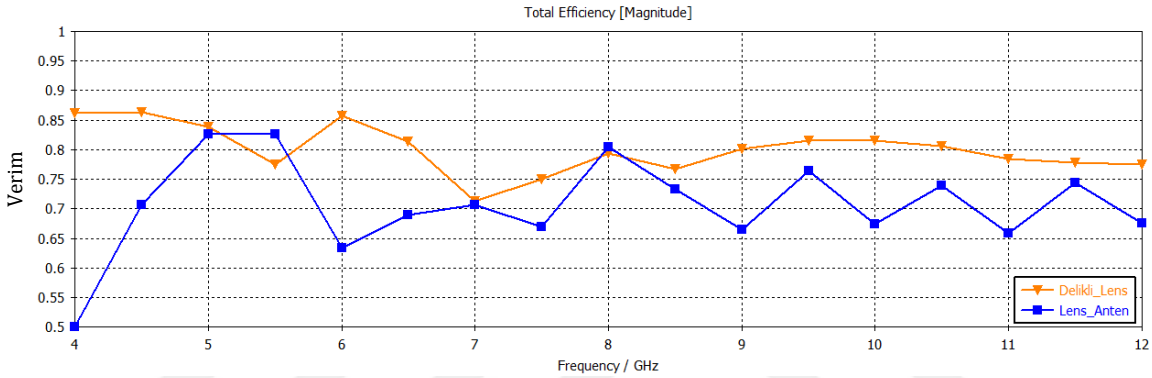
Şekil 3.37 Çok Geniş Bantlı/Delikli Uydurma Katmanlarına Sahip Uzatılmış Lens Anten Polar Koordinat Işıma Paterni

Işıma paterni incelendiğinde, merkez frekansı için ana kulak seviyesinin, deliksiz yapıdaki uydurma katmanlarına sahip lens antene göre düştüğü gözlemlenmiştir.

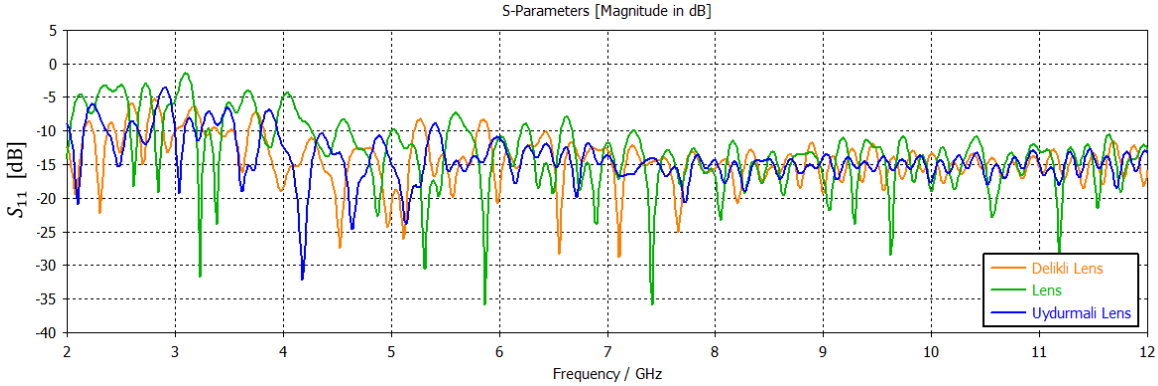
Ancak çalışma frekans bandındaki ışıma paterni bakıldığında kazanç değerlerinde benzerlikler olduğu gözlemlenmiştir.

3.2.2.5 Geniş Bant Uygulama Sonuç Kıyaslaması

Geniş bantlı uygulama çerçevesinde C ve X-Bantta çalışan lens anten üzerinde adım adım ilerleme kaydedilmiştir. Sırası ile slot anten, slot antene ilave edilmiş lens, uydurma katmanı eklenmiş lens ve son olarak uydurma katmanı delikli yapıdan oluşan lens tasarımları üzerinde çalışılmıştır. Antenlerin performanslarının karşılaştırması aşağıdaki verilen grafiklerde, S_{11}, gerçek kazanç, yönlendiricilik kazancı, Phi:0 için kazanç değeri ve Phi:0 için yan kulak seviyesi olarak verilmiştir.



Şekil 3.38 Yalın Lens ile Delikli Lens Verim Kıyaslaması

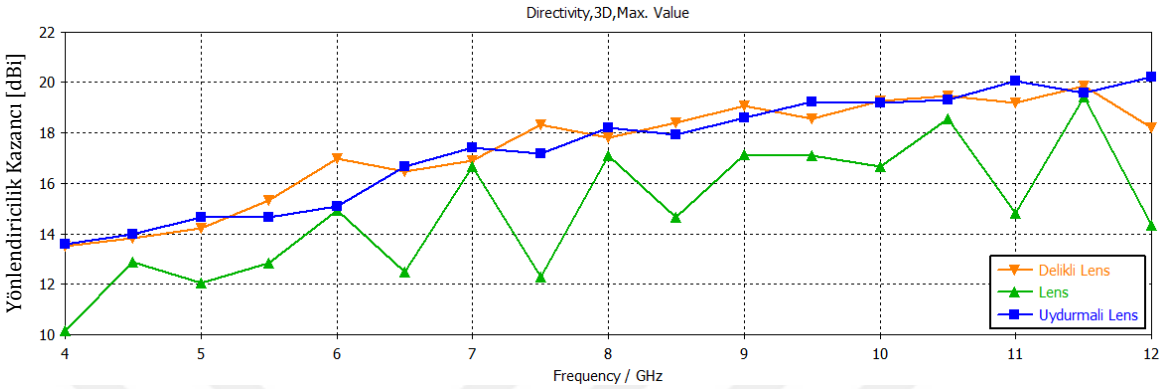


Şekil 3.39 Geniş Bantlı Uygulama S_{11} Kıyaslaması

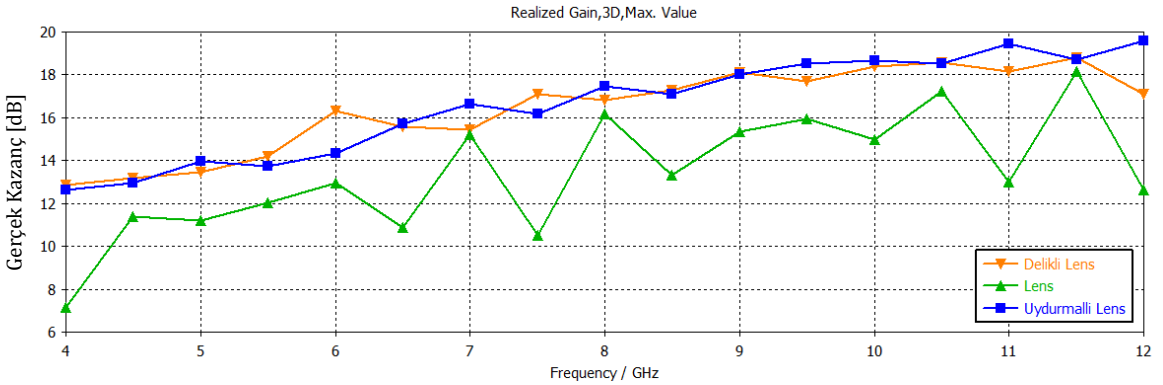
Yapılan benzetimlerin sonucunda S_{11} parametreleri karşılaştırıldığında, slot antenin tek başına empedans uyumsuzluğuna bağlı olarak -10 dB seviyesinin üstünde kaldığı ancak üzerine uzatılmış lens yapısı eklendiğinde, geniş frekans bandında S_{11} parametresinin -10 dB'nin altında kaldığı görülmüştür. Lens yüzeyinden hava ortamına geçişte yüksek elektriksel geçirgenlik sabiti farkından

dolayı oluşacak iç yansımaların önüne geçmek için kullanılan uydurma katmanları sayesinde antenin S_{11} parametresi -10 dB seviyesinin altına çekilmiştir.

Farklı malzemelerden oluşan uydurma katmanlarının yerine delikli uydurma katmanları kullanılarak benzer geri dönüş kaybı elde edilmiştir.



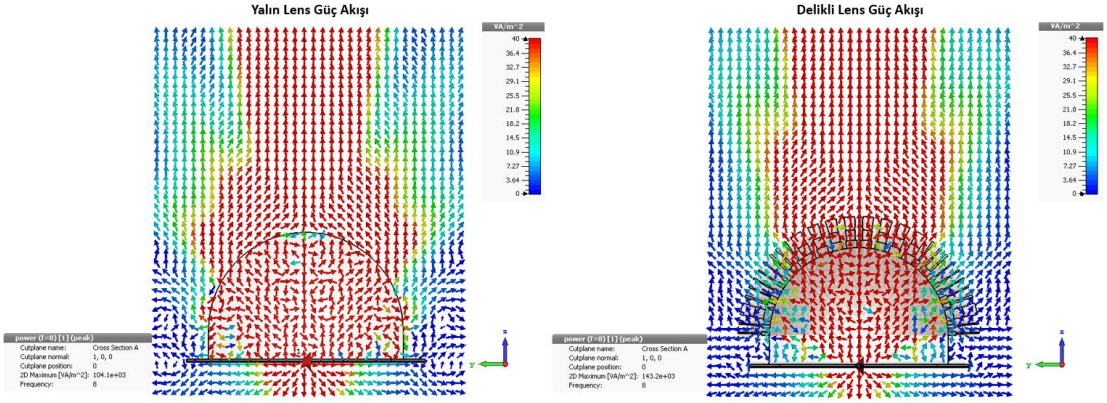
Şekil 3.40 Geniş Bantlı Uygulama Yönlendiricilik Kıyaslaması



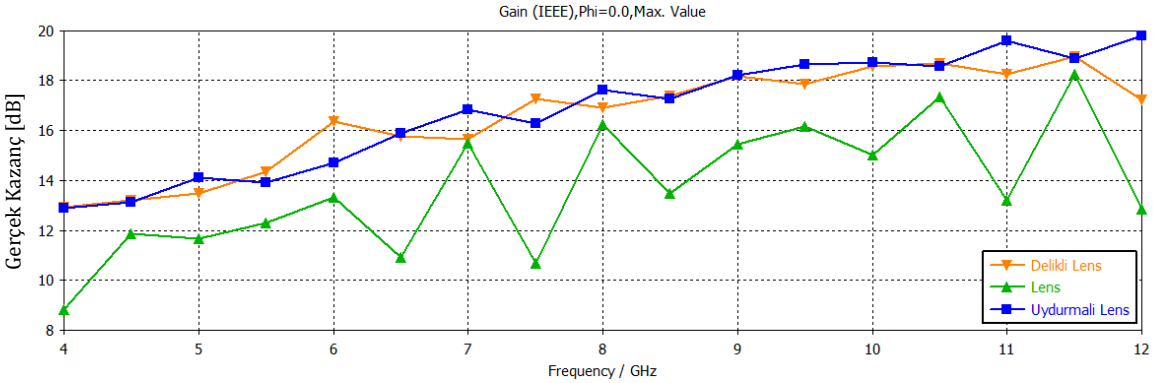
Şekil 3.41 Geniş Bantlı Uygulama Gerçek Kazanç Kıyaslaması

Antenlerin yönlendiricilik ve gerçek kazançları incelendiğinde, slot antenin ışıma veriminin düşük olmasına bağlı olarak yönlendiricilik ve gerçek kazanç değerlerinin düşük olduğu, lens yapısının eklenmesiyle birlikte bu değerlerin arttığı gözlemlenmiştir. Uydurma katmanına sahip lens yapısında ise iç yansımaların azalmasına bağlı olarak uydurma katmanı olmayan lens yapısına göre kazançta 2-3 dB arasında artış olduğu görülmüştür. Delikli uydurma katmanına sahip lens ile farklı malzemelerden oluşan uydurma katmanlarına sahip lens kıyaslandığında ise lenslerin benzer ışıma karakteristiklerinin olduğu görülmüştür.

Lens yapısının üzerine uydurma katmanlarının eklenmesi durumunda yönlendiricilik ve gerçek kazanç değerlerinin tüm çalışma aralığında lineer bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

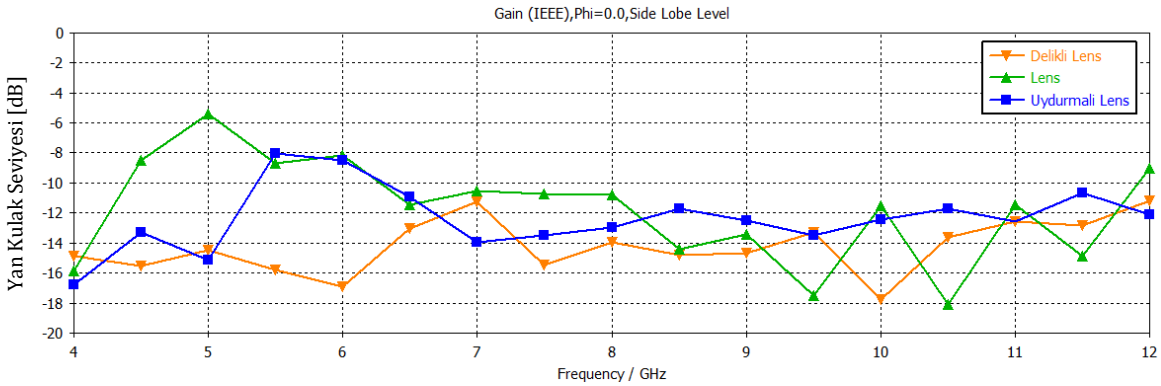


Şekil 3.42 Yalın Lens ile Delikli Lens Yapılarının Güç Akışının Karşılaştırması



Şekil 3.43 Geniş Bantlı Uygulama Phi:0 için Kazanç Kıyaslaması

Şekil 3.44'de verilen görselde, antenlere ait yan kulak seviyeleri görülmektedir. Işıma veriminin artmasına bağlı olarak yönlendiricilik kazancı artan uydurma katmanlarına sahip lens antenlerin yan kulak seviyelerinin oldukça düştüğü gözlemlenmiştir. Delikli uydurma katmanına sahip lens ile farklı malzemelerden oluşan uydurma katmanlarına sahip lens kıyaslandığında, her iki yapının da benzer performans sergilediği görülmektedir.



Şekil 3.44 Geniş Bantlı Uygulama Phi:0 için Yan Kulak Kıyaslaması

4
Sonuç ve Öneriler

Tez kapsamında dar bantlı ve geniş bantlı uygulama olmak üzere iki farklı lens anten tasarımı üzerine çalışılmıştır. Çalışmanın ilk kısmında 74-80 GHz frekans aralığında çalışan dar bantlı bir lens tasarımı yapılmıştır. İkinci kısımda ise 4-12 GHz frekans aralığında çalışan geniş bantlı bir lens tasarımı geçekleştirilmiştir. Her iki uygulamada da uydurma katmanları üzerinde delikler açılarak uydurma katmanlarının elektriksel geçirgenlik sabitlerinin değiştirilebileceği ortaya koyulmuştur. Delikli uydurma katmanlarına sahip lens anten ile farklı malzemelerden oluşan uydurma katmanlarına sahip lens antenin benzer performans sergilediği, delikli yapının, üretim için bir alternatif oluşturabileceği kanıtlanmıştır.

Tez kapsamında gerçekleştirilen delikli uydurma katmanı yapısı, 3 boyutlu bir yapı üzerinde ilk defa denenmiştir. Uydurma katmanı üzerinde deliklerin oluşturulması için 3-boyutlu yazıcıların kullanılabileceği bu sayede lensin oluşturulması sırasında, lens ile aynı malzemeye sahip uydurma katmanlarının lense ilave bir biçimde üretilebileceği değerlendirilmektedir. Üretim kolaylığı sağlayacak bu yöntem, farklı malzemelerden oluşan uydurma katmanlarını birleştirme yöntemine göre daha basit ve az maliyetli olacağı değerlendirilmektedir.

Gelecek çalışmalar için uydurma katmanlarının sayısının arttırılabileceği, uydurma katmanları üzerinde açılan deliklerin, artan küre yarıçapıyla lineer olacak şekilde açılarak hassasiyetin arttırılabileceği ön görülmektedir.

Kaynakça

[1] C. A. Fernandes, E. B. Lima, J. R. Costa, "Dielectric Lens Antennas," Handbook of Antenna Technology, 2016.

[2] D.F. Filipovic, S.S. Gearhart, G.M. Rebeiz, "Double-slot antennas on extended hemispherical and elliptical silicon dielectric lenses, Microwave Theory and Techniques", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 41, pp. 1738 – 1749, 1993.

[3] N. T. Nguyen, R. Sauleau, C. J. Pérez, "Very Broadband Extended Hemispherical Lenses: Role of Matching Layers for Bandwidth Enlargement", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 57, no. 7, pp. 1907 - 1913, 2009.

[4] Ş. Kar, N.T. Sönmez, S. Mambet, N.T. Tokan, "Comparison of Matching Layers for Extended Hemispherical Lenses in Beam Scanning Applications," IEEE/ACES International Conference on Wireless Information Technology and Systems (ICWITS) and Applied Computational Electromagnetics (ACES), 2016.

[5] F.Tokan, "Optimization-Based Matching Layer Design for Broadband Dielectric Lens Antennas", ACES Journal, vol. 29, no. 6, 2014.

[6] Premix Group, Plastic Based PREPERM 3D ABS1000 filament 1.75mm 750g, https://www.preperm.com/webshop/product/preperm-3d-abs-%C9%9Br-10-0-filament-1-75mm/, Mart 2019.

[7] Y. Yashimura, "A microstrip slot antenna," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. AP-29, pp. 2-24, 1981.

[8] Rogers Corporation, RO3003 High Frequency Ceramic-Filled Reinforced Laminates, https://www.rogerscorp.com/acs/products/42/RO3003-Laminates.aspx, Mart 2019.

[9] A. Neto, "UWB, non-dispersive radiation from the planarly fed leaky lens antenna-part I: theory and design," IEEE Transactions of Antennas and Propagation, vol. 58, no. 7, pp. 2238-2247, 2010.

[10] Rogers Corporation, R/T DUROID RO5880 High Frequency PTFE Composites Reinforced Laminates, http://www.rogerscorp.com/acs/products/32/rt-duroid-5880-aminates.aspx, Mart 2019.

[11] Z. Yao, Y. Liu, X. Xiong, L. Zhang, L. Ye, "A Novel Hole Drilling Method for Plate Luneberg Lens Antenna", 3rd Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation, 2014.

[12] F. Tokan, N. T. Tokan, A. Neto, D. Cavallo, "The Lateral Wave Antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 62, no. 6, 2014.

[13] C. A. Balanis, *Antenna Theory.* Third Edition, John Wiley ve Sons Press, New Jersey, 2005.

[14] J. M. Edwards, R. O'Brient, A. T. Lee, G. M. Rebeiz, "Dual-polarized sinuous antennas on extended hemispherical silicon lenses", IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 60, no. 9, pp. 4082-4091, 2012.

[15] M. J. M. van der Vorst, P. J. I. de Maagt, and M. H. Herben, "Effect of internal reflections on the radiation properties and input admittance of integrated lens antennas," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 47, pp. 1696-1704, 1999.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: mucahitalcep@gmail.com

Uluslararası Bildirileri

1. M. Alcep, F. Tokan, "Perforated Dielectric Lens Antenna Design", International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering (IJFRSCE), vol.4, pp: 12 – 15, December 2018