

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK  
LİSANS PROGRAMI**

**HAVA PLATFORMLARI İÇİN  
GENİŞ BANTLI BİCAK ANTEN TASARIMI**

**HAZIRLAYAN**

**BURCU GÜZEL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANKARA - 2020**

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK  
LİSANS PROGRAMI**

**HAVA PLATFORMLARI İÇİN  
GENİŞ BANTLI BİCAK ANTEN TASARIMI**

**HAZIRLAYAN**

**BURCU GÜZEL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ MURAT ÜÇÜNCÜ**

**ANKARA - 2020**

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Burcu GÜZEL tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: ... / ... / .....

**Tez Adı :** Hava Platformları için Geniş Bantlı Bıçak Anten Tasarımı

**Tez Jüri Üyeleri ( Unvanı, Adı – Soyadı, Kurumu )**

**İmza**

Prof. Dr. Altunkan HIZAL, ASELSAN A.Ş. Danışman

.....

Dr. Öğr. Üyesi Murat ÜÇÜNCÜ, Başkent Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Hayrullah YILDIZ, Başkent Üniversitesi

.....

**ONAY**

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... /... / 2020

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: .../.../2020

Öğrencinin Adı, Soyadı : Burcu GÜZEL  
Öğrencinin Numarası : 21810413  
Anabilim Dalı : Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Programı : Elektrik-Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı  
Danışmanın Adı, Soyadı : Dr. Öğr. Üyesi Murat ÜÇÜNCÜ  
Tez Başlığı : Hava Platformları İçin Geniş Bant Bıçak Anten Tasarımı

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan toplam 68 sayfalık kısmına ilişkin, .../.../2020 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 1'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1.Kaynakça hariç
- 2.Alıntılar hariç
- 3.Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

**ONAY**

.../.../2020

Öğrenci Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Murat ÜÇÜNCÜ

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin olgunlaşmasında çok önemli geri beslemeler veren ve tasarladığım antenin üretilmesini ısrarla tavsiye ederek tezimin çok daha olgun bir seviyeye gelmesini sağlayan Prof. Dr. Altunkal HIZAL'a,

Yüksek Lisans tezimin gelişiminde çok önemli girdiler sağlayarak eş danışmanım gibi bana yol gösteren ve yönlendirmelerde bulunan Dr. Öğretim Üyesi Hayrullah YILDIZ'a ,

Tez çalışmamın olgun hale gelmesinde gösterdiği kararlı tutum, yönetim ve yönlendirmeleri için değerli hocam ve tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Murat ÜÇÜNCÜ'ye

Tez kapsamında tasarlanan antenin üretilmesinde RITEKOM İletişim Teknolojileri A.Ş. tesislerini bizlere açarak anten üretiminin gerçekleştirilmesinde çok önemli destekler sağlayan Prof.Dr. Ali Özgür YILMAZ'a,

Çalışmalarım esnasında ve tüm eğitim hayatım boyunca her zaman beni destekleyen annem, babam ve abime,

çok teşekkür ederim.

## ÖZET

**Burcu GÜZEL**

### **HAVA PLATFORMLARI İÇİN GENİŞ BANT BIÇAK ANTEN TASARIMI**

**Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**2020**

Hava platformlarında haberleşme ve elektronik uygulamalarında, VHF, UHF ve L bantlarda çok yönlü ışınım yapan, geniş bantlı antenlere ihtiyaç duyulmaktadır. Düzlemsel dipol/monopol, diskon antenler, spiral antenler, halka şeklindeki yuva antenler, bıçak antenler havacılık uygulamalarında sıklıkla yer alan anten türleridir. Bu antenler, boyutları, aerodinamik yapıları, ışınım örüntüleri, kazançları gibi bazı anten parametrelerinde farklılık gösterebilmektedir.

Bıçak antenlerin ışınım örüntülerinin çok yönlü olması, bant genişliğinin fazla olması, kompakt boyutlara sahip olmaları nedeniyle hava platformlarında tercih edildiği görülmektedir. Bıçak antenler bir nevi monopol anten türüdür. Monopol antenler yapısı gereği, bir yer düzlemine ihtiyaç duyarlar. Havacılık uygulamalarında kullanılan bıçak antenler yer düzlemi olarak hava araçlarının dış katmanını kullanırlar. Bıçak antenlerin, üzerinde çentikler bulunmaktadır. Bu çentiklerin amacı, antenin boyunu kısaltmak ve kalite faktörünü (Q) düşürerek antenin geniş bantlı olmasını sağlamaktır.

Bu tez çalışmasında, hava araçları için geniş frekans bandına sahip bir bıçak anten tasarımı yapılmıştır. Empedans uyumunun sağlandığı frekans aralığı 0.82 GHz – 2.04 GHz’dir. Bu frekans bandında 6.48 dB’e kadar anten kazancına ulaşılmıştır. Işınım örüntüsü çok yönlüdür. Tasarlanan bıçak antenin yüksekliği 95 mm ve kullanılan yer düzleminin boyutları da 500 x 500 mm<sup>2</sup>’dir. Ek olarak, çentikli bıçak anten ile aynı frekans bandına, aynı boyutlara ve aynı yer düzlemine sahip düz (çentiksiz) bıçak anten tasarımı da yapılmış ve her iki anten mukayese edilmiştir. Bıçak antenin birçok açıdan düz antene göre üstünlükleri olduğu gösterilmiştir.

Aynı parametre ölçülerine sahip tasarımı yapılan çentikli ve düz bıçak antenlerin üretimi yapılmıştır. Üretilen antenlerin S11 ölçüm sonuçları ile tasarımı yapılan antenlerin simülasyon sonuçlarının birbirine benzer olduğu görülmüştür. Böylece ortaya konan anten tasarımı üretim ile de doğrulanmıştır.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Bıçak Anten, Işıma Örüntüsü, Geri Dönüş Kaybı, Duran Dalga Oranı, Anten Kazancı

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Murat ÜÇÜNCÜ, Başkent Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

## **ABSTRACT**

**Burcu GÜZEL**

### **WIDE BAND BLADE ANTENNA DESIGN FOR AIR PLATFORMS**

**Baskent University Institute of Science**

**Department of Electrical and Electronics Engineering**

**2020**

Communication and electronic warfare application in avionics requires broadband antennas which provides omnidirectional radiation in VHF, UHF and L bands. Planar dipole/monopole, discone, spiral, annular slot and blade antennas are frequently used antennas in air platforms. These antennas may differ in some antenna parameters such as size, aerodynamic structure, radiation patterns, and gain.

Blade antennas are preferred to be used in air platforms due to their omnidirectional radiation pattern, comparatively large bandwidth and compact size. In fact, blade antennas are a sort of monopole antennas. Monopole antennas requires a ground plane as a necessity of their structure. Blade antennas used in avionics utilizes the outer surface of the air platform as the ground plane. Blade antennas includes notches on each side of antenna, in front and at the rear of the antenna. The objective of implementing notches on the blade antenna is to shorten the height of the antenna, which in turn results in a reduction of the Q, Quality factor, to achieve a broadband antenna.

In this thesis, a broadband blade antenna suitable to be used in air platforms has been designed. Impedance matching is achieved in the frequency range of 0.82 GHz-2.04 GHz. A gain of 6.48 dB is achieved within this frequency band. The radiation pattern is shown to be omnidirectional. The designed blade antenna height is 95 mm and the dimension of ground plane used is 500 x 500 mm<sup>2</sup>. Additionally, a flat antenna with no notches on the antenna has been designed by taking the same frequency band, the same dimensions and the same ground plane. It has been shown that the blade antenna with notches has shown superiority over the flat antenna.



The designed blade antenna with notches and the flat antenna with the same parameters used in the design were fabricated. The measurement of S11 for the fabricated antennas provided similar values to the simulation results of the designed antennas. Thus, the antenna design in this thesis has been tested and proven through antennas' fabrication.

**KEYWORDS:** Blade Antenna, Radiation pattern, Return Loss, Voltage Standing Wave Ratio, Antenna Gain.

**Advisor:** Assistant Prof.Dr. Murat ÜÇÜNCÜ, Baskent University, Department of Electrical and Electronics Engineering

## İÇİNDEKİLER LİSTESİ

Sayfa

TEŞEKKÜR .....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER LİSTESİ.....	vi
EKLER.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. BİÇAK ANTEN TASARIMI VE BENZETİMİ.....	6
2.1. CST Studio Yazılımı.....	6
2.2. Anten Yapısı ve Benzetimi.....	8
3. SİMULASYON ÇALIŞMALARI.....	12
3.1 Bıçak Anten Tasarımına İlişkin Simulasyon ve Analiz Çalışmaları... 12	
3.2 Çentik ve Diğer Parametrelerin $S_{11}$ Parametresine Etkileri.....	24
3.3 Düz Bıçak Anten Tasarımı Simulasyon ve Analiz Çalışmaları .....	38
3.4 Yapılan Diğer Çalışmaların İncelenmesi ve Yorumlanması .....	47
3.5 Anten Üretimi.....	54
4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME .....	67
KAYNAKLAR LİSTESİ.....	69
EK-1 ANTEN PARAMETRELERİ VE TEL ANTENLER HAKKINDA ÖZET BİLGİ .....	72

## **EKLER**

### **EK 1: Anten Parametreleri ve Tel Antenler Hakkında Özet Bilgi**

## TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Anten Parametreleri ve Değerleri .....	10
Tablo 3.1 Düz Bıçak Anten Parametreleri ve Değerleri .....	39
Tablo 3.2. Nazmus [4] tarafından tasarlanan antenin parametreleri .....	47
Tablo 3.3 Aysu Belen ve arkadaşları tarafından tasarlanan Anten Parametreleri .....	50
Tablo 3.4 Anten Üretiminde Kullanılan Malzemeler.....	56
Tablo 3.5 Tasarım ve Üretim Çentikli Bıçak Anten S11 Değerleri .....	63
Tablo 3.6 Tasarım ve Üretim Düz Bıçak Anten S11 Değerleri .....	67

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Tasarımı Yapılan Antenin Geometrik Yapısı .....	9
Şekil 2.2 Tasarımı Yapılan Antenin Geometrik Yapısı .....	10
Şekil 3.1 $S_{11}$ Katsayısı Büyüklüğü ( Bant Genişliği: 0.82 GHz – 2.04 GHz) .....	12
Şekil 3.2 VSWR Değerleri ( Bant Genişliği: 0.82 GHz – 2.04 GHz) .....	13
Şekil 3.3 Smith Diyagramı Empedans Değerleri.....	15
Şekil 3.4 Işıma Örüntüsü – 3D ( 0.82 GHz).....	15
Şekil 3.5 Polar Düzlemde Işıma Örüntüsü ( 0.82 GHz).....	16
Şekil 3.6 Işıma Örüntüsü - 3D ( 1.1475 GHz) .....	17
Şekil 3.7 Polar Düzlemde Işıma Örüntüsü ( 1.1475 GHz) .....	18
Şekil 3.8 Işıma Örüntüsü – 3D ( 1.3712 GHz).....	19
Şekil 3.9 Polar Düzlemde Işıma Örüntüsü ( 1.3712 GHz) .....	19
Şekil 3.10 Işıma Örüntüsü – 3D ( 2.04 GHz).....	20
Şekil 3.11 Polar Düzlemde Işıma Örüntüsü ( 2.04 GHz) .....	21
Şekil 3.12 Yüzey Akım Dağılımı ( 0.82 GHz) .....	22
Şekil 3.13 Yüzey Akım Dağılımı ( 1.1475 GHz) .....	22
Şekil 3.14 Yüzey Akım Dağılımı ( 1.3712 GHz) .....	23
Şekil 3.15 Yüzey Akım Dağılımı ( 2.04 GHz) .....	23
Şekil 3.16.a Anten Tasarım Parametreleri-I.....	25
Şekil 3.16.b Anten Tasarım Parametreleri-II .....	26
Şekil 3.17 Notch-1 Height & $S_{11}$ Zayıflaması.....	26
Şekil 3.18 Notch-1 Width & $S_{11}$ Zayıflaması.....	27
Şekil 3.19 Notch-1 Length & $S_{11}$ Zayıflaması .....	28
Şekil 3.20 Notch-3 Height & $S_{11}$ Zayıflaması.....	28
Şekil 3.21 Notch-3 Width & $S_{11}$ Zayıflaması .....	29
Şekil 3.22 Notch-3 Length & $S_{11}$ Zayıflaması.....	30
Şekil 3.23 Notch-2 Height & $S_{11}$ Zayıflaması.....	30
Şekil 3.24 Notch-2 Width & $S_{11}$ Zayıflaması .....	31
Şekil 3.25 Notch-2 Length & $S_{11}$ Zayıflaması.....	31
Şekil 3.26 Element Base Width & $S_{11}$ Zayıflaması.....	32
Şekil 3.27 Element Top Width & $S_{11}$ Zayıflaması .....	32

Şekil 3.28 Tab Height & $S_{11}$ Zayıflaması.....	33
Şekil 3.29 Tab Inset & $S_{11}$ Zayıflaması.....	34
Şekil 3.30 : Tab Top Width & $S_{11}$ Zayıflaması.....	34
Şekil 3.31 : Tab Base Width & $S_{11}$ Zayıflaması.....	35
Şekil 3.32 : Element Height & $S_{11}$ Zayıflaması.....	35
Şekil 3.33 : Gap & $S_{11}$ Zayıflaması.....	36
Şekil 3.34 : Blade Wall Thickness & $S_{11}$ Zayıflaması.....	37
Şekil 3.35 : Alpha Değeri & $S_{11}$ Zayıflaması.....	37
Şekil 3.36 : g Yer Düzlemi & $S_{11}$ Zayıflaması.....	38
Şekil 3.37 : Düz Bıçak Anten Geometrisi.....	39
Şekil 3.38 : Empedans Uyumu $S_{11}$ Bant Genişliği (0.82 GHz-2.04 GHz).....	40
Şekil 3.39 : Smith Diyagramı Gösterimi.....	41
Şekil 3.40 : Düz Bıçak Anten 3D Işıma Örüntüsü ( 0.82 GHz ).....	42
Şekil 3.41 : Polar Düzlemde Işıma Örüntüsü ( 0.82 GHz ).....	43
Şekil 3.42 : Düz Bıçak Anten Işıma Örüntüsü ( 2.04 GHz ).....	44
Şekil 3.43 : Düz Bıçak Antenin Polar Düzlemde Işıma Örüntüsü ( 2.04 GHz ).....	45
Şekil 3.44 : Düz Bıçak Antenin Yüzey Akım Dağılımı ( 0.82 GHz ).....	46
Şekil 3.45 : Düz Bıçak Antenin Yüzey Akım Dağılımı ( 2.04 GHz ).....	46
Şekil 3.46 : $S_{11}$ (Nazmus [4] parametreleri ile bu tezdeki yöntemle).....	48
Şekil 3.47 : Nazmus ve arkadaşları [4] tarafından yapılan tasarımda elde edilen ....	48
Şekil 3.48 : Anten Geometrisi (Nazmus parametreleri / bu tez yöntemi ile).....	49
Şekil 3.49 : Nazmus ve arkadaşları [4] tarafından tasarlanan anten geometrisi.....	50
Şekil 3.50 : $S_{11}$ (Belen [18] parametreleri / bu tez yöntemi ile ( Alpha : 45°).....	51
Şekil 3.51 : $S_{11}$ (Belen [18] parametreleri / bu tez yöntemi ile ( Alpha : 55°).....	51
Şekil 3.52 : $S_{11}$ (Belen [18] parametreleri / bu tez yöntemi ile ( Alpha : 60°).....	52
Şekil 3.53 : Belen ve arkadaşlarının [18] tasarımdaki $S_{11}$ değerleri.....	52
Şekil 3.54 : Anten Geometrisi (Belen [18] parametreleri bu tez yöntemi).....	53
Şekil 3.55 : Belen ve arkadaşları [18] tarafından tasarlanan anten geometrisi.....	53
Şekil 3.56 : Belen ve arkadaşları [4] tarafından tasarlanan antenin üretilmiş hali ....	54
Şekil 3.57 : Çentikli Bıçak Anten Mekanik Tasarımı –Solid Work Görüntüsü.....	55
Şekil 3.58 : Düz Bıçak Anten Mekanik Tasarımı–Solid Work Görüntüsü.....	55
Şekil 3.59 : Üretilen Çentikli Bıçak Anten.....	57
Şekil 3.60 : Üretilen Düz Bıçak Anten.....	58

Şekil 3.61 : SMA Konnektör ( 50 Ohm ).....	58
Şekil 3.62 : Network Analizörü kalibrasyonu ( Open ) .....	59
Şekil 3.63 : Network Analizörü kalibrasyonu ( Short ) .....	59
Şekil 3.64 : Network Analizörü Kalibrasyonu ( Load ).....	60
Şekil 3.65: Üretilen Çentikli Bıçak Anten Ölçüm Düzenegi.....	60
Şekil 3.66: Üretilen Çentikli Bıçak Anten S11 Ölçüm Düzenegi.....	61
Şekil 3.67: Üretilen Düz Bıçak Anten Ölçüm Düzenegi .....	61
Şekil 3.68: Üretilen Düz Bıçak Anten S11 Ölçüm Düzenegi.....	62
Şekil 3.69 : Çentikli Bıçak Anten S11 Ölçüm Sonucu ( MK 1 : 0.82 GHz ).....	63
Şekil 3.70 : Çentikli Bıçak Anten S11 Ölçüm Sonucu ( MK 2 : 2.04 GHz ).....	64
Şekil 3.71 : Düz Bıçak Anten S11 Ölçüm Sonucu ( MK 1 : 0.82 GHz ).....	65
Şekil 3.72 : Düz Bıçak Anten S11 Ölçüm Sonucu ( MK 2 : 2.04 GHz ).....	65
Şekil 1 : Anten Analizi İçin Koordinat Sistemi [16].....	73
Şekil 2 : Lineer Düzlemde Güç Diyagramı, İlgili Loblar ve Demet Genişliği [16] ...	74
Şekil 3 : $U\theta = \cos^2\theta\cos^2(3\theta)$ 'nın Güç Örüntüleri [16].....	76
Şekil 4 : Sonsuz Küçüklükteki Dipol Anten[16] .....	80
Şekil 5 : (a) Küçük Dipol Anten Geometrisi ve (b) Akım Dağılımı [16] .....	81
Şekil 6 : Sonlu Uzunluğa Sahip Dipol Anten Geometrisi [16] .....	81
Şekil 7 : Dipol Anten Akım Dağılımı (a) $l \ll \lambda$ , (b) $l = \lambda/2$ , (c) $\lambda/2 < l < \lambda$ , .....	82
Şekil 8 : Dipol Antenin Elevasyon Düzlemindeki Genlik Örüntüsü [16].....	84
Şekil 9 : Sahip Dipol Antenin Genlik Örüntüsü [16].....	85
Şekil 10 : Tel Antenin Akım Dağılımı[16] .....	86
Şekil 11 : $l = \lambda/2$ Işıma Örüntüsü[16].....	87
Şekil 12 : Dikey Dipol Antenin Işıması[16] .....	88

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

MHz	Mega Hertz
BW	Bandwidth (Bant genişliği )
$c_0$	Boş uzaydaki ışık hızı
D	Anten yönlülüğü
$D_0$	En büyük yönlülüğü
E	Elektrik alan şiddeti
$e_0$	Toplam anten verimliliği
$e_{cd}$	Anten ışıma verimliliği
EMD	Elektro manyetik dalga
ENG	Epsilon negatif
$e_r$	Anten yansıma verimliliği
$f_r$	Rezonans frekansı
G	Anten kazancı
GHz	Gigahertz
H	Manyetik alan şiddeti
HPBW	Yarı güç hüzmeye genişliği
MNG	Mu negatif
PEC	Mükemmel elektrik iletken
PMC	Mükemmel manyetik iletken
RL	Geri dönüş kaybı (Return Loss)
U	Anten ışıma şiddeti
VSWR	Duran dalga oranı
$W_{av}$	Ortalama ışıma güç yoğunluğu
$\Gamma$	Yansıma katsayısı
$\epsilon$	Elektriksel geçirgenlik
$\epsilon_0$	Serbest uzayın elektriksel geçirgenliği
$\epsilon_r$	Bağlı elektriksel geçirgenlik
$\epsilon_{reff}$	Etkin elektriksel geçirgenlik
$\lambda$	Dalga boyu
$\mu$	Manyetik geçirgenlik
$\mu_0$	Serbest uzayın manyetik geçirgenliği
$\mu_r$	Bağlı manyetik geçirgenlik



$\mu_{\text{reff}}$   
w

Etkin manyetik geçirgenlik  
Açısal Frekans

# 1. GİRİŞ

Modern kablosuz haberleşme sistemlerinde, genel olarak yapısı basit, aerodinamik olarak uygun, ağırlığı az ve maliyeti düşük olan geniş bantlı antenlere ihtiyaç duyulmaktadır [1]. Haberleşme teknolojisinin gelişimine paralel olarak hava platformlarında kullanılan haberleşme teknolojisinde de hızlı ilerleme sağlanmıştır. Ses ve veri haberleşmesi, multimedya, gözetleme ve telemetri uygulamalarında sıklıkla geniş bant anten kullanılmaktadır [1].

Kısa menzilli hava haberleşmesinde kullanılan VHF ve UHF bantlarında çok yönlü yayın yapan antenlerin kullanılma ihtiyacı bulunduğu bilinmektedir. VHF ve UHF bantlarında monopol antenler genellikle yer-hava ve hava-hava linklerinin haberleşmesinde kullanılmaktadır [2].

Diğer yandan hava platformlarındaki haberleşmeyi desteklemek için yön bulma (Direction Finding), mesafe ölçüm sistemi (Distance Measuring System), küresel konumlandırma sistemi (Global Positioning System), mikrodalga iniş sistemi (Microwave Landing System) ve radar altimetre sistemlerinin kullanımına da ihtiyaç duyulmaktadır [3].

Hava platformlarında kullanılan antenlerin, haberleşme ve navigasyon faaliyetlerini güvenli ve verimli bir şekilde destekleyebilmesi için anten ışınma örüntüsünün çok yönlü olması gerekmektedir [4].

Bunların dışında; hava platformlarında kullanılan antenlerin aerodinamik sürtünme kuvvetini en aza indirgeyebilecek, statik yük oluşumu, yıldırım, erozyon ve su girişi gibi çevresel faktörlere karşı da dirençli olacak yapıda olması bir zarurettir [4], [5].

Hava platformları için ihtiyaç duyulan haberleşmeyi daha etkin hale getirmek amacıyla geniş bantlı düzlemsel monopol/dipol, diskon, spiral ve halka şeklinde yuva anten (annular slot antenna ) geliştirme konusunda çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir [3], [6], [7], [8], [14], [15], [19], [20], [21], [22], [23]. Diğer yandan konik ve disk antenler de geniş bantlı antenler olmakla birlikte, bu antenlerin büyük hacim ve boyutlu olmaları nedeniyle hava platformlarında kullanımları uygun bulunmamaktadır [9].

Monopol antenler ortaya çıktıkları günden bu yana, hava platformlarındaki kablosuz haberleşme için yaygın olarak kullanılmaktadır [10]. Monopol antenlerin düzlemsel konfigürasyondaki basit yapısı ile küçük boyutlu olması hava platformlarında kullanım için

tercih edilmelerindeki en temel faktörlerdir [11]. Monopol antenler, yer düzlemi olarak hava aracının dış katmanını kullanmaktadır. Çeyrek dalga monopol antenlerin bant genişliği genellikle dar olup, bant genişliği değişimi %1 ile %5 arasındadır. Ancak, günümüzdeki uygulamalarda oktav bant genişliğinden daha fazla bant genişliğine sahip olan antenlere olan ihtiyaç gittikçe artmaktadır. Dar bant genişliğine sahip olan monopol antenler çeşitli teknikler kullanılarak geniş bantlı antenler haline dönüştürülebilmektedir. Dalga boyu/ Çap ( $\lambda/D$ ) oranı tekniği, anten yapısının açıyla tanımlanması, uyumlandırma devresi kullanımı veya bunların kombinasyonu vasıtasıyla dar bant monopol antenler geniş bantlı antene dönüştürülebilmektedir [11]. Geniş bantlı monopol antenler, farklı geometrik yapılara sahip ya da bu farklı geometrik yapıların kombinasyonu ile tasarlanmaktadır. Bu geometrik yapılar; bikon, papyon (bow-tie), kare, dikdörtgen, daire, volkan veya ters koni şeklindedir.

Monopol antenlerin tasarım prensibi her durumda aynı olup, sabit bir yükseklik ve genişlik için, aynı bant genişliğini sağlayacak şekilde antenler ölçeklendirilebilmektedir. Bu antenlerin Işıma Örüntüleri azimuth düzleminde her yöne, elevasyon düzleminde tek lob halindedir [1]. Çok geniş bantlı bir monopol anten elde etmek için bıçak anten tercih edilmekte, istenilen performansı elde etmek için de bıçak antenlerde çentikler meydana getirilmektedir [4].

Kullanım amaçlarına göre değişmekle birlikte antenlerin en önemli tasarım parametreleri “ışınma örüntüsü, anten kazancı ve bant genişliği ile uygun boyutlara sahip olma” olarak sıralanabilir.

Bıçak antenlerin küçük boyutlu ve hafif olması, VHF-UHF ve L bantlardaki kazanç, giriş empedansı, ışınma örüntüsü ve elektriksel performansın stabil olması nedeniyle, bu antenlerin hava platformlarında kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır [12].

Anten tasarımına başlamadan önce yapılan literatür taramasında [4], [6], [10],[11],[12], [13] makaleleri incelenerek bıçak anten tasarımı konusunda detay bilgi elde edilmeye çalışılmıştır.

Saaquib, Nazmus ve arkadaşları [4] tarafından yapılan çalışmada; yer düzlemi, bıçak anten ve parazitik elemandan oluşan anten tasarımı gerçekleştirilmiştir, geliştirilen antenin çalışma frekans bandı 835 MHz – 962 MHz olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmada 127 MHz bant genişliği, anten kazancı ise boş uzayda en yüksek 4.73 dB olarak elde edilmiştir. Bu

çalışmanın detaylı olarak irdelenmesi ve bu tez kapsamında yapılan tasarım ile mukayesesi Bölüm 3’de detaylı olarak verilmektedir.

Tooba, Raza, Mashhadi, Khan [6] tarafından yapılan çalışmada; yer düzlemi ve düzlemsel altıgen şeklinde monopul anten yapısından oluşan anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışma bandı olarak 1.2 GHz – 6 GHz seçilmiş, band genişliği olarak 4.8 GHz elde edilmiş, bu bant genişliğinde elde edilen en yüksek kazancın 4.9 dB olduğu belirtilmektedir.

Biswas, Vulapalli [10] tarafından yapılan çalışmada; yer düzlemi ve basılı (printed) monopul anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Antenin çalışma frekans bandı 425 MHz – 575 MHz olarak seçilmiştir. Bu frekans bandı aralığında elde edilen bant genişliği 150 MHz’dir.

Sairam, Khumanthem, Ahirwar, Kumar [11] tarafından yapılan çalışmada; yer düzlemi ve basılı (printed) monopul anten tasarlanmıştır. Antenin çalışma frekans bandı 0.5 GHz – 1.5 GHz’dir. Ancak, tasarlanan antenin belirtilen çalışma frekans aralığındaki GHz civarlarında antenin VSWR oranının 2 değerini aştığı görülmektedir. Anten kazanç değeri 4 dB – 8 dB arasında değişmektedir.

Zhang Guang-yu, Jia Yun-feng, Yang liu, Li Zi-ning, SUN Fei [12] tarafından yapılan çalışmada; yer düzlemi ve bıçak anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Antenin çalışma frekans bandı 100 MHz – 1 GHz’dir. Maksimum anten kazancı boş uzayda 2.81 dB’dir.

Makoto Ono, Takeichi [13] tarafından yapılan çalışmada; yer düzlemi ve bıçak antenden oluşan bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Anten bant genişliği 118 MHz – 144 MHz’dir. 26 MHz bant genişliği bulunmaktadır.

Aysu Belen ve arkadaşları [18] tarafından “UHF Frekanslarıyla Uyumlu Bıçak Anten Tasarımı” başlıklı çalışma incelenmiştir. Bu çalışmanın detaylı olarak irdelenmesi ve bu tez kapsamında yapılan tasarım ile mukayesesi Bölüm 3’de detaylı olarak verilmektedir.

Bu tez çalışmasında, hava platformları için geniş bantlı bıçak anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Antenin tasarımında geniş bant hedeflenmiş, 1.22 GHz bant genişliğinde, 0.82 – 2.04 GHz aralığında empedans uyumu sağlanmıştır. Belirtilen bant genişliğinde anten kazancının en yüksek değeri olarak 6.48 dB elde edilebilmiştir.

Tasarlanan antenin performans parametreleri ve elde edilen sonuçların detayları Bölüm 2’de detaylı olarak verilmektedir.

Bıçak anten tasarımında “CST Studio Suite” anten tasarım aracı kullanılmıştır. Tez dört ana bölüm olarak hazırlanmıştır. Bölüm-1’de Tezin amacı ve Bıçak Anten Tasarımı konusunda yapılan literatür çalışması özetlenmiştir. Bölüm-2’de Bıçak Anten Tasarımı Ön Çalışması ve Gereksinimler belirlenmiştir. Bölüm-3’de bu tez kapsamında tasarımı yapılan Bıçak Anten’in tasarım parametrelerinin belirlenmesinde en önemli rolü oynayan altmış (60) civarında simülasyon ve değerlendirme yapılmıştır. Bölüm-4’de ise elde edilen neticeler toparlanmış ve müteakip çalışmalar hakkında öneride bulunulmuştur. Anten tasarımında dikkate alınması gereken temel anten parametreleri ve dipol anten çeşitleri hakkında özet bilgi bu teze Ek olarak konmuştur.

Bu Tez’in amacı; Hava platformları uygulamalarında kullanılabilecek, aerodinamik sürüklenme kuvvetinden en az etkilenecek, üretimi kolay, basit yapı ve geniş bantlı bıçak anten tasarımı ve üretimini gerçekleştirmektir. Bu amaç doğrultusunda tasarımı gerçekleştirilen antenin benzetimi yapılarak kazancı yüksek ve geniş banda sahip bir anten tasarlanmaya çalışılmıştır. Anten “CST Studio Suite” programında tasarlanmıştır. Bıçak antenin yapısı gereği anten üzerindeki çentikler sayesinde anten boyunu kısaltma yoluna gidilmiştir.

Literatürde hava platformlarının haberleşme sistemi için farklı türde antenler tasarlanmıştır. Düzlemsel monopol anten, diskon anten, gömme montajlı boşluk yuvası antenleri üzerine literatürde çalışmalar yapılmıştır. Bu antenler kullanım amaçlarına bağlı olarak geniş bantlı, ışıma örüntüsü, kompakt yapıya sahip olmaları açısından seçilmektedir.

Gelişen haberleşme teknolojisi ile birlikte antenlerin geniş bantlı, kompakt boyutlu, hafif ve basit yapılara sahip olması istenmektedir. Hava platformlarında haberleşme uygulamaları için bu özelliklere sahip olan monopol antenler kullanılmaktadır. VHF ve UHF bantlarında kısa menzilli hava haberleşmelerinde çok yönlü yayın yapan antenlerin kullanılması gereklidir [2]. VHF-UHF bantlarında, monopol antenler genellikle yer-hava ve hava-hava linklerinin haberleşmesinde kullanılmaktadır [2].

Monopol antenlerin her yöne ışıma yapan bir yapısının olması ve tasarımı gereği yer düzlemi (ground plane) olarak hava platformunun iletken yüzeylerini kullanılmaktadır [10].

Bıçak anten üzerinde çentikler oluşturularak antenin kalite faktörü(Q) düşürülerek antenin geniş bantlı olması sağlanmaktadır [4]. Çentikler sayesinde anten boyu kısaltılabilmektedir [13]. Geniş bant karakteristiği Q değeri ile ilişkili olarak tahmin edilebilmekte [13] ve Q değeri denklem (1.1) ile hesaplanmaktadır. Ayrıca, geniş bantlı empedans uyumu için, Q değerinin küçük olması gerekmektedir [13].

$$Q = \left( \frac{f_0}{\Delta f} \right) \left( \frac{\Delta x}{2R} \right) + \frac{|X|}{2R} \quad (1.1)$$

Burada ;  $f_0$  : Merkez Frekansı,  $\Delta f$  : Frekans Aralığı,  $\Delta x$  : Frekans aralığı boyunca reaktans değişiminin mutlak değeri,  $R$  : Merkez Frekansında Besleme Noktasının Direncidir.

## 2. BIÇAK ANTEN TASARIMI VE BENZETİMİ

### 2.1. CST Studio Yazılımı

Bu tez çalışmasında anten tasarımı ve benzetim çalışmaları için CST Studio Suite Paket Yazılımı kullanılmıştır [17]. CST Studio yazılımı; elektromanyetik (EM) sistem ve bileşenlerinin tasarımı, analizi ve en iyi çözüm tarzının bulunması için kullanılan yüksek performanslı bir 3-boyutlu bir elektromanyetik analiz yazılımı paketidir.

Elektromanyetik spektrumundaki uygulamalar için elektromanyetik alan çözücüler (solvers) kullanılmaktadır. Bu çözücüler CST Studio Suite yazılım paketinde tek bir kullanıcı arayüzü olarak sunulmaktadır. Hibrit simülasyon yapmak gerektiğinde ise bu çözücüler birleştirilebilmektedir. Bu suretle söz konusu yazılım paketi ile, birden fazla bileşenden oluşan sistemlerin verimli ve kolay bir şekilde analize edilme olanağı sağlanmaktadır.

Antenlerin ve filtrelerin performansı ve verimliliği, elektromanyetik uyumluluk ve girişim (EMC/EMI), insan vücudunun maruz kaldığı EM alanlar, motorlarda ve jeneratörlerde ortaya çıkan elektro-mekanik etkiler ve yüksek güce sahip cihazlardaki termal etkiler elektromanyetik analizin başlıca konuları olarak sıralanabilir.

CST Studio Suite ile yapılan simülasyonlarda sanal prototipler kullanılabilenkte, tasarımı yapılacak cihaz performansı optimize edilebilmekte, tasarımın erken fazlarında potansiyel uyumluluk sorunları tespit edilerek azaltılabilmekte, bu suretle ihtiyaç duyulacak fiziksel prototiplerin sayısı azaltılabilmekte ve testlerde meydana gelebilecek başarısızlıklar ve geri dönüş riskleri en aza indirilebilmektedir.

CST Studio Suite'in en önemli özelliklerinden biri de; yazılımın Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Difference (FEM)), Sonlu Entegrasyon Tekniği (Finite Integration Technique (FIT)), İletim Hattı Matris Yöntemi (Transmission Line Matrix Method (TLM)) ve benzeri yöntemleri kullanmak suretiyle çoklu elektromanyetik (EM) simülasyon çözücülerine erişim sağlama imkanı sunmasıdır. Diğer yandan, bu yöntemlerin kullanımı yüksek frekanslı simülasyonlar için güçlü çözücülerin kullanılabilmesi imkânını da sağlamaktadır. Ayrıca yüksek frekanslı uygulamalar için ek çözücüler sunulmaktadır.

CST Studio Suite yazılımının FEM çözücüsü statik ve düşük frekanslı uygulamalar (elektromekanik cihazlar, transformatörler veya sensörler vb. ) için kullanılmaktadır.

Bunların yanında yüklü parçacık dinamiği, elektronik ve çoklu fizik problemleri için kullanılan simülasyon yöntemleri de bulunmaktadır.

Asimptotik çözücü, aşırı büyük yapılarda ve tam dalga (full-wave) çözücünün gerekli olmadığı durumlarda kullanılır. Asimptotik çözücü fiziksel optiğin bir uzantısı olan Çekim Zıplayan Işın (Shooting Bouncing Ray(SBR)) yöntemini temel alır. Elektriksel büyüklük olarak çok büyük dalga boyuna sahip simülasyonları gerçekleştirme kabiliyetine sahiptir. Uygulama alanları; elektriksel olarak büyük olan yapılar, antenin monte edildiği sistemlerin performansı ve saçılma analizidir.

Eigenmode çözücü, rezonant yapıları simüle etmek için kullanılan 3D bir çözücüdür. Eigenmode çözücünün kullanıldığı uygulamalar; yüksek rezonant filtre yapıları, yüksek Q parçacık hızlandırıcı boşluklar ve yavaş olan dalga yapılarıdır.

CST Studio Suite yazılımı ayrıca, 2D filtre tasarımı, düzlemsel filtre sentezi, 3D filtre tasarımı, bant geçiren ve çift yönlü filtreler tasarlamak için de kullanılmaktadır.

CST Studio yazılımında yer alan diğer bir çözücü de “Frekans domain çözücü”dür. Bu çözücü 3D tam dalga (full wave) çözücüdür. Sonlu elemanlar yöntemini kullanılır. Frekans domain çözücü, bütün portları aynı anda çözebildiğinden ve aynı zamanda birden fazla portlu sistemlerde çok verimli bir çözücüdür. Örnek olarak konnektörler ve dizilerin olduğu bir sistem. Uygulama alanları; küçük-orta modeller kullanan yüksek frekanslı uygulamalar, rezonant yapılar, çoklu portlara sahip sistemler, 3D elektronik.

Integral çözücü, Method of Moments (MOM) ve multilevel fast multipole method (MLFMM) yöntemine dayanan 3D tam dalga (full wave) çözücüdür. Yüzey integral tekniği kullanılır. Uygulama alanları; elektriksel olarak büyük olan modellerin yüksek frekanslı uygulamalarında, kurulu olan sistem performansında, karakteristik mod analizinde.

Çok katmanlı çözücü, Methods of Moment(MOM) yöntemine dayanan 3D tam dalga (full wave) çözücüdür. Yüzeysel integral tekniğini kullanılır ve düzlemsel mikrodalga yapılarını simüle etmek için kullanılır. Uygulama alanları; MMIC, besleme ağları (feeding network), düzlemsel antenler.

Zaman domain çözücü, hem sonlu entegrasyon tekniğini(FIT) hem de iletim hattı matris (TLM) yöntemlerini kullanan güçlü ve çok yönlü 3D tam dalga çözücüdür. Geniş



bant simülasyonları gerçekleştirebilir. Çok büyük yapı, kompleks, ve ayrıntı açısından zengin olan uygulamaları, bilgisayar donanımını hızlandırarak ve MPI(Message Passing Interface) küme hesaplama desteği ile çözer. Uygulama alanları; yüksek frekanslı orta-büyük yapı, geçici etkiler (transient effects), 3D elektronik.

Hybrid Çözücü, zaman domain, frekans domain, integral, ve asimptotik çözücülere bağlanmaya izin verir. Çok geniş frekans bantları veya çok ince detaylara sahip elektriksel olarak büyük yapılar için simülasyon projeleri için farklı parçalar üzerinde farklı çözümler kullanılarak çok daha verimli hale getirilebilir. Uygulama alanları; çok büyük yapılarda küçük antenler, EMC simülasyonları, kompleks ortamlardaki insan vücudu simülasyonları.

## 2.2. Anten Yapısı ve Benzetimi

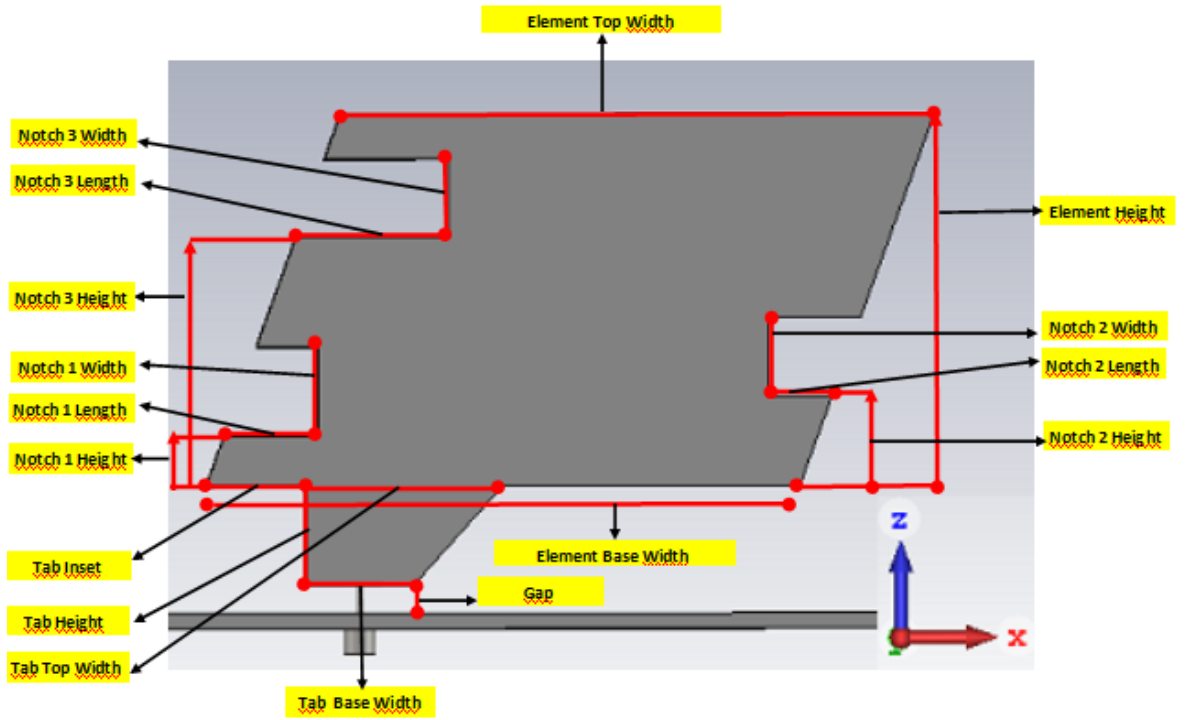
Bu tez çalışmasında, geniş bantı destekleyen, kazancı yüksek ve her yöne ışın yapan bir monopollü bıçak anten tasarımının gerçekleştirilmesi ve üretimi amaçlanmaktadır. Antenin çalışma bandında iyi bir empedans uyumunu sağlaması, kazancının, ışın örüntüsünün istenen ve kabul edilebilir sınırlarda bir anten olması hedeflenmektedir.

Bölüm 3'te detayları verilen simülasyon çalışmaları neticesinde elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve en uygun performansı sağlayacak anten parametreleri dikkate alınarak bir önceki maddede belirtilen özellikleri sağlayacak antenin aşağıdaki özellikleri bulunacaktır.

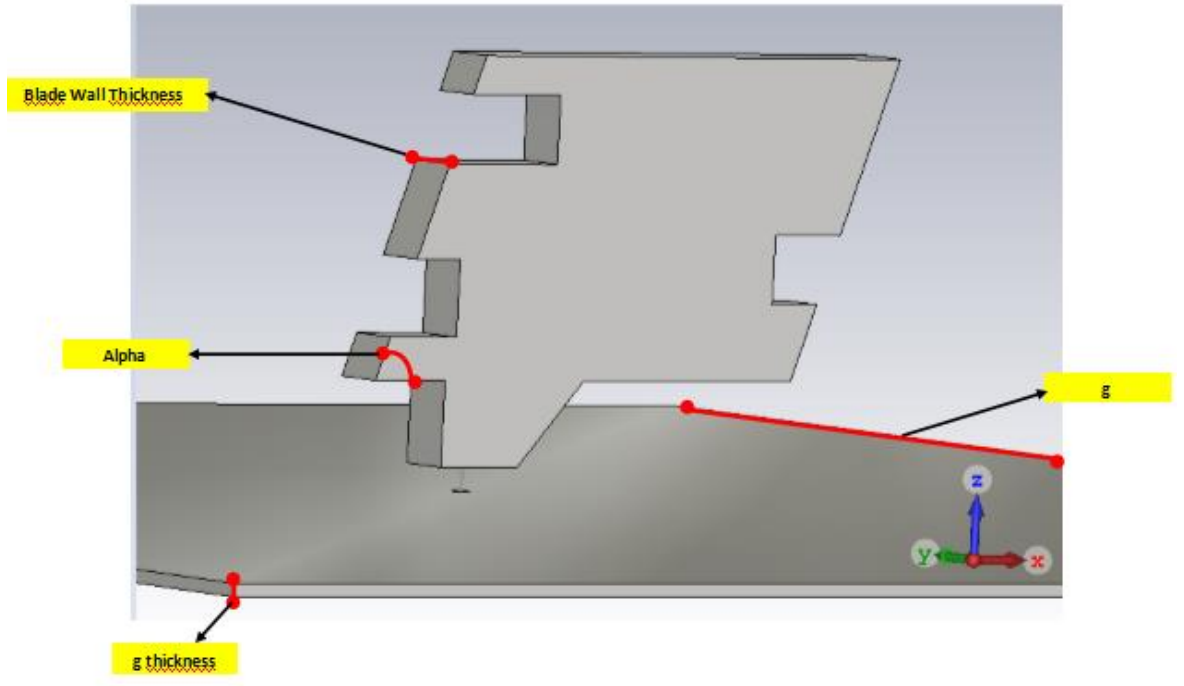
- a. Antenin metalik bir yer düzlemi olacak ve metalik bir monopollü yapıdan oluşacaktır,
- b. Metalik yer düzlemi ile metalik monopollü yapı arasında boşluk bulunacaktır. Bu boşluk antenin empedans uyumunun sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Işın yapan monopollü anten ile metalik yer düzlemi arasında  $6mm$  boşluk (gap) olacaktır.
- c. Boşluk ile metalik monopollü yapının başladığı yer arasında  $Tab$  olarak tanımlanan antenin bir bölümü yer alacaktır.
- d. Antenin yüksekliği,  $Element Height$  ve  $Tab Height$  parametrelerinin değerlerinin toplamıdır. Bu iki parametrenin değerlerinin toplanması ile antenin yüksekliği  $95 mm$  olmaktadır. Bir önceki maddede belirtilen boşluktan sonra antenin metalik monopollü yapısının yüksekliği  $Element Height=75mm$ 'dir.

e. Metalik monopol yapının genişliği *Element Top Width* yada *Element Base Width* = 120mm'dir.

f. Metalik yer düzleminin kalınlığı olan *g thickness* parametresi 3 mm olarak alınmıştır. Metalik yer düzleminin boyutları ( $g \times g$ ) 500 x 500 mm<sup>2</sup> dir. Tasarlanan anten geometrisi Şekil 2.1-2.2'de olduğu şekildedir. Tasarlanan tüm anten parametre değerleri Tablo-2.1'dedir.



Şekil 2.1 Tasarımı Yapılan Antenin Geometrik Yapısı



Şekil 2.2 Tasarımı Yapılan Antenin Geometrik Yapısı

Tablo 2.1 Anten Parametreleri ve Değerleri

Parametre	Değer (mm - °)
Notch 1 Height	10
Notch 1 Length	19
Notch 1 Width	18
Notch 2 Height	18
Notch 2 Length	13
Notch 2 Width	16
Notch 3 Height	50
Notch 3 Length	31
Notch 3 Width	16
Element Height	75
Element Top Width	120
Element Base Width	120
Tab Height	20
Tab Top Width	40
Tab Base Width	22
Tab Inset	20
Alpha	70°
Gap	6
Blade Wall Thickness	3

Anten  $50\Omega$  luk sma konnektör ile beslenmektedir. Bıçak antenin yapısı gereği üzerinde yatay olarak kesilmiş çentikler bulunmaktadır. Tasarlanan anten üzerinde üç çentik vardır. Bu çentikler kullanılarak antenin boyu azaltılır ve anten rezonans frekansına girer [13]. Antenin metalik yapısına eğim verilerek suretiyle ışıma örüntüsüne eğim verilmiştir.

### 3. SİMULASYON ÇALIŞMALARI

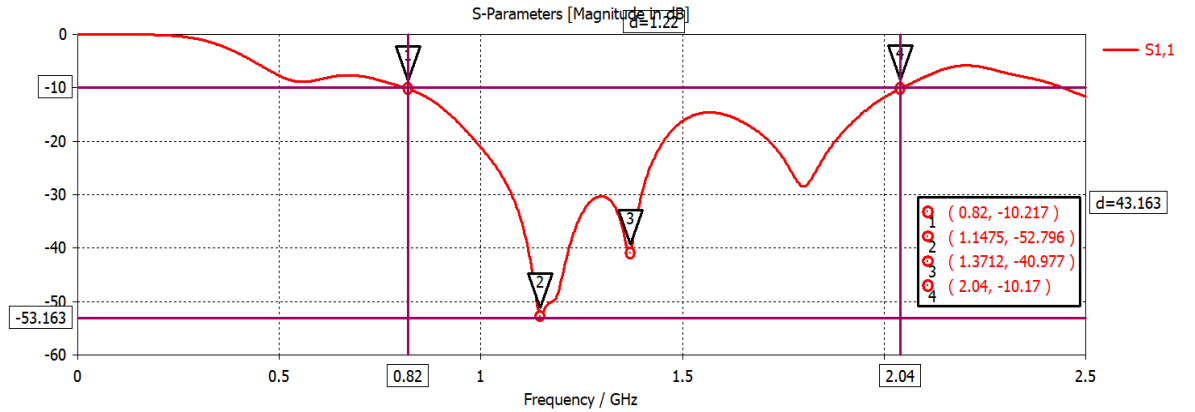
#### 3.1 Bıçak Anten Tasarımına İlişkin Simulasyon ve Analiz Çalışmaları

Bu tez çalışmasında hava platformlarının haberleşme ve elektronik harp sistemlerinde kullanılabilir bıçak anten tasarımı hedeflenmiştir.

Bıçak anten tasarımında ön planda genel anten bilgisi, deneme-yanılma ve en uygun şekle sokma (optimizasyon ) tekniği kullanılarak tasarım yapılmıştır.

Hava platformlarının haberleşme sistemlerinde ve elektronik harp sistemlerinde kullanılabilir bant genişliği dikkate alınarak anten çalışma frekans bandı 0.82 GHz – 2.04 GHz olarak seçilerek 1.22 GHz bant genişliğinde bir anten tasarımı yapılmıştır.

Tasarlanan antenin empedans bant uyumunun sağlandığı bölge, geri dönüş yansım katsayısı  $S_{11}$  (dB) büyüklüğünün -10 dB altında kaldığı bölge olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda, tasarlanan antenin empedans uyumluluğunun sağlandığı bant genişliğindeki performansı Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Grafikte gösterilen bant genişliği hava platformlarının haberleşme sistemlerinde ve elektronik harp sistemlerinde kullanılabilir bant genişliğidir.



Şekil 3.1  $S_{11}$  Katsayısı Büyüklüğü ( Bant Genişliği: 0.82 GHz – 2.04 GHz)

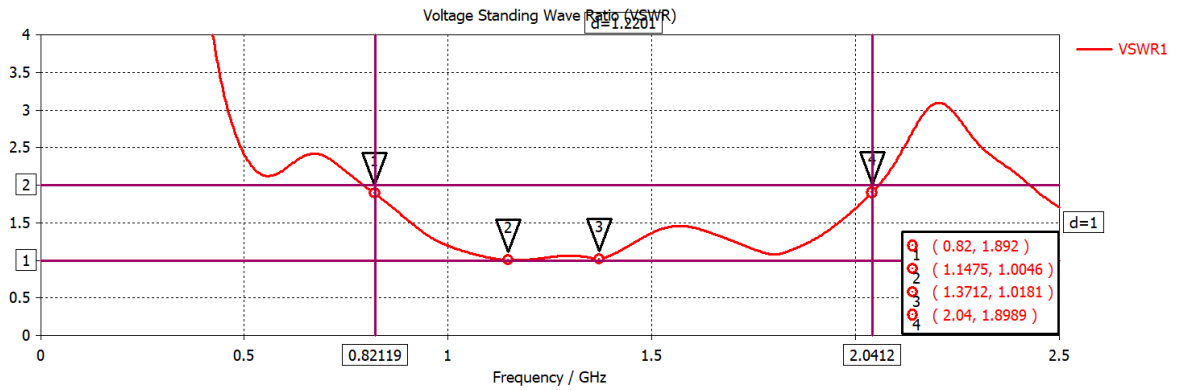
Anten tasarımında empedans uyumunun sağlanmasında  $S_{11}$  parametresi ile birlikte Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR ) parametresi de dikkate alınmak durumundadır. Bu nedenle belirtilen bant aralığında,  $VSWR \leq 2$  değerlerinde olması gerekmektedir. Tasarıma konu olan 0.82 GHz – 2.04 GHz frekans bandında bu şartın sağlandığı Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

Şekil 3.1’deki üçgen sembolü içinde 1 numara ile noktalanmış frekansta,  $S_{11}$ ’in değeri -10 dB’dir. Bu frekansta antenin empedans uyumu sağlanmıştır. Anten tasarımında iyi bir empedans uyumunun sağlanabilmesi için  $S_{11}$ ’in -10 dB’nin altında olması gerekir. Grafikteki -10 dB olan geri dönüş kaybı, bu teze Ek olarak konan dokümandaki denklem (14)’de yerine konduğunda  $\Gamma$  değeri 0.316 olarak bulunmuştur.

Şekil 3.1’de 2 numaralı frekansta,  $S_{11}$ ’in değeri -53 dB’dir. Bu frekanstaki empedans uyumunun 1 numaralı frekanstaki empedans uyumuna göre daha iyi olduğu görülmektedir. Grafikteki -53 dB olan geri dönüş kaybı, denklem (14)’de yerine konduğunda  $\Gamma$  değeri 0.0022 olarak bulunmuştur.

Şekil 3.1’de 3 numaralı frekansta,  $S_{11}$ ’in değeri -40 dB’dir. Görülen -40 dB olan geri dönüş kaybı, denklem (14)’de yerine konduğunda  $\Gamma$  değeri 0.01 olarak bulunmuştur.

Şekil 3.1’de 4 numaralı frekansta,  $S_{11}$ ’in değeri -10 dB’dir. Grafikteki -10 dB olan geri dönüş kaybı, denklem (14)’de yerine konduğunda  $\Gamma$  değeri 0.316 olarak bulunmuştur.



Şekil 3.2 VSWR Değerleri ( Bant Genişliği: 0.82 GHz – 2.04 GHz)

Şekil 3.2’deki 1 numaralı frekansta, VSWR değeri 1.892’dir.  $\Gamma$  değeri 0.316 bu tezin Ek’inde yer alan denklem (13)’de yerine konduğunda VSWR (ideal değer ) 1.92 olarak bulunmuştur.

Şekil 3.2’deki 2 numaralı frekansta, VSWR değeri 1.0046’dir.  $\Gamma$  değeri 0.01 denklem (13)’de yerine konduğunda VSWR değeri (ideal değer) 1.004 olarak bulunmuştur.

Şekil 3.2'deki 3 numaralı frekansta, VSWR değeri 1.0181'dir.  $\Gamma$  değeri 0.0022 denklem (13)'de yerine konulduğunda VSWR değeri (ideal değer) 1.02 olarak bulunmuştur.

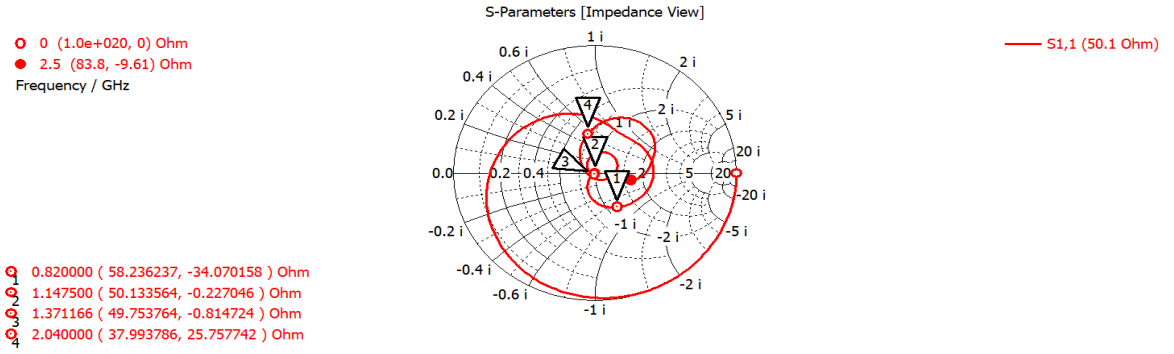
Şekil 3.2'deki 4 numaralı frekansta, VSWR değeri 1.8989'dur.  $\Gamma$  değeri 0.316 denklem (13)'de yerine konulduğunda idealde VSWR değeri (ideal değer) 1.92 olarak bulunmuştur.

İyi bir empedans uyumunun sağlanabilmesi için VSWR değerinin 2'den küçük veya 2'ye eşit olması beklenir. Tasarım yapılan 0.82 GHz – 2.04 GHz frekans aralığında VSWR değerinin 2 'den küçük olduğu görülmektedir.

Şekil 3.2'de 1 numara ile gösterilen frekans 0.82 GHz, 4 numara ile gösterilen 2.04 GHz ve merkez frekans  $f_c = 1.43$  GHz'dir. Bu değerler dikkate alındığında Göreceli Bant Genişliği  $BW = 1.22$  GHz; yüzde olarak Bant Genişliği ise Denklem (3.1) ile hesap edilebilir.

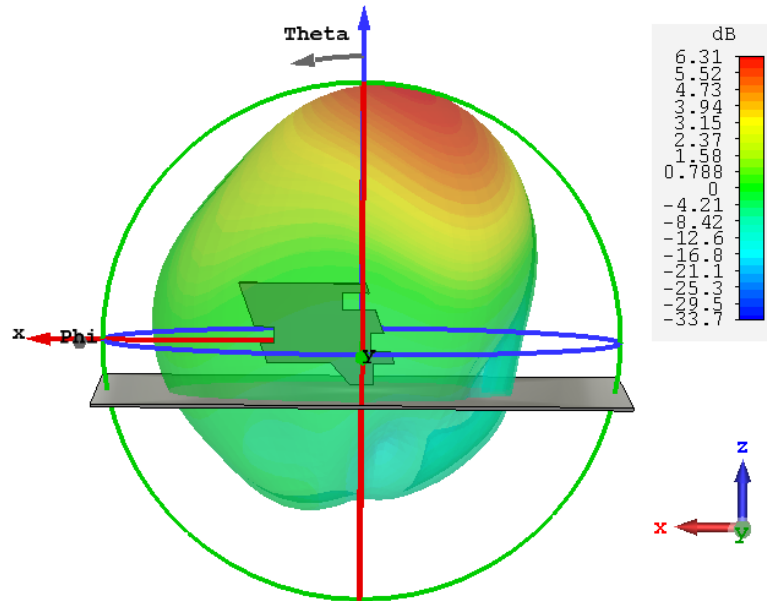
$$BW = \frac{f_4 - f_1}{f_c} \times 100 = \frac{2.04 - 0.82}{1.43} \times 100 = 85\% \quad (3.1)$$

Empedans uyumunun gösterildiği diğer bir parametre ise Smith diyagramıdır. Tasarlanan antenin empedansının Smith diyagramı görüntüsü Şekil 3.3'de verilmektedir. Şekil 3.3 ile verilen Smith Diyagramından da görüleceği üzere anten parametresi olarak Smith Diyagramı üzerindeki 1 numaralı noktada empedans değeri  $58.2 \Omega$  olduğu görülmektedir. Diğer yandan, 2 numaralı, 3 numaralı ve 4 numaralı noktalardaki empedans değerleri  $50.1 \Omega$ ,  $49.7 \Omega$  ve  $37.99 \Omega$  olduğu görülmektedir. 2 ve 3 numaralı noktalardaki frekanslarda mükemmel bir empedans uyumu yakalandığı görülmektedir.



Şekil 3.3 Smith Diyagramı Empedans Değerleri

Bilindiği üzere bir antenden yayılan elektromanyetik alan şiddetinin antenin uzak alanındaki görünümü ışına örüntüsü olarak tanımlanmaktadır. Bu örüntü tasarımcılara hangi yönde veya yönlerde ışına yaptığını göstermekte ve antenin elektromanyetik görünüşü ve etkisi hakkında önemli bir bilgi vermektedir. Bu kapsamda tasarlanan antenin ışına örüntüsünün de incelenmesi faydalı bulunmuştur. Tasarlanan antenin CST Studio Yazılım paketi desteğiyle ışına örüntüleri incelenmiş ve tasarlanan antenin Işıma Örüntüsü Diyagramları incelendiğinde tasarladığımız antenin “0.82 GHz - 2.04 GHz” frekans aralığında her yöne (omnidirectional) ışına yaptığı görülmektedir. Antenin 0.82 GHz frekansındaki 3D ışına örüntüsü Şekil 3.4’de verilmektedir. Bu frekanstaki (0.82GHz) 3D Işıma Örüntüsü Diyagramı incelendiğinde, anten kazancının 6.31 dB, anten ışınımın ön bölgeye doğru olduğu görülmektedir.

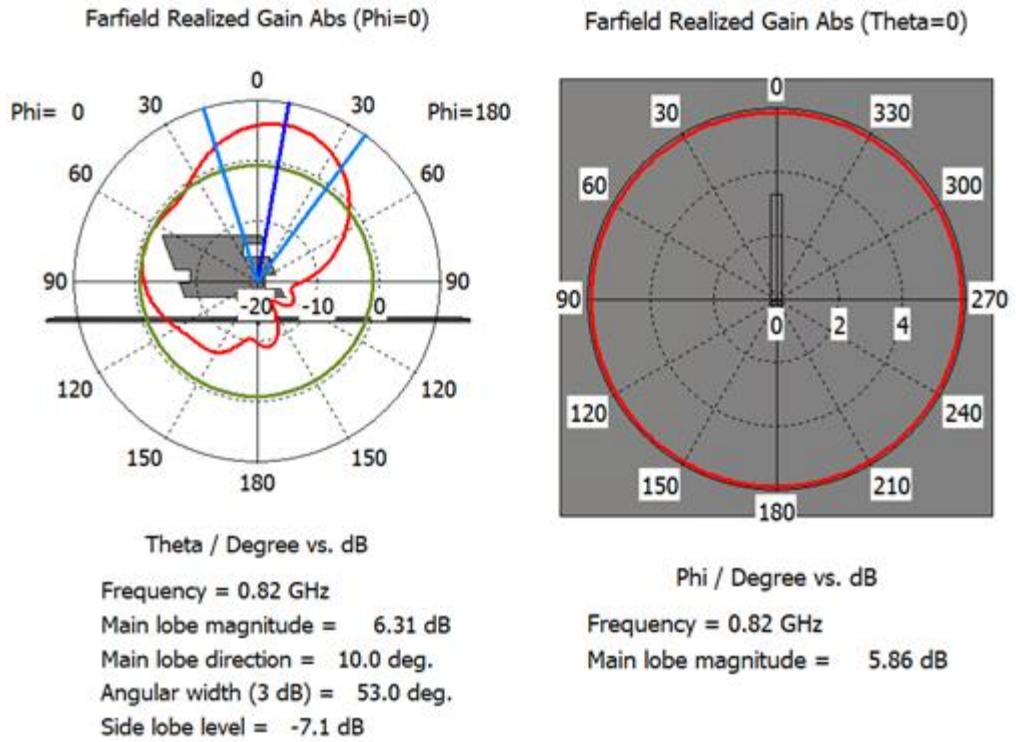


Şekil 3.4 Işıma Örüntüsü – 3D ( 0.82 GHz)



Polar koordinatlarda antenin ışma örüntüsü ile ilgili yapılan simülasyonda, antenin  $\Phi=0$  iken elevasyon düzlemindeki değişimi ve  $\Theta=0$  iken azimuth düzlemindeki değişimi incelenmiştir. Bu kapsamda 0.82 GHz için elde edilen değerler Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Şekil 3.5’de de görüleceği gibi  $\Phi=0$  iken elevasyon düzlemindeki antenin uzak alan kazancının maksimum 6.31 dB,  $\Theta=0$  iken azimuth düzlemindeki antenin uzak alan kazancının 5.86 dB olduğu görülmektedir.

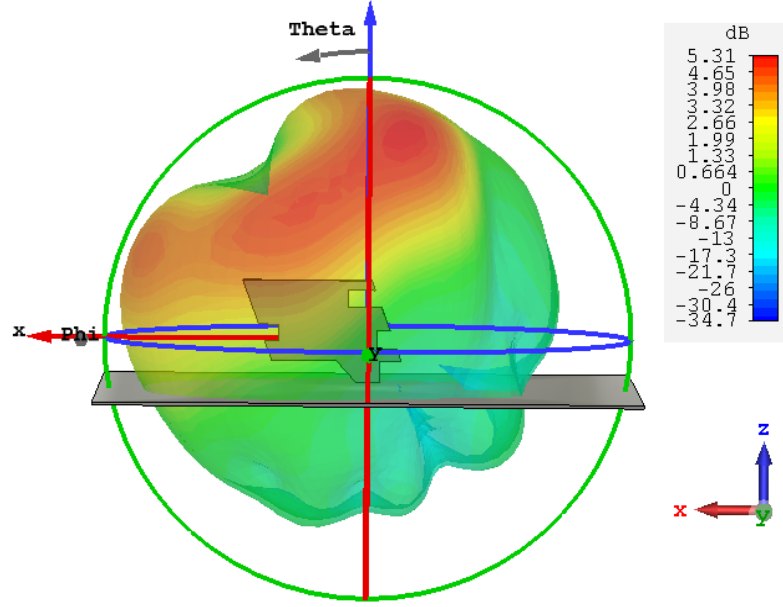
Burada;  $\Phi$  açısı, x-y düzleminde tanımlanan açıdır. Antenin, azimuth düzlemindeki değişimine bakılırken bu açıdan faydalanılır.  $\Theta$  açısı ise, x-z düzleminde tanımlanan açıdır. Antenin, elevasyon düzlemindeki değişimine bakılırken bu açıdan faydalanılır.



Şekil 3.5 Polar Düzlemde Işıma Örüntüsü (0.82 GHz)

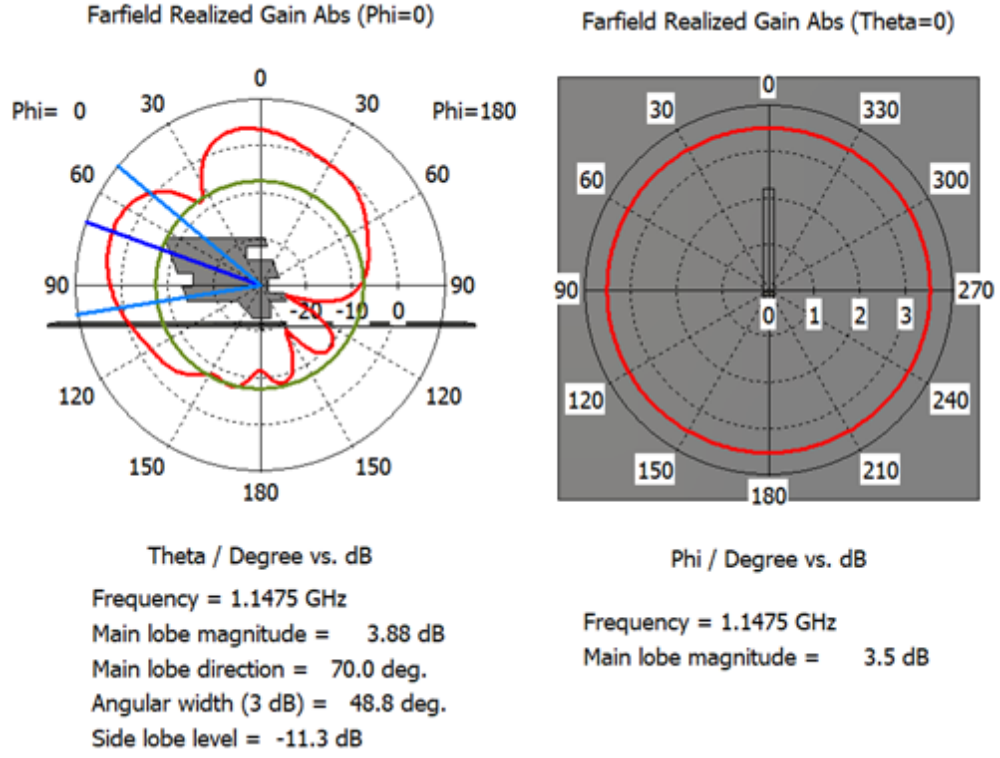
Tasarlanan antenin Işıma Örüntüsü ile ilgili genel bir yargıya varmak için değişik frekanslarda elde edilen değerlere bakmak gerekmektedir. Bu nedenle bu sefer de 1.1475 GHz frekansındaki 3D ışma örüntüsü incelenmiştir. Bu frekansta elde edilen Işıma Örüntüsü Şekil 3.6’da verilmektedir. Şekil 3.6’da görüldüğü üzere 1.1475 GHz frekansında 3D ışma örüntüsünde elde edilen anten kazancının 0.82 GHz frekansı kullanılarak yapılan bir önceki simülasyonda elde edilen 6.31 dB’lik anten kazancına göre bir miktar azalma olmakla birlikte 5.31dB anten kazancı elde edilmektedir. Antenin ışmasının, bu frekansta

bir önceki frekansa nazaran antenin ön bölgesinden arka bölgesine doğru yönlendiği gözlemlenmektedir.



Şekil 3.6 Işıma Örüntüsü - 3D ( 1.1475 GHz)

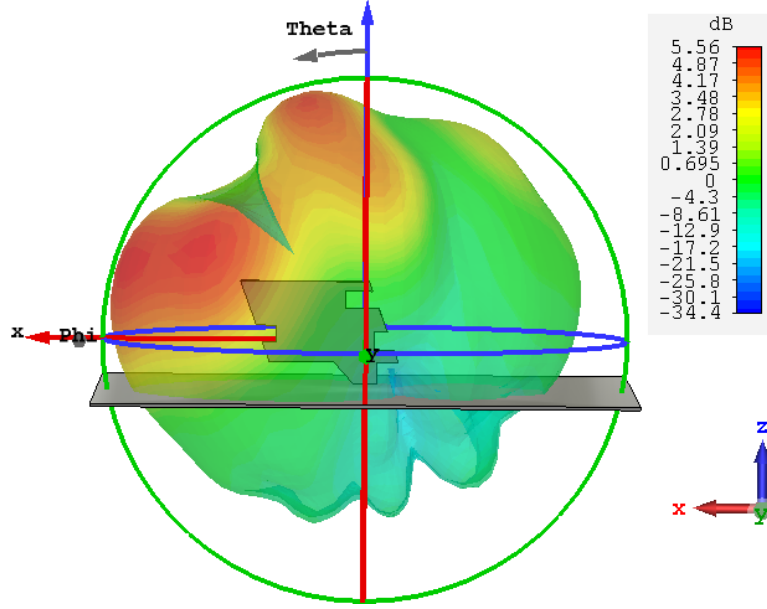
Benzer şekilde Polar düzlemde farklı frekanslar için elde edilen değerlerin incelenmesi genel bir yargıya varmak için gerekli olduğundan bir önceki simülasyondaki farklı frekans, 1.1475 GHz için inceleme yapılmıştır. Yapılan simülasyonlarda antenin  $\Phi=0$  iken elevasyon düzlemindeki değişimi ve  $\Theta=0$  iken azimuth düzlemindeki değişimi incelenmiştir (Şekil 3.7 ). Elde edilen simülasyon sonuçlarında;  $\Phi=0$  iken elevasyon düzlemindeki uzak alan anten kazancının 3.88 dB olduğu,  $\Theta=0$  iken azimuth düzlemindeki uzak alan anten kazancının 3.5 dB olduğu görülmektedir.



Şekil 3.7 Polar Düzlemde Işıma Örüntüsü ( 1.1475 GHz)

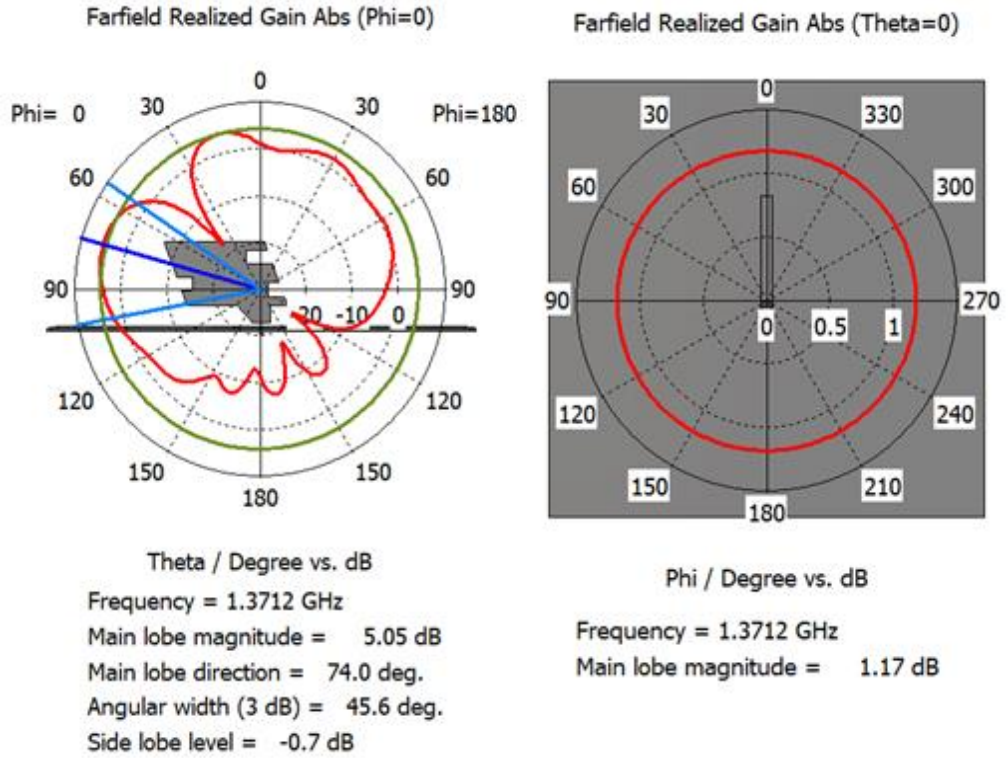
Antenin çalışma frekansı bir miktar daha artırılmış ve 1.3712 GHz frekansındaki 3D ışınma örüntüsü simule edilmiştir. Bu frekansta elde edilen 3D ışınma örüntüleri Şekil 3.8’de gösterilmektedir. Işınma frekansı incelendiğinde 1.3712 GHz frekansında anten kazancının 5.56 dB olduğu görülmektedir. Elde edilen kazancın bundan önceki diğer iki frekans için elde edilen kazanç değerlerinin arasında bir kazanç elde edildiği anlaşılmaktadır.

1.1475 GHz frekansındaki anten ışınma örüntüsüne benzer, fakat antenin polar düzlemdeki ışınma örüntüsü de dikkate alındığında ve ana loba bakıldığında, antenin 1.3712 GHz frekansında bir miktar daha arka yöne doğru ışınma yaptığı gözlemlenmiştir.



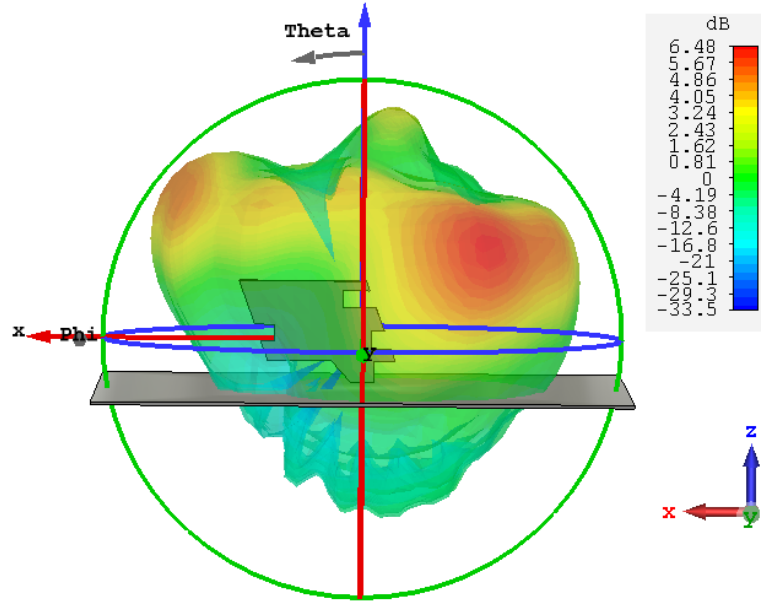
Şekil 3.8 Işıma Örüntüsü – 3D ( 1.3712 GHz)

İki boyutlu düzlemde 1.3712 GHz frekans değeri için kazanç değerlerini inceleyelim. Bu frekansta yaptığımız simülasyonda,  $\Phi=0$  iken elevasyon düzlemindeki antenin kazancının 5.05 dB,  $\Theta=0$  iken azimuth düzlemindeki antenin kazancının 1.17dB olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3.9) .



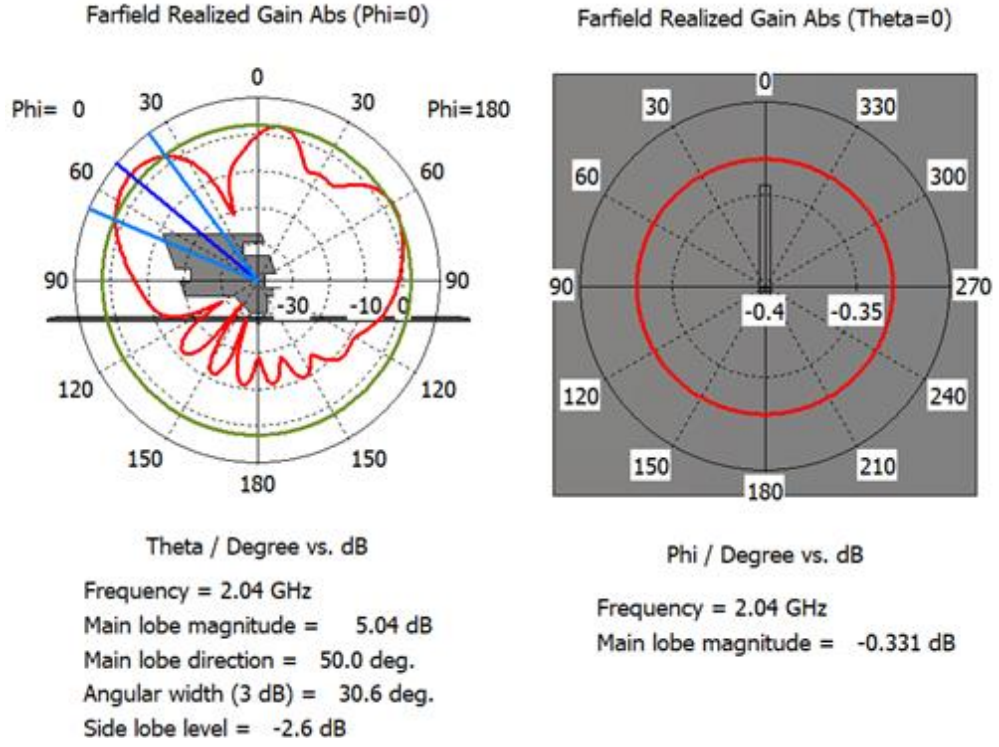
Şekil 3.9 Polar Düzlemde Işıma Örüntüsü ( 1.3712 GHz)

Son bir karşılaştırma değeri olarak antenin 2.04 GHz frekansındaki 3D ışınma örüntüsü incelenmiştir. Bu amaçla yapılan simülasyonda bu frekanstaki ışınma örüntüsü Şekil 3.10’da görülmektedir. İncelendiğinde görüleceği üzere 2.04 GHz frekansında 3D ışınma örüntüsünde anten kazancı 6.48 dB olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.10 Işınma Örüntüsü – 3D ( 2.04 GHz)

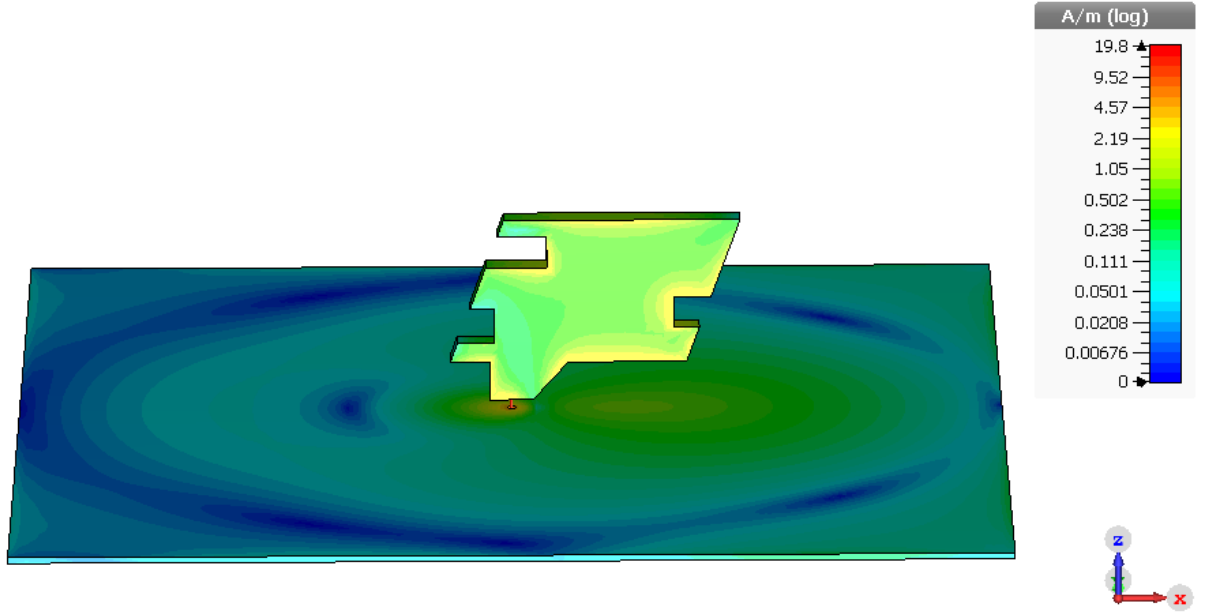
Son karşılaştırma değeri olarak kullandığımız 2.04 GHz değeri için Polar koordinatlarda, antenin  $\Phi=0$  iken elevasyon düzleminde ve  $\Theta=0$  iken azimut düzleminde elde edilen simülasyon benzetim sonuçları Şekil 3.11’de gösterilmektedir. Şekil 3.11 incelendiğinde;  $\Phi=0$  iken elevasyon düzlemindeki anten kazancının maksimum 5.04 dB,  $\Theta=0$  iken azimut düzlemindeki anten kazancının ise -0.331dB olduğu görülmektedir.  $\Theta = 0$  iken ortaya çıkan kazanç zayıflaması ile ilgili yapılan incelemede; 3D ışınma örüntüsünde antenin bu bölgede ışıdığı, ancak antenin istenen kazanç seviyelerinde olmadığı anlaşılmaktadır. Yüksek frekanslarda ışınma örüntüsünde bozulmalar meydana gelmesi ve frekansın artmasına paralel olarak dalga boyunun küçülmesinin bu zayıflamaya sebep olduğu değerlendirilmektedir [1].



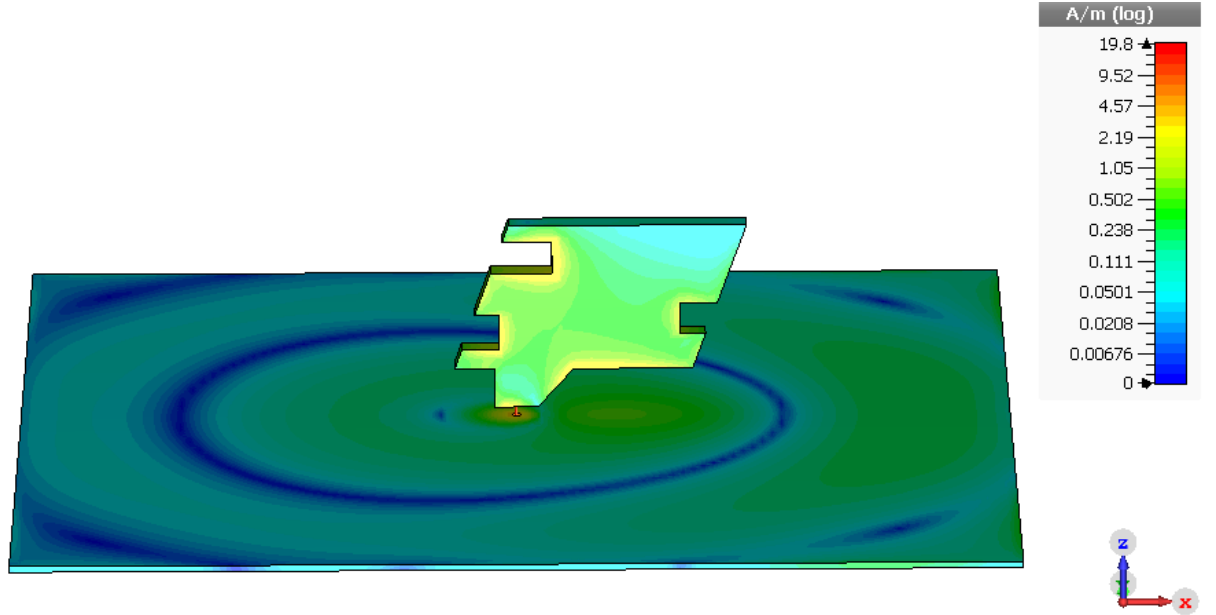
Şekil 3.11 Polar Düzlemde Işıma Örüntüsü ( 2.04 GHz)

#### Yüzey Akım Dağılımı :

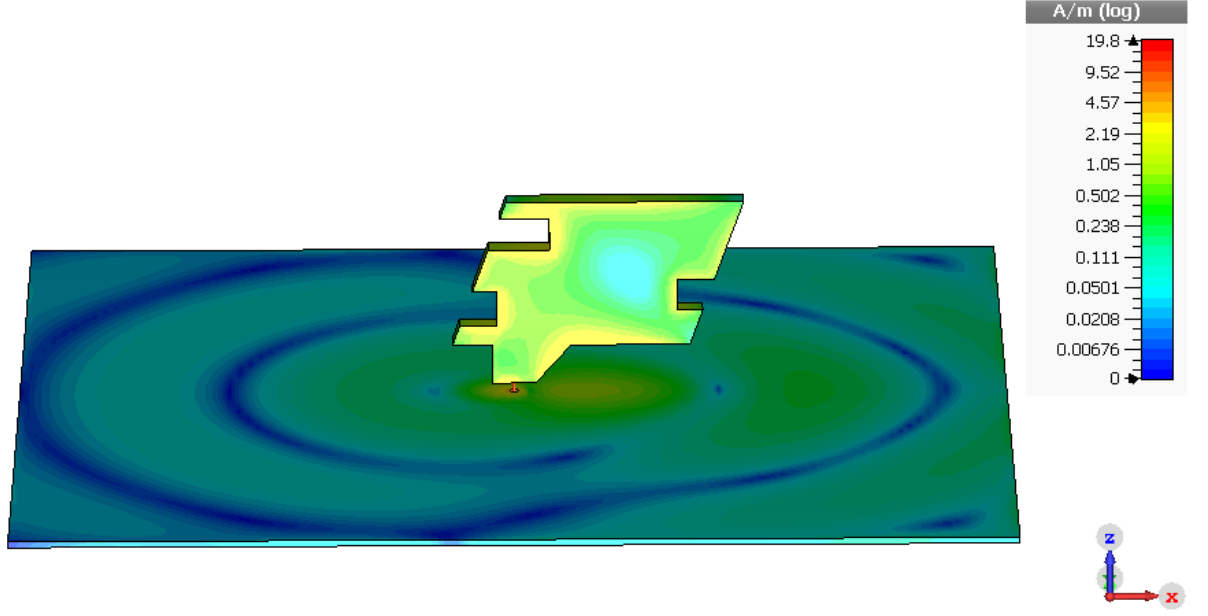
Antenlerde yüzey akım dağılımı da önemli bir parametredir. Bu nedenle, bu tezde tasarlanan antenin yüzey akımı, ışma örüntüsü ile ilgili yapılan simülasyonlarda seçilen 4 farklı frekans için incelenmiş ve elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 3.12-3.15 olarak verilmiştir. Yapılan incelemede antenin boyunu kısaltmak için açılan çentiklerden geçen akımın ortaya çıkan kapasitif etkiden dolayı akım yoğunluğunu artırdığı değerlendirilmektedir. Diğer yandan ; antenin girintili çıkıntılı yapısı sebebiyle elektriksel uzunluğu azaltılıyor. Bu sayede girinti çıkıntı olan bölgelerde akım yoğunluğu artıyor. Anten geniş bantlı bir anten yapısına dönüşüyor. Antenin geniş bantlı olması antenin Q faktörünün düşmesine sebep olmaktadır.



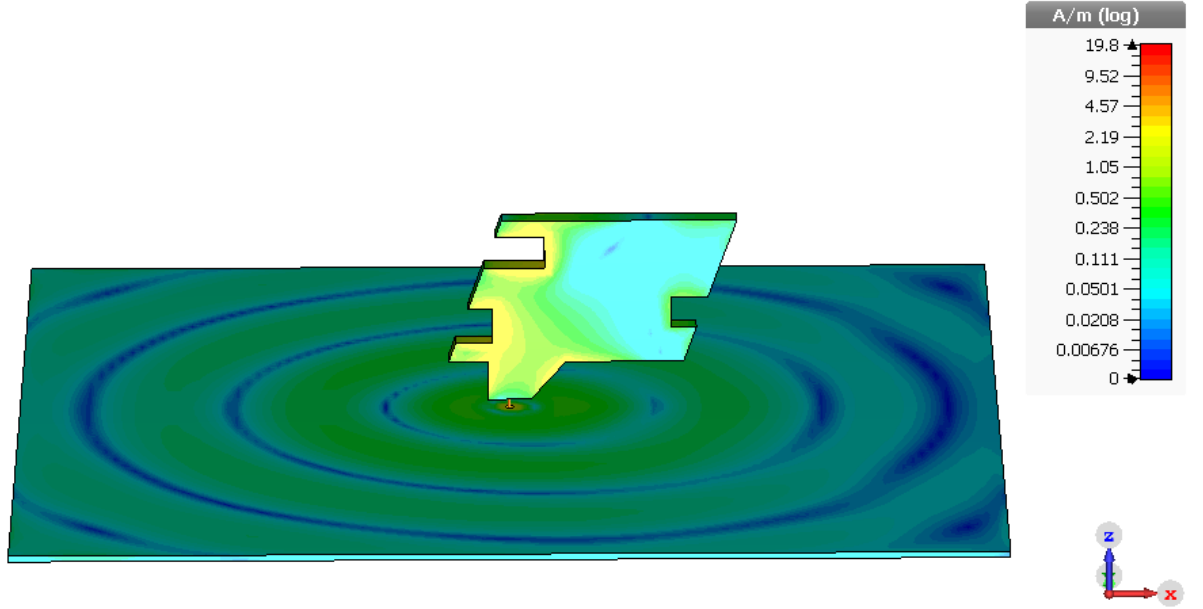
Şekil 3.12 Yüzey Akım Dağılımı ( 0.82 GHz)



Şekil 3.13 Yüzey Akım Dağılımı ( 1.1475 GHz)



Şekil 3.14 Yüzey Akım Dağılımı ( 1.3712 GHz)



Şekil 3.15 Yüzey Akım Dağılımı ( 2.04 GHz)



### 3.2 Çentik ve Diğer Parametrelerin $S_{11}$ Parametresine Etkileri

Bu alt bölümde Şekil 2.1 ile verilen ve burada tekrar çizilen tasarladığımız anten üzerindeki çentiklerin uzunluğunu, genişliğini ve yüksekliğini ve diğer parametreleri değiştirmek suretiyle yansıma katsayısının ne şekilde değiştiği ortaya konmaya çalışılacaktır. Yapılan simülasyonda Şekil 3.16'da gösterilen her uzunluk için değişik ölçüler dikkate alınarak  $S_{11}$  parametresinin değişimi incelenmiştir. Bu simülasyon sonuçlarına geçmeden önce simülasyona konu olan parametrelerin her birinin kısaca tanımını takip eden paragraflarda verilmektedir.

**Notch Height** : 1,2 ve 3 numaralı çentiklerin her biri için aynı anlama gelmektedir. Referans alınan nokta ile çentiğin alt noktası arasındaki z yönündeki mesafedir.

**Notch Width** : 1,2 ve 3 numaralı çentiklerin her biri için aynı anlama gelmektedir. Çentiğin z yönündeki alt noktası ile üst noktası arasındaki mesafedir.

**Notch Length** : 1,2 ve 3 numaralı çentiklerin her biri için aynı anlama gelmektedir. Çentiğin x yönünde başladığı nokta ile bitiş noktası arasındaki mesafedir.

**Element Top Width** : Bıçak antenin en üstündeki x yönündeki başlangıç noktası ile bitiş noktası arasındaki mesafedir.

**Element Base Width** : Bıçak antenin alt bölümünde x yönündeki başlangıç noktası ile bitiş noktası arasındaki mesafedir.

**Element Height**: Bıçak antenin z yönündeki referans nokta ile z yönündeki bitiş noktası arasındaki mesafedir.

**Gap**: Bıçak anten ile yer düzlemi arasındaki z yönündeki mesafedir.

**Tab Base Width**: Tab olarak ifade edilen çıkıntının alt bölümünde x yönünde başladığı nokta ile bitiş noktası arasındaki mesafedir.

**Tab Top Width**: Tab olarak ifade edilen çıkıntının üst bölümünde x yönünde başladığı nokta ile bitiş noktası arasındaki mesafedir.

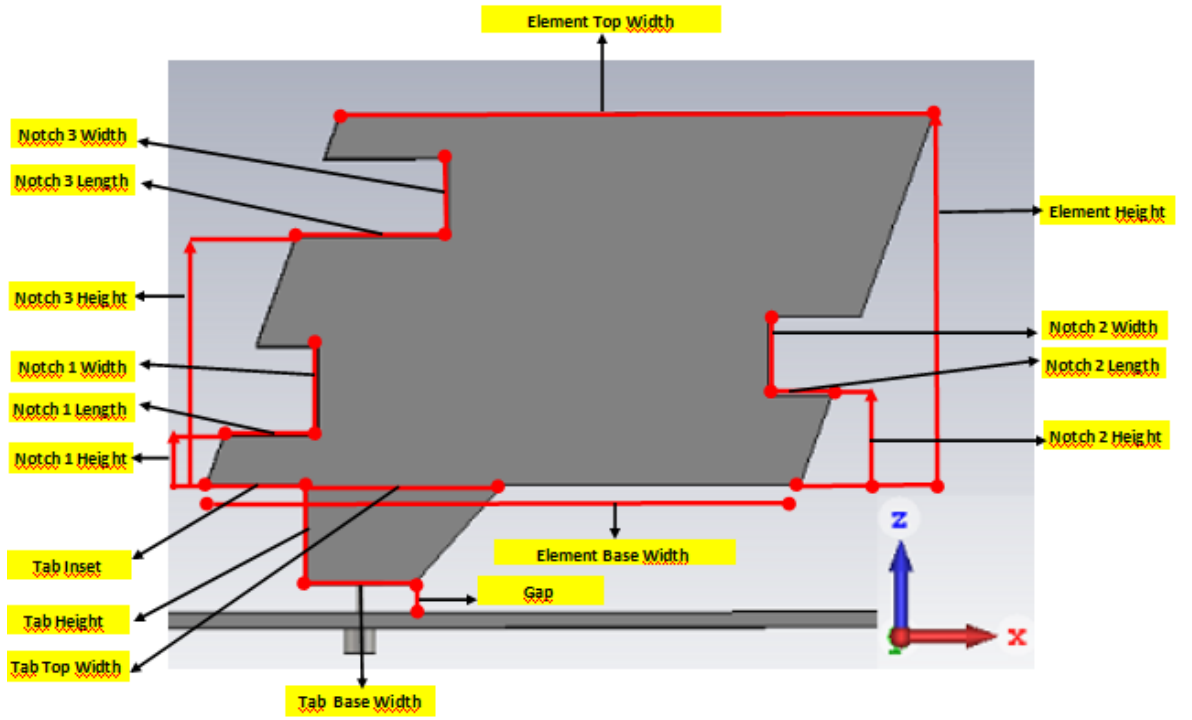
**Tab Height**: Tab olarak ifade edilen çıkıntının z yönünde başladığı nokta ile bitiş noktası arasındaki mesafedir.

**Tab Inset:** Tab olarak ifade edilen çıkıntının referans noktası ile Tab çıkıntısının başladığı nokta arasındaki x yönündeki mesafedir.

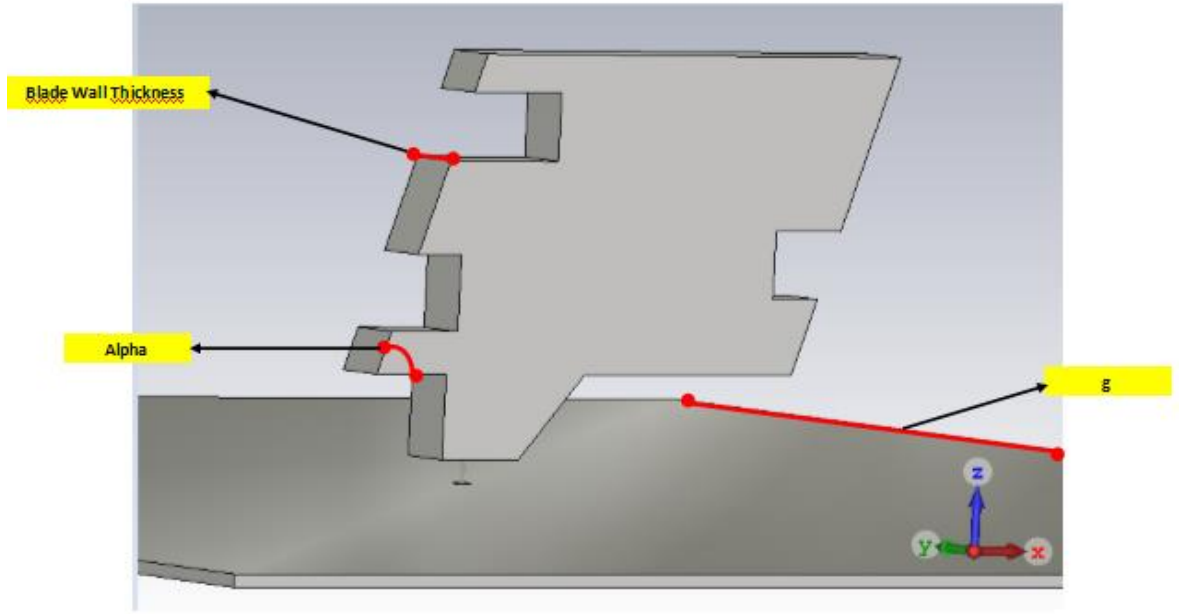
**Blade Wall Thickness:** Bıçak antenin y yönündeki genişliğidir.

**Alpha:** Bıçak antenin z koordinatı ile yaptığı açıdır.

**g:** Yer düzlemi karedir. Yer düzleminin x ve y yönündeki uzunluğudur.



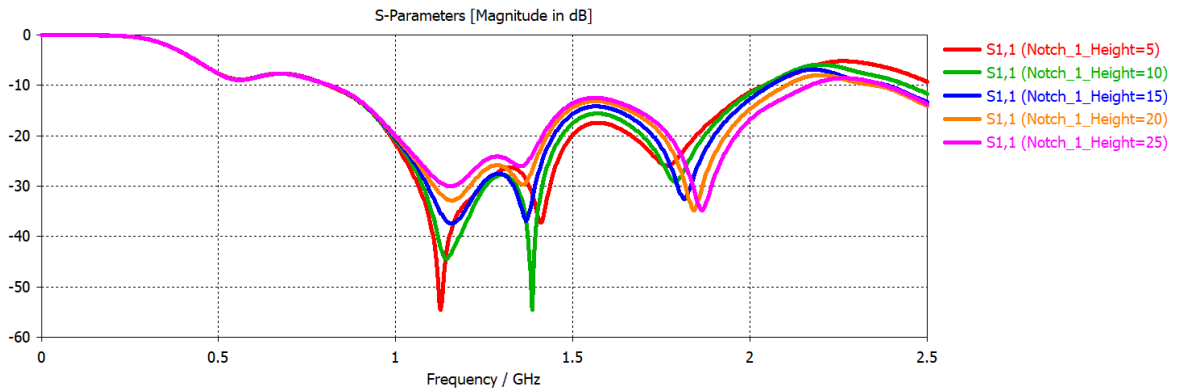
Şekil 3.16.a Anten Tasarım Parametreleri-I



Şekil 3.16.b Anten Tasarım Parametreleri-II

### Notch-1 Height

“Notch-1 Height” uzunluğu 5 mm aralıklarla olmak üzere 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm ve 25 mm ‘lik yükseklikler için  $S_{11}$  parametresinin ne şekilde değiştiğini ortaya koymak amacıyla simülasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan simülasyon çalışması sonuçları Şekil 3.17’de verilmektedir.

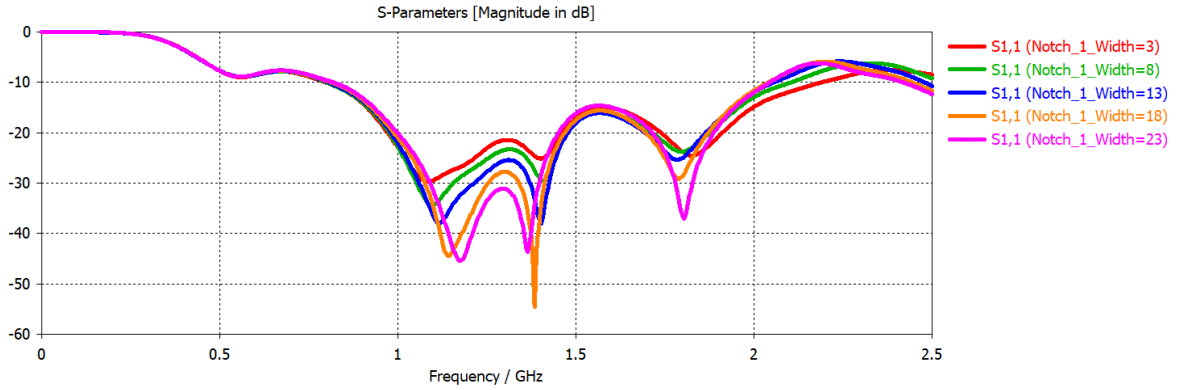


Şekil 3.17 Notch-1 Height &  $S_{11}$  Zayıflaması

Simulasyon sonuçları incelendiğinde; Notch-1 Height parametresinin 5mm'den 25mm'e olan değişiminde,  $S_{11}$ 'in 0 - 2.5 GHz aralığında zayıflamasının azaldığı, bazı frekanslarda zayıflamanın göreceli olarak daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Diğer yandan “Notch-1 Height” parametresinin değeri arttıkça frekans bandının da az miktarda da olsa sağa kaydığı görülmektedir. Tasarım için seçilen frekans bandı olan 0.82 GHz – 2.04 GHz dikkate alındığında, bu frekans aralığında Notch-1 Height parametresinin değerinin 10 mm olarak alınmasının en uygun seçenek olduğu değerlendirilmiştir. 5mm olan değer de seçilebilirdi, fakat anten üretimi için çok düşük bir değer uygulanabilirliği düşük olduğundan tercih edilmemiştir.

### Notch-1 Width

Şekil 3.16'da gösterilen antenin “Notch-1 Width” parametresinin değişimi 5 mm aralıklarla olmak üzere 3 mm, 8 mm, 13 mm, 18 mm ve 23 mm genişliklerde  $S_{11}$  parametresinin ne şekilde değiştiği gözlemlenmiştir. Yapılan simülasyon çalışması sonuçları Şekil 3.18'deki grafikte verilmiştir.

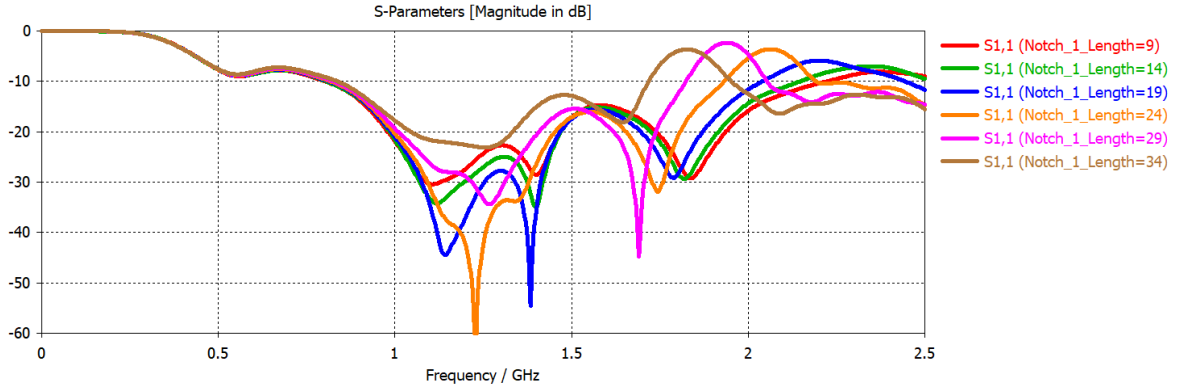


Şekil 3.18 Notch-1 Width &  $S_{11}$  Zayıflaması

Şekil 3.18'deki simülasyon sonuçları dikkatle incelendiğinde; Çentik-1'in (Notch-1 Width-1) genişlik değerini azalttıkça antenin  $S_{11}$  zayıflama derinliğinin azaldığı ve frekans bandının sola kaydığı görülmektedir. Tasarım frekans bandı 0.82 GHz – 2.04 GHz dikkate alındığında en uygun “Notch-1 Width” parametre genişliğinin 18 mm olduğu değerlendirilmektedir.

### Notch-1 Length

Şekil 3.16’da gösterilen “Notch-1 Length” uzunluğu 5 mm aralıklarla artırılarak 9-34 mm arasındaki altı farklı değer için  $S_{11}$  genliğinin ne şekilde değiştiği incelenmiştir. Simulasyon sonuçları Şekil 3.19’da gösterilmektedir.

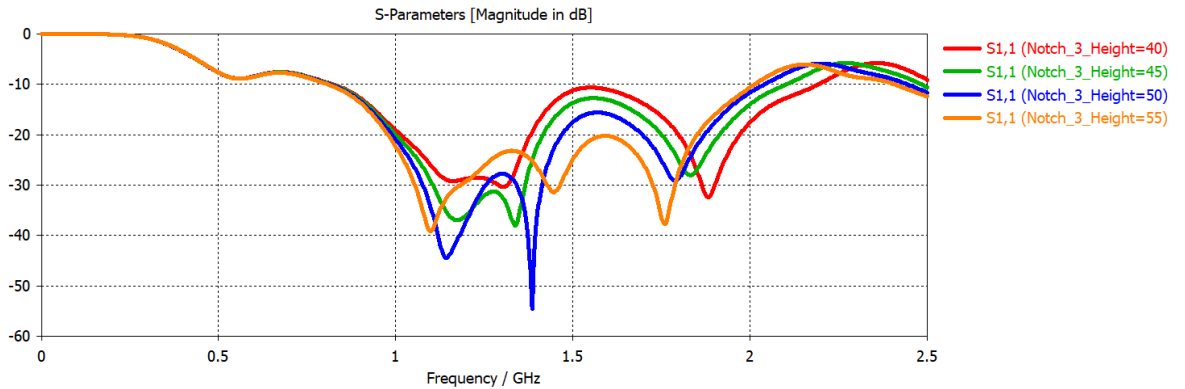


Şekil 3.19 Notch-1 Length &  $S_{11}$  Zayıflaması

“Notch-1 Length” değeri artırıldığında frekans bandının sola kaydığı gözlemlenmiştir. Anten tasarım kriteri olan frekans bandı dikkate alındığında “Notch-1 Length” parametresi büyüklüğünün 19 mm olarak alınması uygun bulunmuştur.

### Notch-3 Height

“Notch-3 Height” değerini 5 mm aralıklarla 40-55 mm aralığında değiştirilerek dört farklı değer için  $S_{11}$  genliğinin değişimi gözlemlenmiştir. Simulasyon sonuçları Şekil 3.20’de verilmiştir.

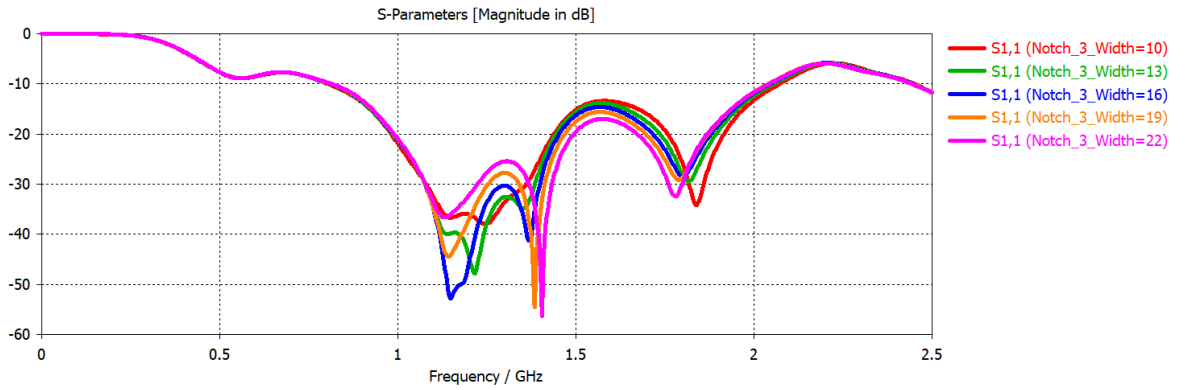


Şekil 3.20 Notch-3 Height &  $S_{11}$  Zayıflaması

“Notch-3 Height” değeri artırıldıkça  $S_{11}$  derinliğinin özellikle 1-1.5 GHz bandında arttığı gözlemlenmiştir. “Notch-3 Height” değeri arttırıldıkça, frekans bandının sola kaydığı görülmektedir. “Notch-3 Height” değerinin 50 mm olarak alınması en uygun seçenek olarak görülmektedir.

### Notch-3 Width

“Notch-3 Width” değeri 3 mm aralıklarla 10-22 mm aralığında 5 değer için değiştirilmiş ve  $S_{11}$  genliğinin değişimi incelenmiştir. Simulasyon sonuçları Şekil 3.21’de verilmektedir.

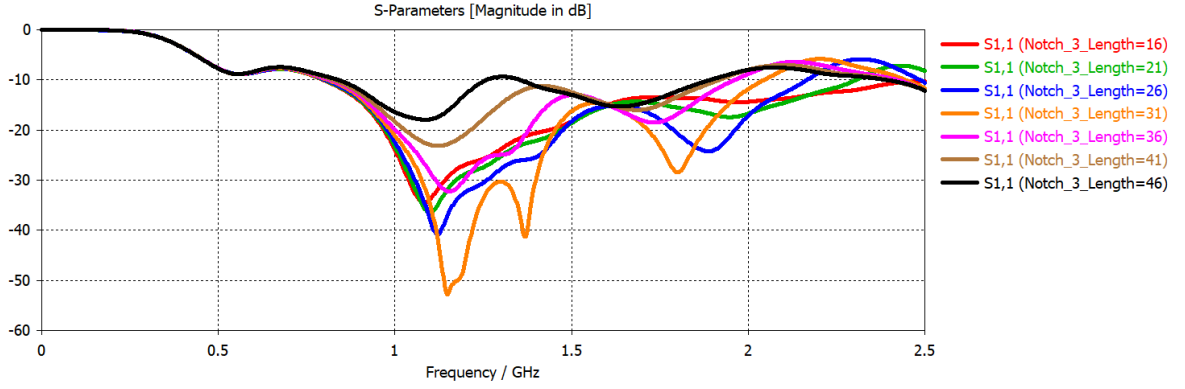


Şekil 3.21 Notch-3 Width &  $S_{11}$  Zayıflaması

“Notch-3 Width” değeri azaltıldıkça  $S_{11}$  genliğinin zayıflamasında da artış oluşmaktadır. Simulasyon sonuçları değerlendirildiğinde “Notch-3 Width” değerinin seçiminde tasarım bandı içinde tüm genişlik değerlerinin  $S_{11}$  genliğinde çok yakın zayıflama yaratmakla birlikte 16 mm değerinin seçimi ön plana çıkmaktadır.

### Notch-3 Length

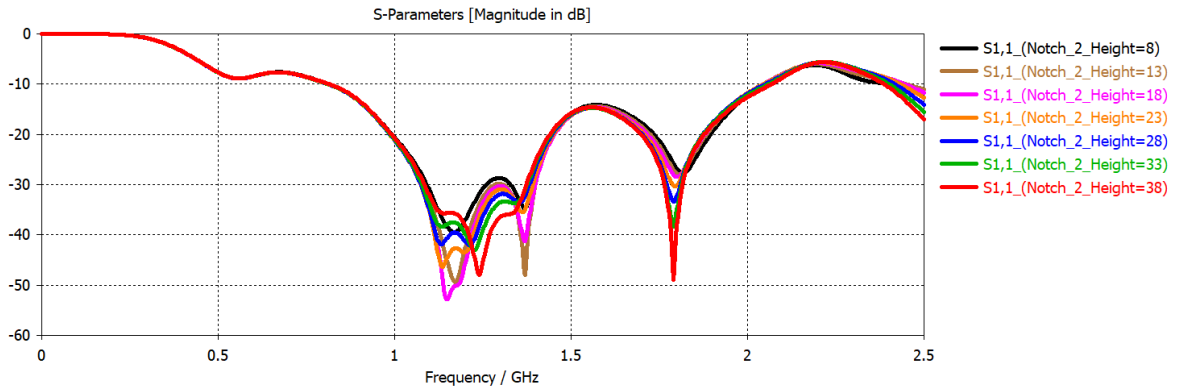
“Notch-3 Length” değeri 5 mm aralıklarla 16-46 mm aralığında altı farklı değer alınarak  $S_{11}$  değerinin değişimi izlenmiştir. Simulasyon neticesi Şekil 3.22’de gösterilmektedir. “Notch-3 Length” değeri arttırıldıkça frekans bandının sola kaydığı ve 31mm’e kadar  $S_{11}$  genliğinin zayıflaması da artmıştır. Seçilen tasarım kriteri dikkate alındığında “Notch-3 Length” değerinin 31 mm olarak seçilmesi en uygun seçenektir.



Şekil 3.22 Notch-3 Length &  $S_{11}$  Zayıflaması

### Notch-2 Height

“Notch-2 Height” değeri 5 mm aralıklarla 8-38 mm olmak üzere yedi farklı değer için  $S_{11}$  değerinin değişimi izlenmiştir. Simulasyon neticesi Şekil 3.23’de gösterilmektedir. “Notch-2 Height” değeri arttıkça, frekans bandının da sola kaydığı gözlemlenmiştir. Seçtiğimiz anten tasarım kriteri için “Notch-2 Height” değeri 18 mm olarak alınmıştır.

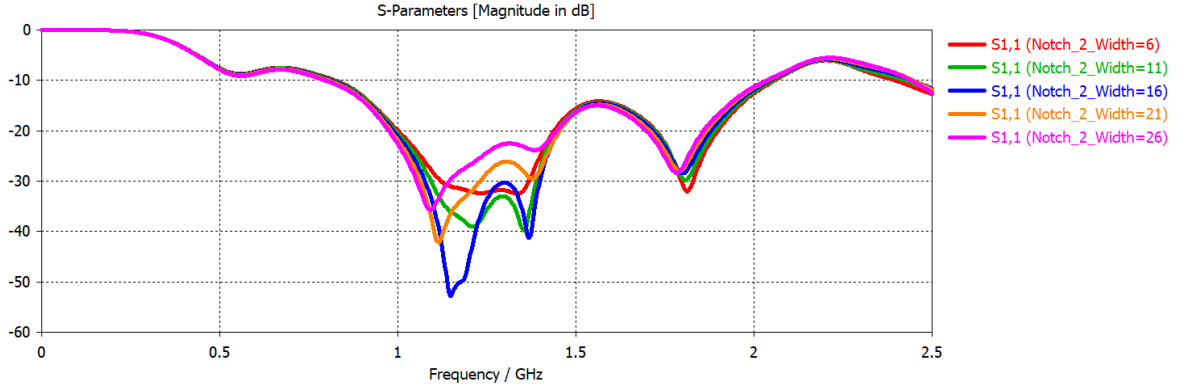


Şekil 3.23 Notch-2 Height &  $S_{11}$  Zayıflaması

### Notch-2 Width

“Notch-2 Width” değeri 5 mm aralıklarla 6-26 mm aralığında beş farklı değere karşılık  $S_{11}$  değerinin değişimi izlenmiştir. Simulasyon neticesi Şekil 3.24’de gösterilmektedir. “Notch-2 Width” değeri arttıkça 6-16 mm aralığında  $S_{11}$  derinliğinin de

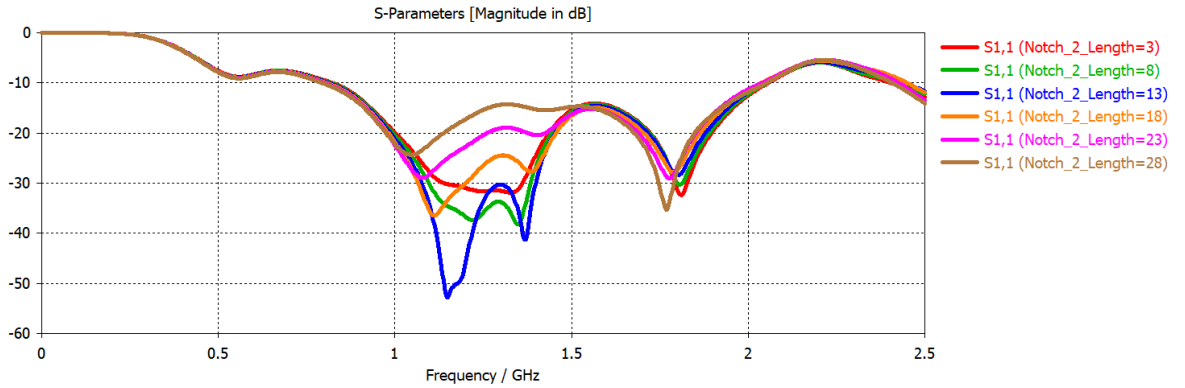
arttığı anlaşılmaktadır. Anten tasarımı için “Notch-2 Width” değeri olarak 16 mm alınmıştır.



Şekil 3.24 Notch-2 Width &  $S_{11}$  Zayıflaması

### Notch-2 Length

“Notch-2 Length ” değeri 5 mm aralıklarla 3-28 mm aralığında altı farklı değere karşılık  $S_{11}$  değerinin değişimi izlenmiştir. Simulasyon neticesi Şekil 3.25’de gösterilmektedir. “Notch-2 Length” değeri arttıkça 3-13 mm aralığında  $S_{11}$  derinliğinin de arttığı anlaşılmaktadır. Anten tasarımı için “Notch-2 Length ” değeri olarak 13 mm alınmıştır.



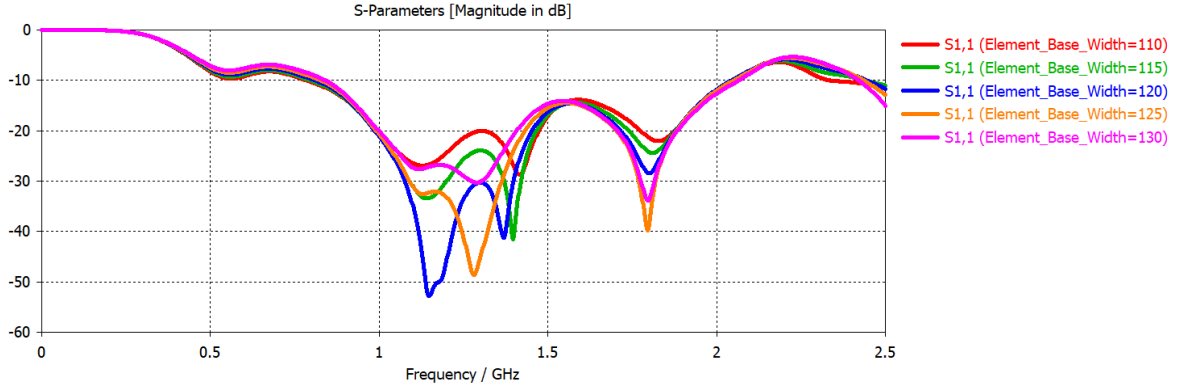
Şekil 3.25 Notch-2 Length &  $S_{11}$  Zayıflaması

### Element Base Width

“Element Base Width” değerinin değişimi ile  $S_{11}$  genlik değerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu maksatla “Element Base Width” değeri 110 mm -130 mm arasında beş



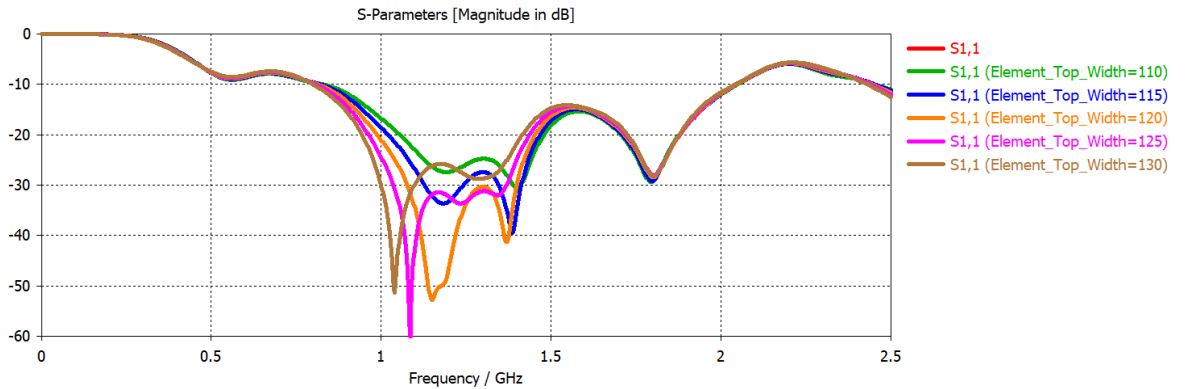
değişik değer için simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sonuçları Şekil 3.26’da gösterilmektedir. “Element Base Width” değerini “110 mm’den 125 mm” aralığında artırdığında  $S_{11}$  derinliğinin arttığı görülmektedir. Anten tasarımı için seçilen frekans bandı için “Element Base Width” için en uygun değer 120 mm olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 3.26 Element Base Width &  $S_{11}$  Zayıflaması

### Element Top Width

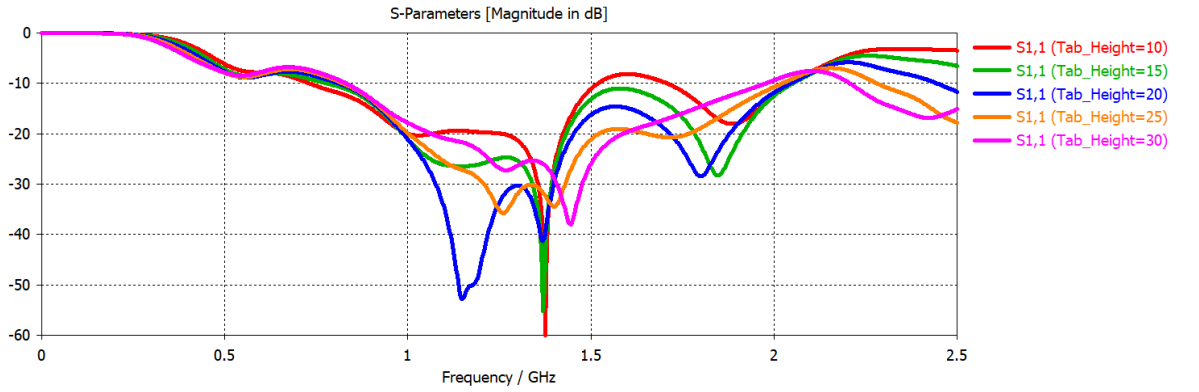
“Element Top Width” değeri 110 mm - 130 mm aralığında beş farklı değer alınarak  $S_{11}$  zayıflamasındaki değişim incelenmiştir. Simülasyon sonuçları Şekil 3.27’de gösterilmektedir. “Element Top Width” değeri artırıldıkça  $S_{11}$  derinliğinin arttığı ve frekans bandının sola doğru kaydığı görülmektedir. “Element Top Width” değeri olarak en uygun değer 120 mm olarak alınmıştır.



Şekil 3.27 Element Top Width &  $S_{11}$  Zayıflaması

## Tab Height

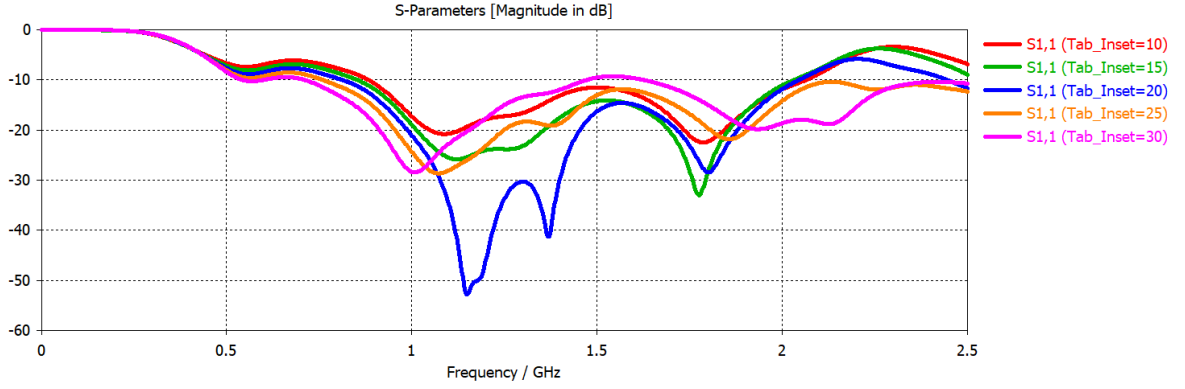
Bu alt bölümde “Tab Height” değeri 5 mm aralıklarla 10-30 mm aralığında değiştirilmiş ve  $S_{11}$  parametresinin zayıflaması üzerinde yaptığı etki incelenmiştir. Elde edilen simülasyon neticeleri Şekil 3.28’de verilmektedir. Simülasyon neticelerinden görüleceği üzere, “Tab Height” değerinin 10 mm’den 30 mm’ye doğru arttırdıkça  $S_{11}$  derinliğinin arttığı ve frekans bandının sola doğru kaydığı görülmektedir. “Tab Height” değerinin 20 mm seçilmesi durumunda frekans bandı boyunca  $S_{11}$  için en iyi zayıflamanın elde edileceği görülmektedir.



Şekil 3.28 Tab Height &  $S_{11}$  Zayıflaması

## Tab Inset

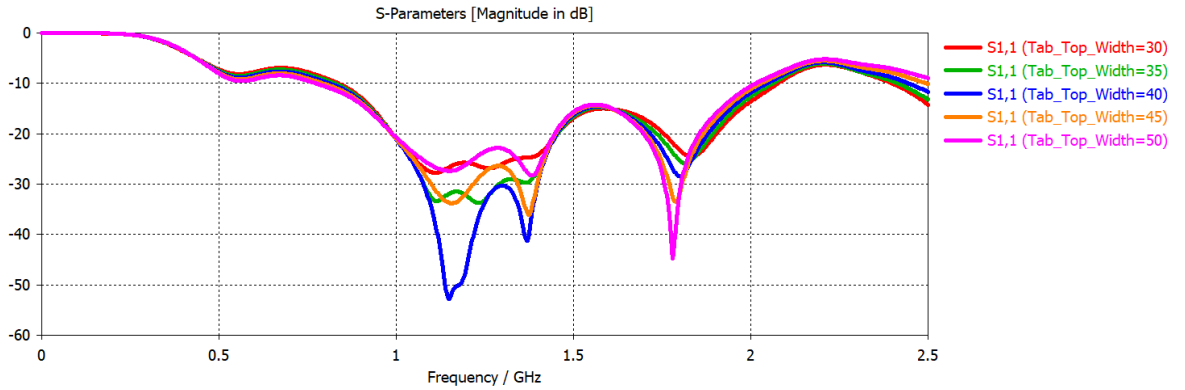
Tab Inset değerinin 10 mm - 30 mm arasındaki beş farklı değer için  $S_{11}$  zayıflamasının ne şekilde etkilendiğine ilişkin simülasyon Şekil 3.29’da verilmektedir. Simülasyon grafikleri incelendiğinde, “Tab Inset” değerinin 10 mm’den 20 mm’ye arttırıldığı bölgede  $S_{11}$  derinliğinin arttığı ve değer arttırıldıkça frekans bandının sola kaydığı görülmektedir. Anten tasarımında hedeflenen frekans bandı boyunca  $S_{11}$  için en iyi zayıflamayı Tab Inset değeri 20 mm olarak alındığı zaman gerçekleşmektedir.



Şekil 3.29 Tab Inset &  $S_{11}$  Zayıflaması

### Tab Top Width

“Tab Top Width” değeri 5 mm aralıklarla 30 mm - 50 mm arasında değiştirilmiştir. Yapılan bu değişikliğin  $S_{11}$  değerini ne şekilde etkilediği Şekil 3.30 ile verilmektedir. Simulasyon grafiğinde görüldüğü gibi “Tab Top Width” değerini 30 mm’den 40 mm’ye arttırdıkça  $S_{11}$  derinliğinin arttığı görülmektedir. Tasarım kistasına en uygun “Tab Top Width” değerinin 40 mm olduğu görülmektedir.

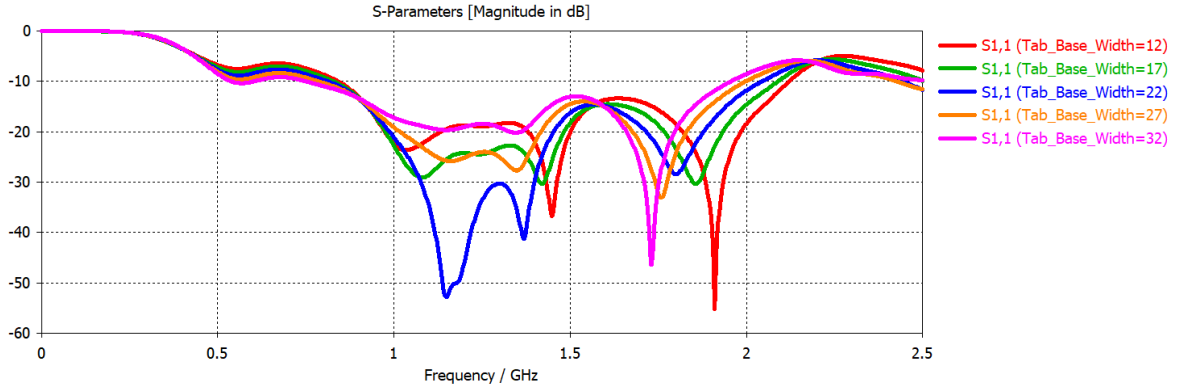


Şekil 3.30 Tab Top Width &  $S_{11}$  Zayıflaması

### Tab Base Width

“Tab Base Width” parametresi 12 mm - 32 mm aralığında 5 mm aralıklarla değişimi ile  $S_{11}$  nin değişimi arasında ilişki Şekil 3.31 ile verilmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi “Tab Base Width” değeri artırıldıkça  $S_{11}$  derinliğinin de arttığı ve frekans bandının

sola doğru kaydığı görölmektedir. Hedeflenen tasarım için en uygun “Tab Base Width” değerinin 22 mm olduğu görölmektedir.

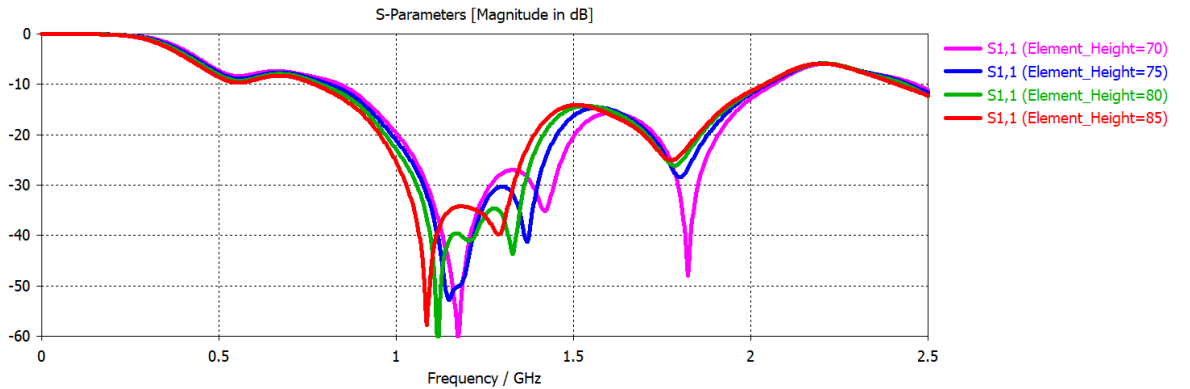


Şekil 3.31 Tab Base Width &  $S_{11}$  Zayıflaması

### Element Height

“Element Height” değeri olarak 70 mm - 85 mm arasında 4 değer için  $S_{11}$  değerinin ne şekilde değiştii incelenmiştir. Simulasyon sonuçlarından (Şekil. 3.32) görüldüğü gibi, “Element Height” değeri arttırdıkça frekans bandının sola kaydığı görölmektedir. Bilindiği gibi, frekans değeri azaldıkça dalga boyu artmakta, bu nedenle 0.82 GHz - 2.04 GHz frekans bandında iyi bir ışıma için anten boyunun artırılması gerekmektedir.

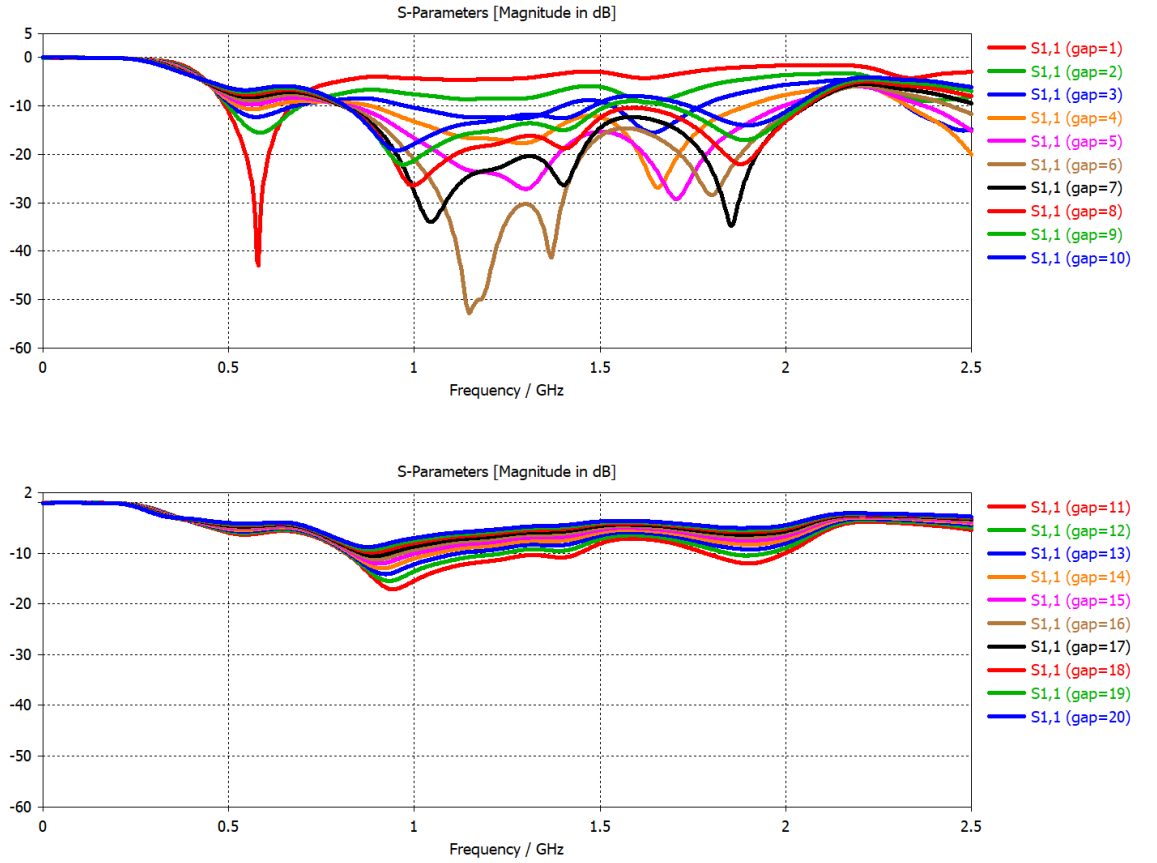
Tasarladığımız anten için en uygun “Element Height” değeri olarak 75 mm alınmıştır.



Şekil 3.32 Element Height &  $S_{11}$  Zayıflaması

## Gap

Gap parametresinin değişimi Şekil 3.33’de gösterilmektedir. Gap parametresinin  $S_{11}$  üzerindeki etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Gap parametresi 1 mm-20 mm arasında parametrik değişimi incelenmiştir. Gap parametresinin değerini 1 mm’den 10 mm’ye arttırdıkça bant sağa kaymıştır. 11 mm’den 20 mm’ye antenin  $S_{11}$ ’in derinliği azalmıştır. Kullanım amacına göre, seçilen frekans bandı için gap parametresinin değeri 6 mm olarak alınmıştır.

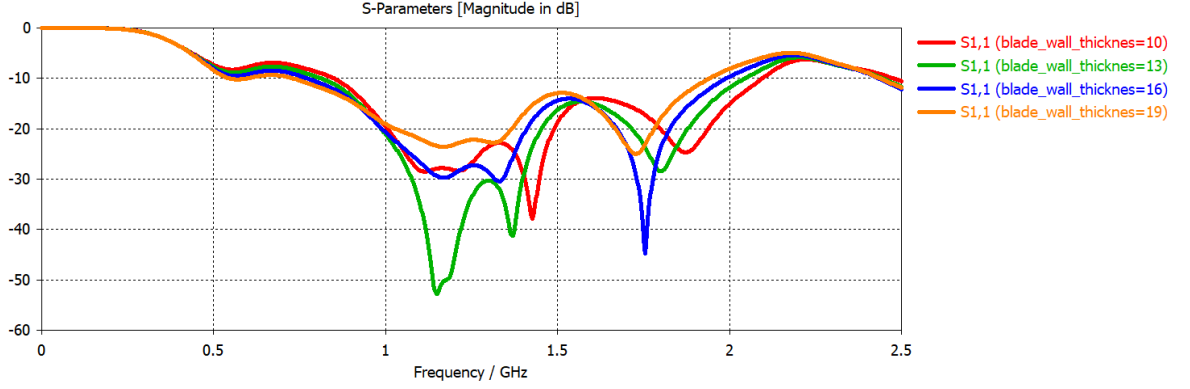


Şekil 3.33 Gap &  $S_{11}$  Zayıflaması

## Blade Wall Thickness

Blade Wall Thickness değeri 3 mm aralıklarla 10 mm - 19 mm aralığında değiştirilmiş ve  $S_{11}$  değerinin değişimi gözlenmiştir. Simulasyon sonuçları (Şekil. 3.34 ), Blade Wall Thickness değeri arttırıldıkça, frekans bandının sola kaydığını ve  $S_{11}$  derinliğinin arttığını göstermektedir. Tasarım için seçilen frekans bandında  $S_{11}$  için en iyi

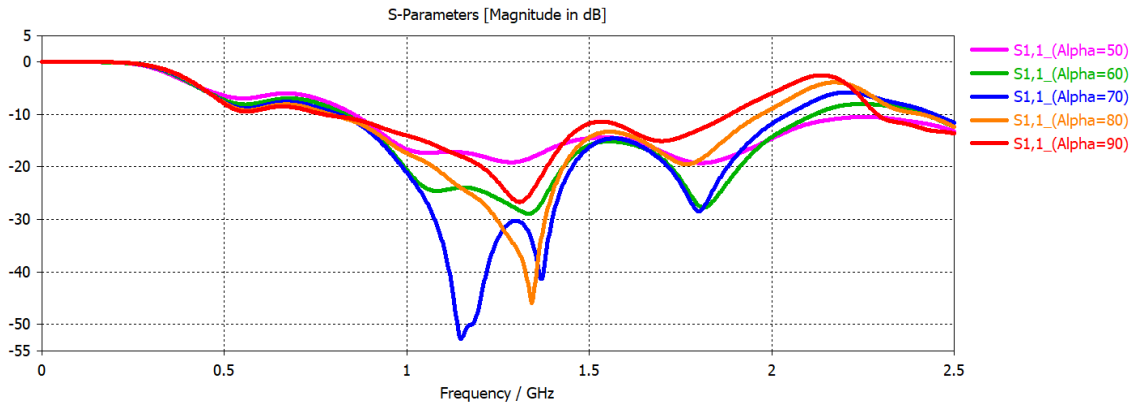
zayıflama değerinin “Blade Wall Thickness” 13 mm alındığında elde edilebileceği görülmektedir.



Şekil 3.34 Blade Wall Thickness & S<sub>11</sub> Zayıflaması

## Alpha

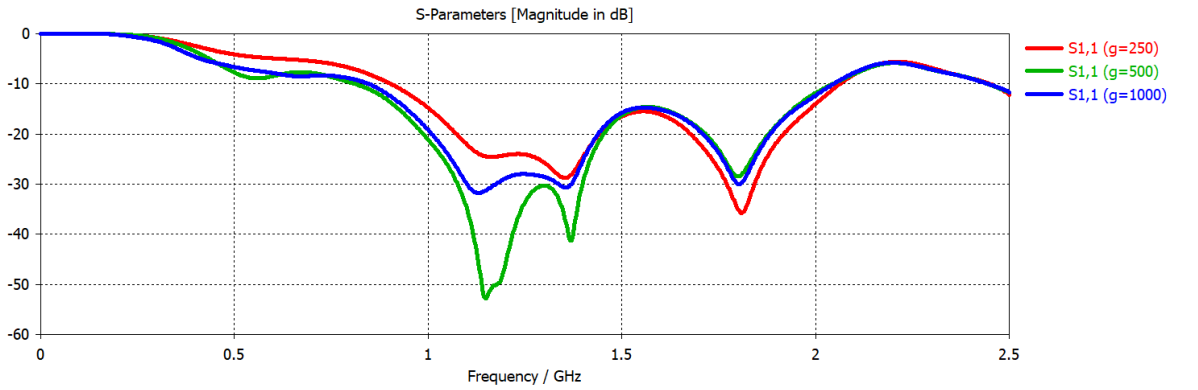
Alpha değeri değiştikçe S<sub>11</sub> değerinin ne şekilde değiştiği Şekil 3.35’de gösterilmektedir. Alpha değeri olarak 50°, 60°, 70°, 80° ve 90° olmak üzere beş değişik açı değeri için inceleme yapılmıştır. Simulasyon neticesinde, Alpha değerini 50°’den 80°’ye arttırdıkça frekans bandının sağa kaydığı ve S<sub>11</sub> derinliğinin arttığı görülmektedir. Seçilen frekans bandı için Alpha parametresinin değeri 70° olarak alınmıştır.



Şekil 3.35 Alpha Değeri & S<sub>11</sub> Zayıflaması

## g Değeri

g değeri 250 mm - 1000 mm arasında 250 mm, 500 mm ve 1000 mm olmak üzere 3 farklı değer için inceleme yapılmış ve bu değerlere karşılık  $S_{11}$  zayıflaması incelenmiştir. Simulasyon sonuçları ( Şekil 3.36 ) ; g parametresinin değerini arttırdıkça  $S_{11}$  derinliğinin azaldığını göstermektedir. Anten üretimi dikkate alındığında antenin yer düzleminin boyutunu ifade eden g değerinin 500 mm alınmasının en uygun seçenek olduğu değerlendirilmiştir.



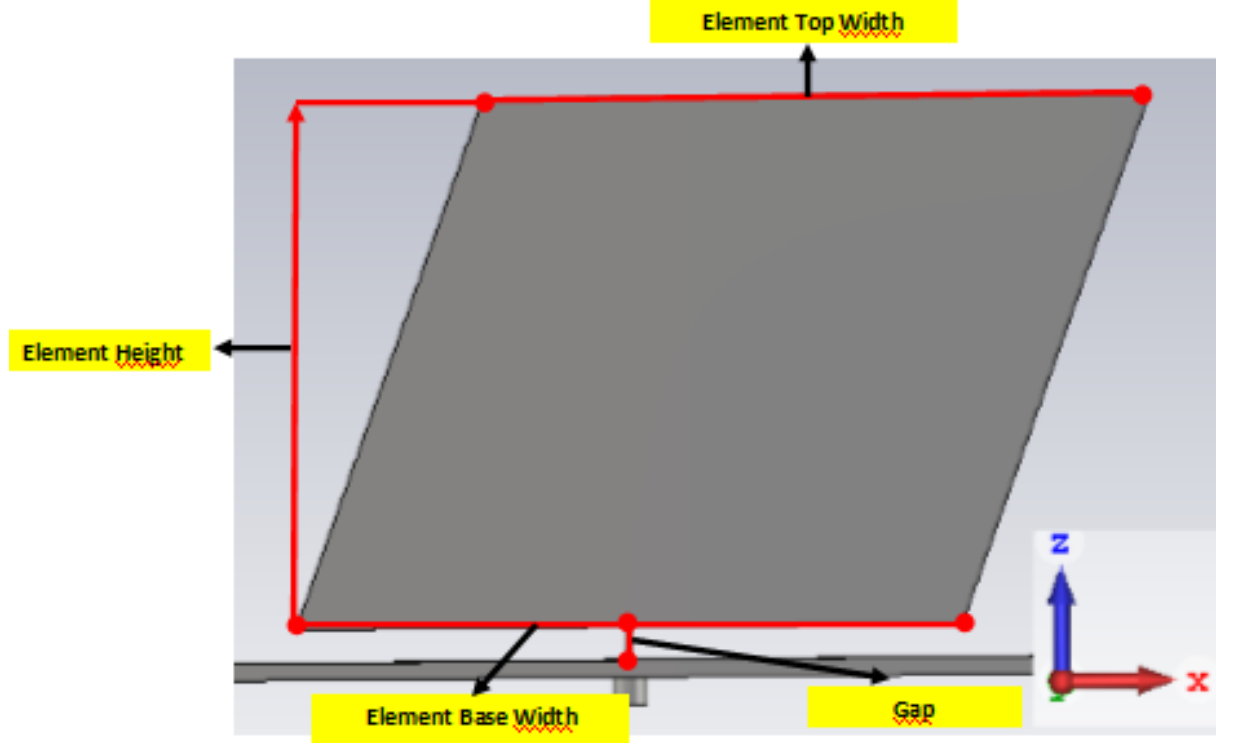
Şekil 3.36 g Yer Düzlemi &  $S_{11}$  Zayıflaması

### 3.3 Düz Bıçak Anten Tasarımı Simulasyon ve Analiz Çalışmaları

Bıçak Anten tasarımında kullanılan çentiklerin etkilerini ortaya koymak amacıyla çentiği olmayan, fakat diğer bütün özellikleri çentikli bıçak anten ile aynı olan bir düz bıçak anten tasarımı yapılmıştır.

Bu düz bıçak antenin özelliklerini tekrarlamak gerekir ise; anten, metalik yer düzlemi ve metalik bir monopul yapıdan oluşmaktadır. Metalik yer düzlemi ile metalik monopul yapı arasında boşluk bulunmaktadır. Bu boşluk antenin empedans uyumunun sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Işıma yapan monopul anten ile metalik yer düzlem arasında  $6mm$  ( *gap* ) kadar bir boşluk vardır. Antenin yüksekliği, ( *Element Height* )  $95 mm$ 'dir. Buradaki *Element Height* değeri yer düzleminin sonraki boşluktan itibaren dir. Çünkü bu anten üzerinde *Tab* ile belirtilen bir bölüm yoktur. Metalik monopul yapının genişliği ( *Element Top Width* yada *Element Base Width* )  $120 mm$ 'dir. Metalik yer düzleminin kalınlığı olan g

*thickness* parametresi 3 mm olarak alınmıştır. Metalik yer düzleminin boyutları  $g \times g \times 500 \times 500 \text{mm}^2$  'dir. Anten geometrisi Şekil 3.37'de verilmektedir. Diğer anten parametreleri Tablo 3.1'dedir.



Şekil 3.37 Düz Bıçak Anten Geometrisi

Tablo 3.1 Düz Bıçak Anten Parametreleri ve Değerleri

Parametre	Değer (mm - °)
Element Height	95
Element Top Width	120
Element Base Width	120
Alpha	70°
Gap	6
Blade Wall Thickness	13

Antenin empedans uyumluluğunun sağlandığı bant genişliğinin performansı Şekil 3.38'de gösterilmektedir. Şekil 3.38'de verilen simülasyon sonuçları dikkatle

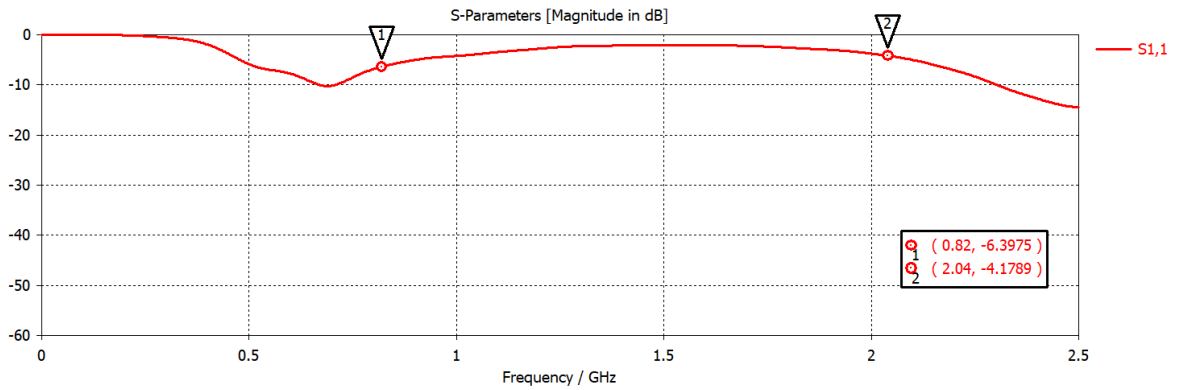


incelendiğinde; Düz Bıçak Antenin tasarım yapılan frekans bandında empedans uyumunun yetersiz kaldığı, Çentikli bıçak anten ile kıyaslandığında Düz Bıçak Antenin empedans uyumu sağlayamadığı anlaşılmaktadır.

Şekil 3.38'deki 1 numaralı frekansta,  $S_{11}$  değeri -6.39 dB'dir. İyi bir tasarım için  $S_{11}$ 'in -10 dB ve -10 dB'nin altında olması gerekir. 1 numaralı frekansta antenin iyi bir empedans uyumunun sağlanamadığı görülmektedir. Çentikli antenin aynı frekanstaki  $S_{11}$  değeri -10 dB'dir.

Şekil 3.38'deki 2 numaralı frekansta,  $S_{11}$  değeri -4.17 dB'dir. Burada da iyi bir empedans uyumunun sağlanamadığı gözlenmiştir. Çentikli antenin bu frekanstaki  $S_{11}$  değeri -10 dB'dir.

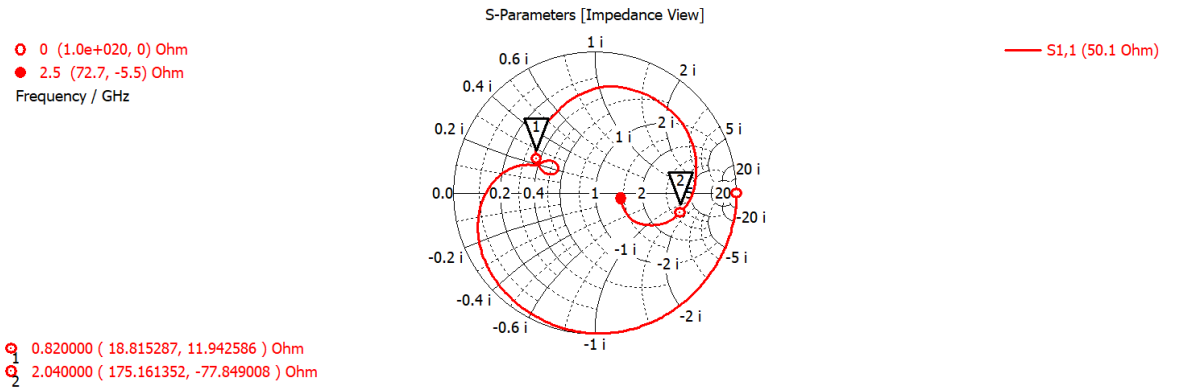
Bu değerlendirmeler göz önüne alındığında, Çentikli antenin 0.82 GHz – 2.04 GHz aralığındaki frekans bandında  $S_{11}$  değerinin -10 dB'nin altında olduğu görülmüştür. Bu da çentikli antenin bu frekans aralığında düz bıçak antene göre daha iyi bir empedans uyumunun sağlandığını göstermektedir.



Şekil 3.38 Empedans Uyumu  $S_{11}$  Bant Genişliği (0.82 GHz-2.04 GHz )

Empedans uyumunun gösterildiği diğer bir parametre de Smith diyagramıdır. Smith diyagramı Şekil 3.39'de gösterilmektedir. Smith diyagramında da Düz Bıçak Antenin empedans uyumunun sağlanmadığı ortaya çıkmıştır.

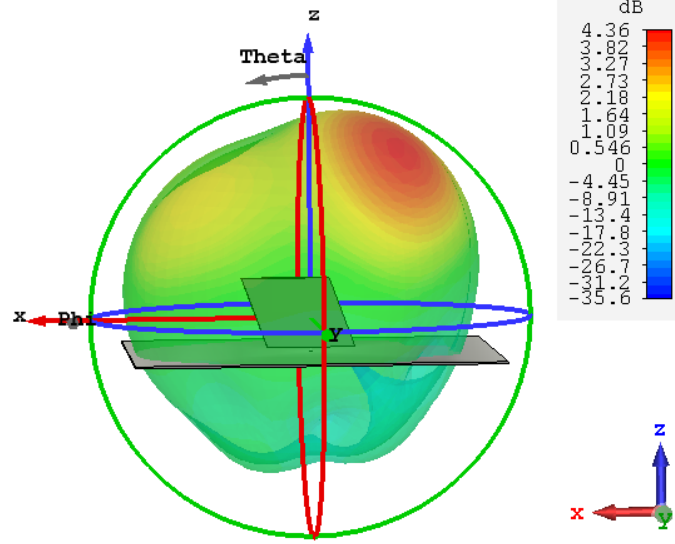
Şekil 3.39'daki 1 numaralı frekansta, empedansın  $18.8 \Omega$ , 2 numaralı frekansta  $175.1 \Omega$  olduğu görülmektedir. İyi bir uyumun sağlanabilmesi için empedans değerinin  $50 \Omega$  olması beklenir. Fakat burada empedans değerinin  $50 \Omega$  değerine yaklaşmadığı görülmektedir. Çentikli antende 1 numaralı frekansta empedans değeri  $58.2 \Omega$ , 2 numaralı frekansta ise  $37.99 \Omega$  olduğu gözlemlenmiştir. Burada empedans değerinin çentikli antende  $50 \Omega$  değerine daha yakın değerler aldığı ve empedans uyumun daha iyi sağlandığı görülmektedir.



Şekil 3.39 Smith Diyagramı Gösterimi

CST Studio yazılımı ile yapılan simülasyonda ; tasarlanan düz bıçak antenin frekans bandının en alt frekansı olan  $0.82 \text{ GHz}$  frekansında elde edilen 3D ışınma örüntüsü Şekil 3.40'da gösterilmektedir. Bu frekansta 3D ışınma örüntüsündeki anten kazancının  $4.36 \text{ dB}$  olduğu görülmektedir.

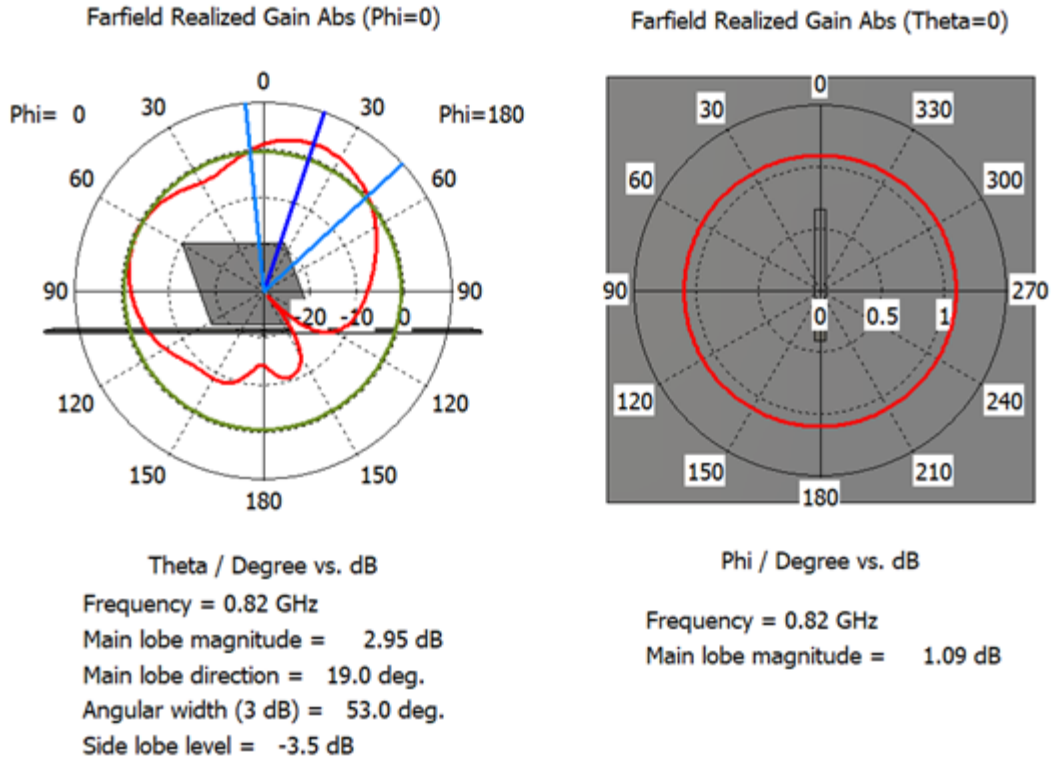
$0.82 \text{ GHz}$  'de çentikli antenin kazancı  $6.31 \text{ dB}$ 'dir. Kazanç değerleri bu frekansta kıyaslandığında, çentikli antenin kazancı yaklaşık logaritmik ölçekte  $2 \text{ dB}$  kadar daha fazladır. Yani lineer ölçekte ise  $1.58$  kat daha fazla kazanca sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.40 Düz Bıçak Anten 3D Işıma Örüntüsü ( 0.82 GHz )

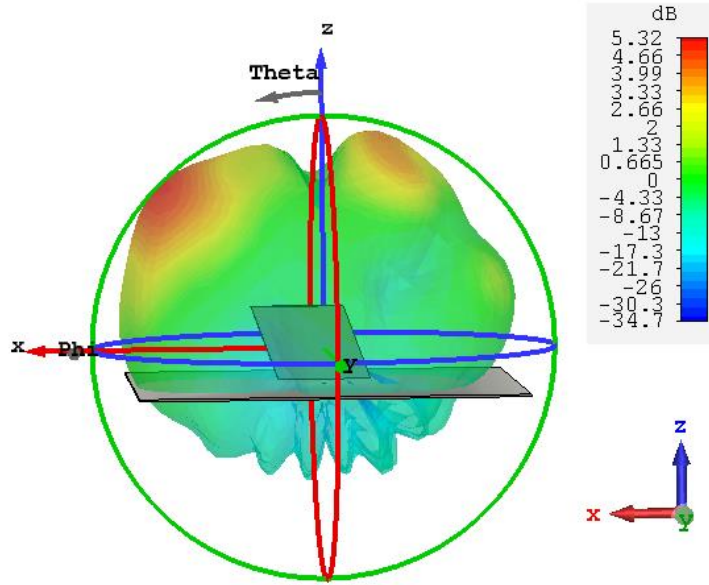
Aynı frekansta, polar düzlemdeki, antenin ışınma örüntüsünde  $\Phi=0$  iken elevasyon düzlemindeki değişimi ve  $\Theta=0$  iken azimuth düzlemindeki değişimi Şekil 3.41’de gösterilmektedir.  $\Phi=0$  iken elevasyon düzlemindeki antenin kazancı maksimum 2.95 dB olarak görülmüştür.  $\Theta=0$  iken azimuth düzlemindeki antenin kazancının 1.09 dB olduğu görülmektedir.

Polar düzlemde çentikli bıçak anten için,  $\Phi=0$  iken elevasyon düzlemindeki kazanç değeri 6.31 dB,  $\Theta=0$  iken azimuth düzlemindeki kazanç değeri 5.86 dB’dir. Çentikli bıçak anten ile düz bıçak anten kıyaslandığında elevasyon düzleminde 3.36 dB, azimuth düzleminde ise 4.77 dB daha fazla kazanca sahip olduğu görülmüştür.



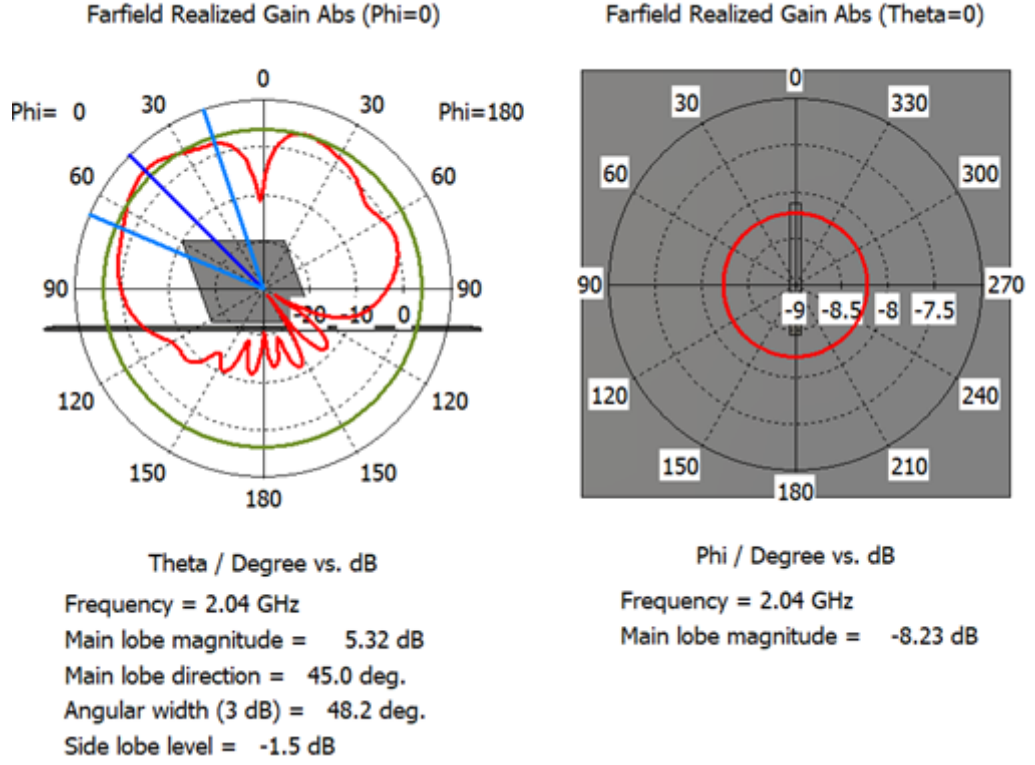
Şekil 3.41 Polar Düzlemde Işıma Örüntüsü ( 0.82 GHz )

Tasarlanan düz bıçak antenin frekans bandının en üst frekansı olan 2.04 GHz frekansında elde edilen 3D ışma örüntüsü Şekil 3.42’de gösterilmektedir. Bu frekansta elde edilen 3D ışma örüntüsündeki anten kazancının 5.32 dB olduğu görülmektedir. Çentikli Bıçak Antenin aynı frekanstaki elde edilen kazancının 6.48 dB olduğu dikkate alındığında, bu frekans için de Çentikli bıçak antenin kazanç performansının düz bıçak antenin kazanç performansından daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 3.42 Düz Bıçak Anten Işıma Örüntüsü ( 2.04 GHz )

Polar düzlemdeki, antenin ışıma örüntüsünde  $\Phi=0$  iken elevasyon düzlemindeki değişimi ve  $\Theta=0$  iken azimuth düzlemindeki değişimi Şekil 3.43'de gösterilmektedir.  $\Phi=0$  iken elevasyon düzlemindeki antenin kazancının maksimum 5.32 dB olarak görülmüştür.  $\Theta=0$  iken azimuth düzlemindeki antenin kazancı -8.23 dB olarak bulunmuştur. Bu durumda aslında Şekil 3.42'deki 2.04 GHz'deki 3D ışıma örüntüsüne bakıldığında antenin  $\Theta=0$  iken o bölgesinde ışımının istenilen seviyede olmadığı görülmektedir.

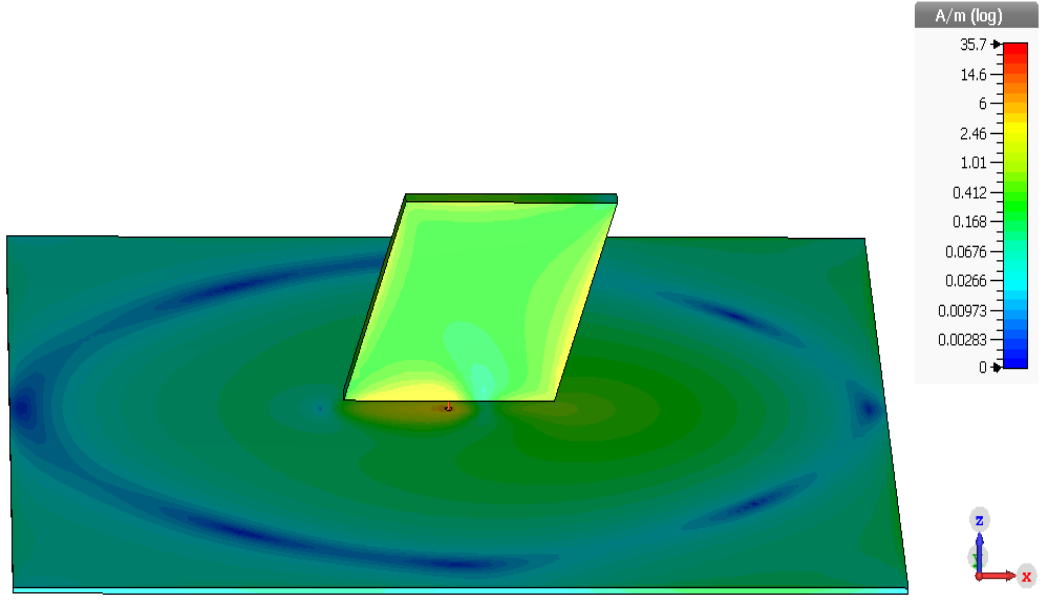


Şekil 3.43 Düz Bıçak Antenin Polar Düzlemde Işıma Örüntüsü ( 2.04 GHz )

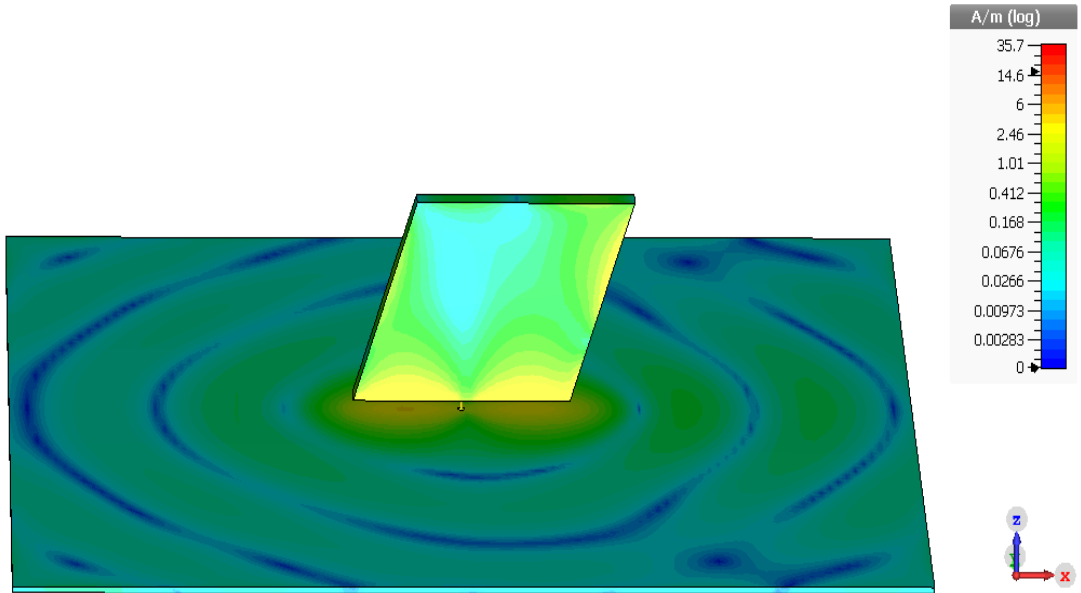
### Düz Bıçak Antenin Yüzey Akım Dağılımı

Düz Bıçak antenin tasarım yapılan frekans bandının en alt frekansı 0.82 GHz, ve en üst frekansı 2.04 GHz için antendeki yüzey akım dağılımı incelenmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 3.44 ve Şekil 3.45 olarak verilmektedir.

0.82 GHz ve 2.04 GHz'deki frekanslarda yüzey akım dağılımı dikkate alındığında, çentik olmadığından anten üzerinde akım dağılımlarının genellikle keskin uçlara yakın bölgelerde dağıldığı gözlenmiştir. Bu frekanslarda çentikli anten ele alındığında yüzey akım dağılımlarının genellikle çentik bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 3.44 Düz Bıçak Antenin Yüzey Akım Dağılımı ( 0.82 GHz )



Şekil 3.45 Düz Bıçak Antenin Yüzey Akım Dağılımı ( 2.04 GHz )

### 3.4 Yapılan Diğer Çalışmaların İncelenmesi ve Yorumlanması

Giriş bölümünde kısaca özetlenen literatür çalışmasında yer alan iki çalışmada elde edilen sonuçlar ile bu tez kapsamında uygulanan yöntemle elde edilen sonuçlar mukayese edilmiştir.

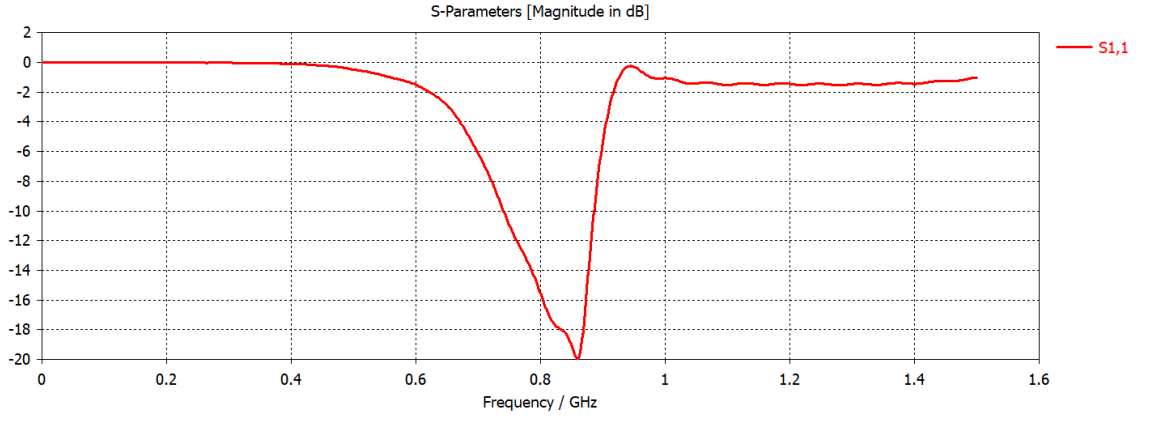
Bu kapsamda; Nazmus Saaqib ve arkadaşları [4] tarafından yapılan “Design And Development of A Wide Band Monopole Blade Antenna for Aircraft Navigation And Communication” başlıklı çalışma sonuçları incelenmiştir. Nazmus ve arkadaşları tarafından tasarlanan antenin parametreleri Tablo 3.2 ile verilmektedir.

Tablo 3.2. Nazmus [4] tarafından tasarlanan antenin parametreleri

Name	Description	Value
$f_0$	Centre frequency	928 MHz
Web	Element base width	44.83 mm
Wet	Element top width	39.22 mm
He	Element height	56.03 mm
Hf	Feed height	1.256 mm
Sf	Feed offset	0 m
Df	Feed pin diameter	0.4 mm
$\theta$	Front angle	35 °
Hn1	Notch 1 height	25.22 mm
Hn2	Notch 2 height	33.62 mm
Hn3	Notch 3 height	44.83 mm
Ln1	Notch 1 length	2.242 mm
Ln2	Notch 2 length	38.10 mm
Ln3	Notch 3 length	35.86 mm
Wn1	Notch 1 width	1.008 mm
Wn2	Notch 2 width	1.008 mm
Wn3	Notch 3 width	1.008 mm
Wp	Parasitic element width	0.4 mm
Sps	Parasitic element spacing	3.231 mm
Wtb	Tab base width	19.38 mm
Wtt	Tab top width	19.38 mm
St	Tab inset	0 m
Ht	Tab height	2.261 mm
X	Metal thickness	0.4 mm
Y	Total width of the antenna	125.7 mm
Z	Total height of the antenna	59.55 mm
$\varphi$	Rear angle	6.407 mm

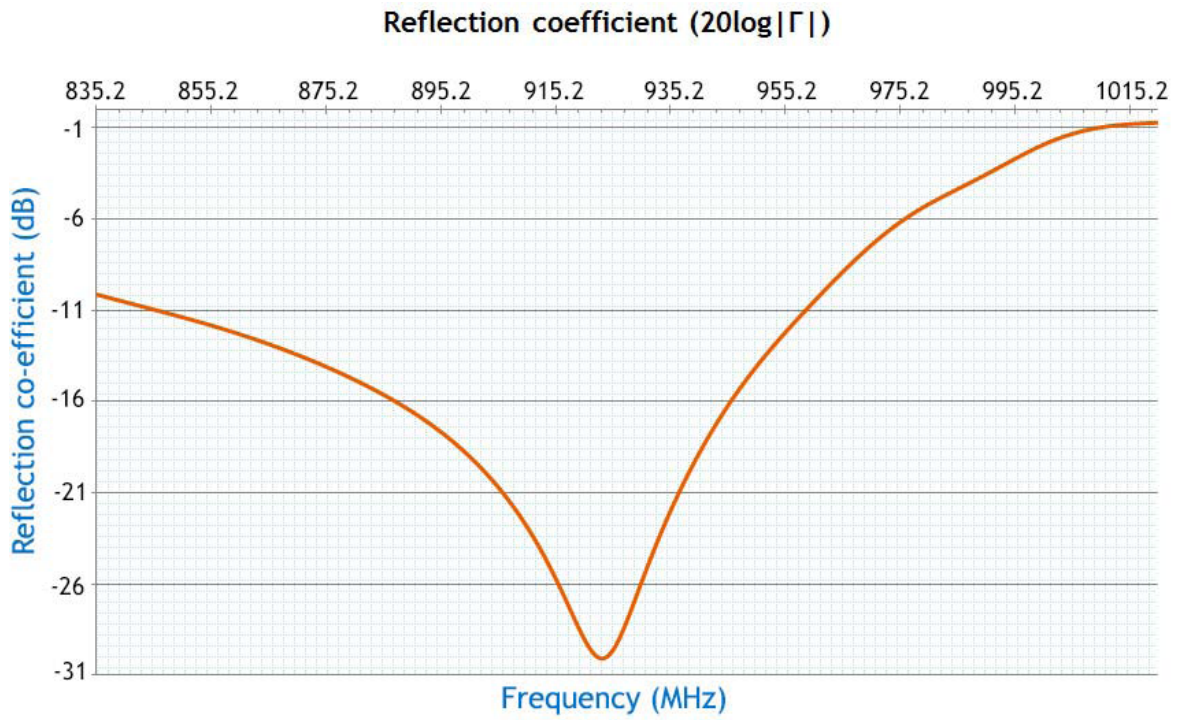
Tablo 3.2’deki anten parametreleri dikkate alınarak bu yüksek lisans tezimizde kullanılan yöntem uygulanmış ve Şekil 3.46’daki S11 değerleri elde edilmiştir.





Şekil 3.46 S11 (Nazmus [4] parametreleri ile bu tezdeki yöntemle)

Nazmus ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada elde edilen S11 parametreleri ise Şekil 3.47’de verilmektedir.



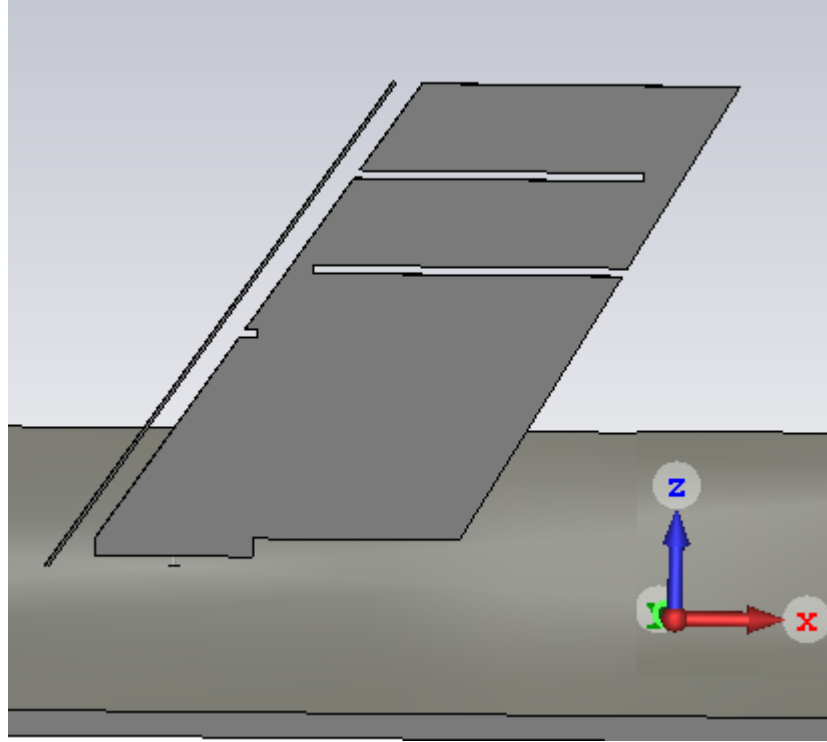
Şekil 3.47 Nazmus ve arkadaşları [4] tarafından yapılan tasarımda elde edilen

S11 değerleri

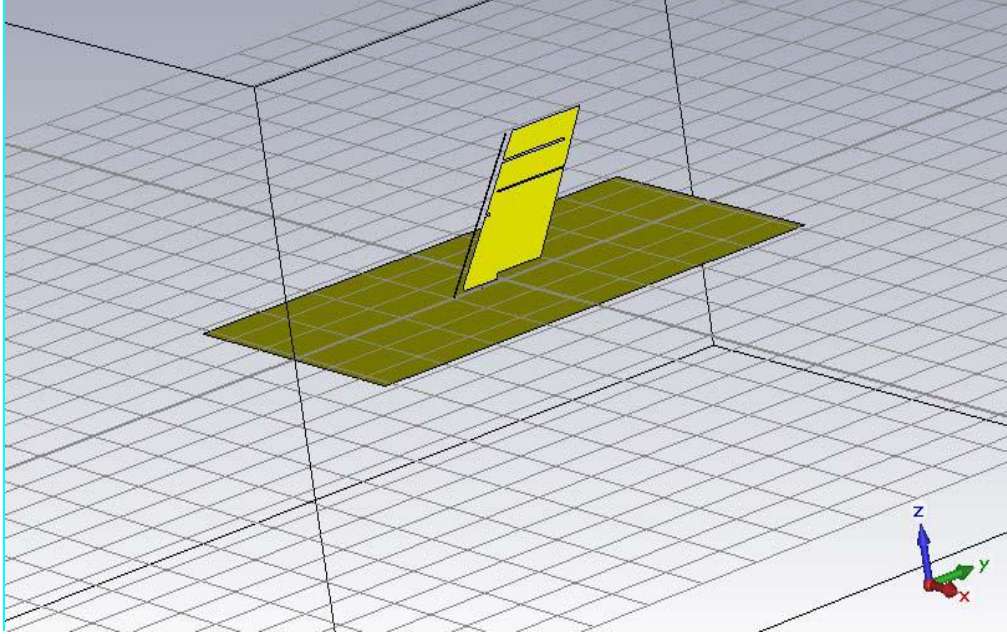
Şekil 3.46 ve Şekil 3.47 mukayese edildiğinde elde edilen S11 değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Ancak, Nazmus ve arkadaşları tarafından yapılan

çalışmada bu tez kapsamında yapılan çalışmaya nazaran elde edilen frekans bandının küçük bir miktar sağa kaydığı görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında yaptığımız bir diğer çalışma ise Nazmus ve arkadaşları tarafından tasarlanan antenin ölçüleri ( Tablo 3.2 ) kullanılmak suretiyle bu tez kapsamında kullanılan yöntem ile tasarlanan antenin Geometrisi Şekil 3.48’de verilmektedir. Nazmus ve arkadaşları tarafından tasarlanan antenin incelenen makalede verilen geometrisi ise Şekil 3.49’da verilmektedir. Bu tez kapsamında kullanılan yöntemle ortaya çıkarılan anten geometrisi ile Nazmus ve arkadaşlarının ortaya koyduğu anten geometrisinin aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 3.48 Anten Geometrisi (Nazmus parametreleri / bu tez yöntemi ile)



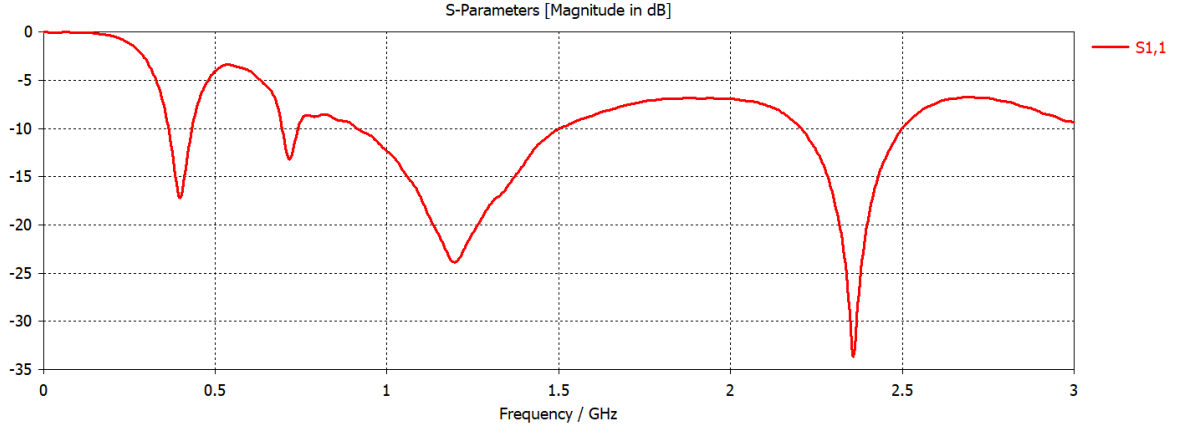
Şekil 3.49 Nazmus ve arkadaşları [4] tarafından tasarlanan anten geometrisi

Diğer bir mukayese çalışması ise; Aysu Belen ve arkadaşları [18] tarafından yapılan “UHF Frekanslarıyla Uyumlu Bıçak Anten Tasarımı” başlıklı çalışma olmuştur. Söz konusu çalışma kapsamında Aysu Belen ve arkadaşları tarafından tasarlanan antenin parametreleri Tablo 3.3 ile verilmektedir.

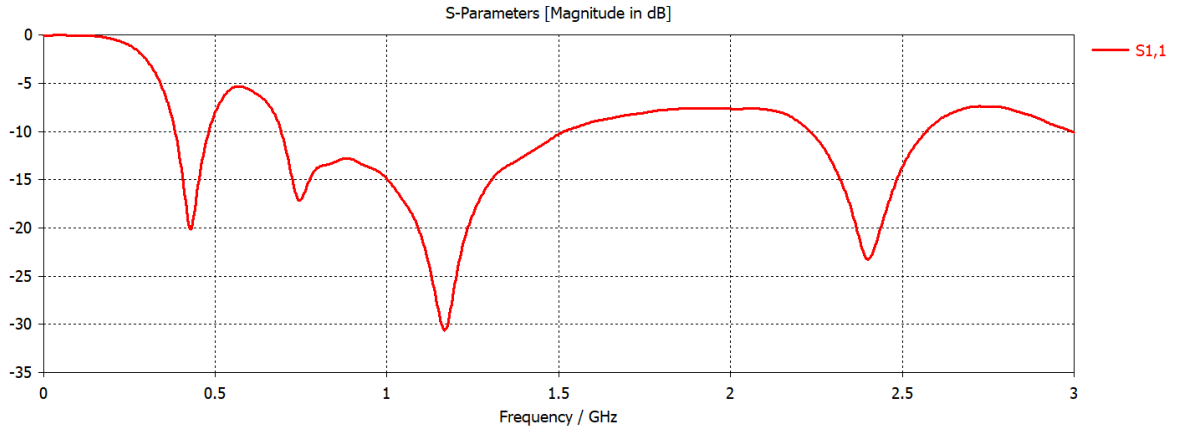
Tablo 3.3. Aysu Belen ve arkadaşları tarafından tasarlanan Anten Parametreleri

<b>Wet</b>	98mm	<b>Ln3</b>	36mm
<b>He</b>	140mm	<b>Ln2</b>	94.6mm
<b>Wtt</b>	175.6mm	<b>Ln1</b>	40mm
<b>Sf</b>	15.8mm	<b>Hn1</b>	35mm
<b>Web</b>	175.6mm	<b>Hn2</b>	71mm
<b>Wtb</b>	26.19	<b>Hn3</b>	101mm
<b>Sps</b>	38.2mm	<b>Ht</b>	9mm
<b>Spo</b>	35.4mm	<b>Df</b>	1mm
<b>St</b>	119.4mm	<b>w</b>	4mm

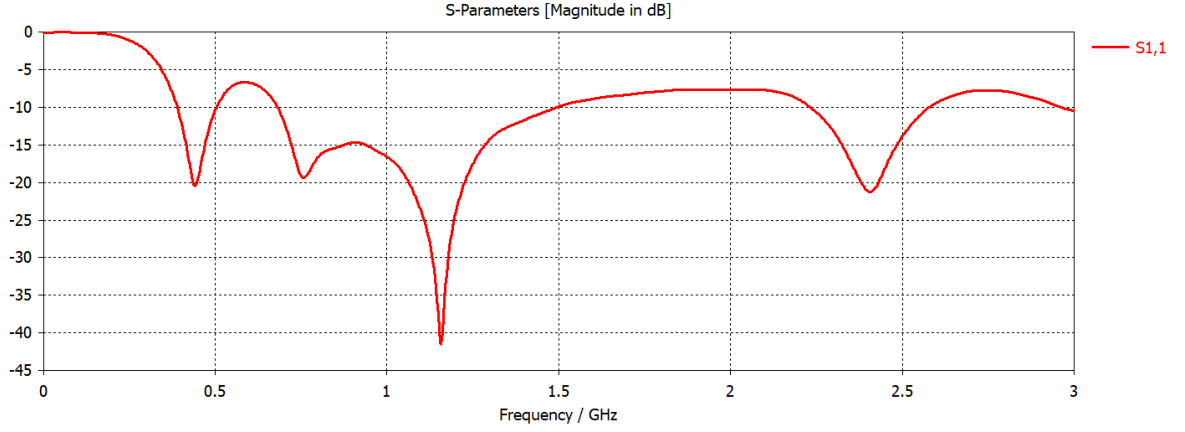
Tablo 3.3'deki anten parametreleri dikkate alınarak bu yüksek lisans tezimizde kullanılan yöntem uygulanmış ve Şekil 3.50-3.52'de verilen grafiklerdeki S11 değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.50 S11 (Belen [18] parametreleri / bu tez yöntemi ile ( Alpha :  $45^\circ$ ))

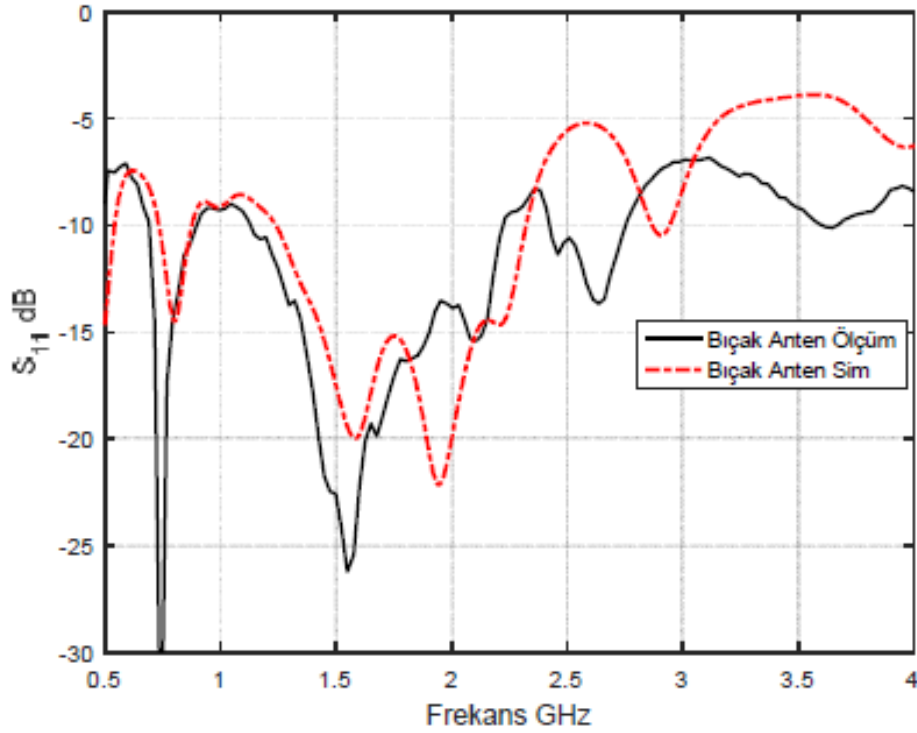


Şekil 3.51 S11 (Belen [18] parametreleri / bu tez yöntemi ile ( Alpha :  $55^\circ$ ))



Şekil 3.52 S11 (Belen [18] parametreleri / bu tez yöntemi ile (  $\alpha : 60^\circ$  )

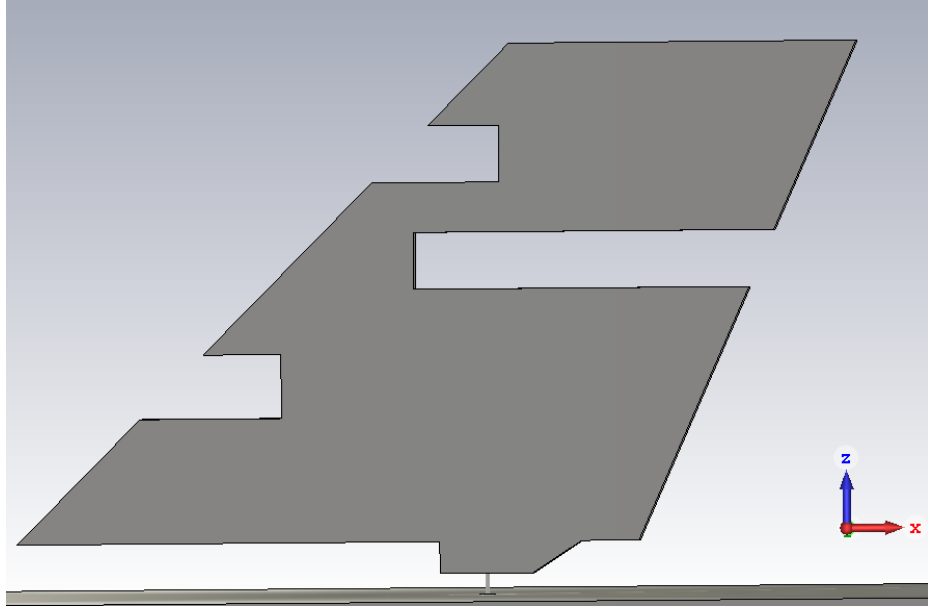
Aysu Belen ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada elde edilen S11 parametreleri ise Şekil 3.53’de verilmektedir.



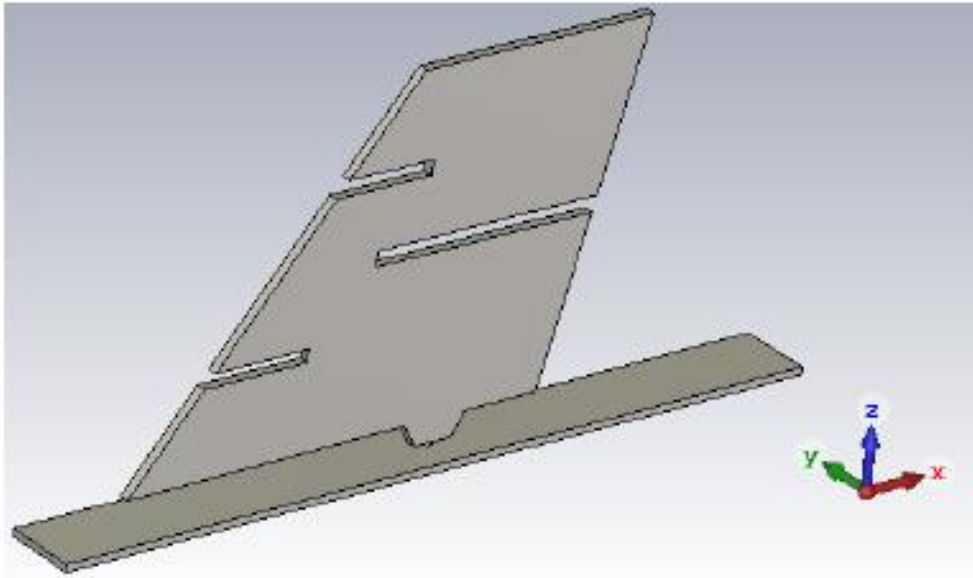
Şekil 3.53 Belen ve arkadaşlarının [18] tasarımındaki S11 değerleri

Bir önceki çalışmaya benzer şekilde Belen ve arkadaşları tarafından tasarlanan antenin ölçüleri ( Tablo 3.3 ) kullanılmak suretiyle bu tez kapsamında kullanılan yöntem ile tasarlanan antenin Geometrisi Şekil 3.54’de verilmektedir. Belen ve arkadaşları tarafından

tasarlanan antenin incelenen makalede [18] verilen geometrisi ise Şekil 3.55’de verilmektedir.



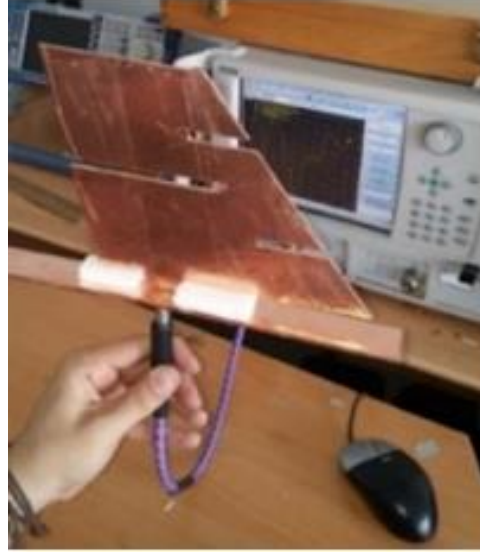
Şekil 3.54 Anten Geometrisi (Belen [18] parametreleri bu tez yöntemi )



Şekil 3.55 Belen ve arkadaşları [18] tarafından tasarlanan anten geometrisi

Önceki maddelerde ortaya konulan grafikler ve elde edilen sonuçlar irdelendiğinde ; incelenen çalışma [18] kapsamında tasarlanan antene ilişkin parametrelerin eksik olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca, Tablo 3.3’de verilen anten parametreleri ile söz konusu çalışma [18] kapsamında üretilen anten ( Şekil 3.56 ) anten parametrelerinin uyuşmadığı

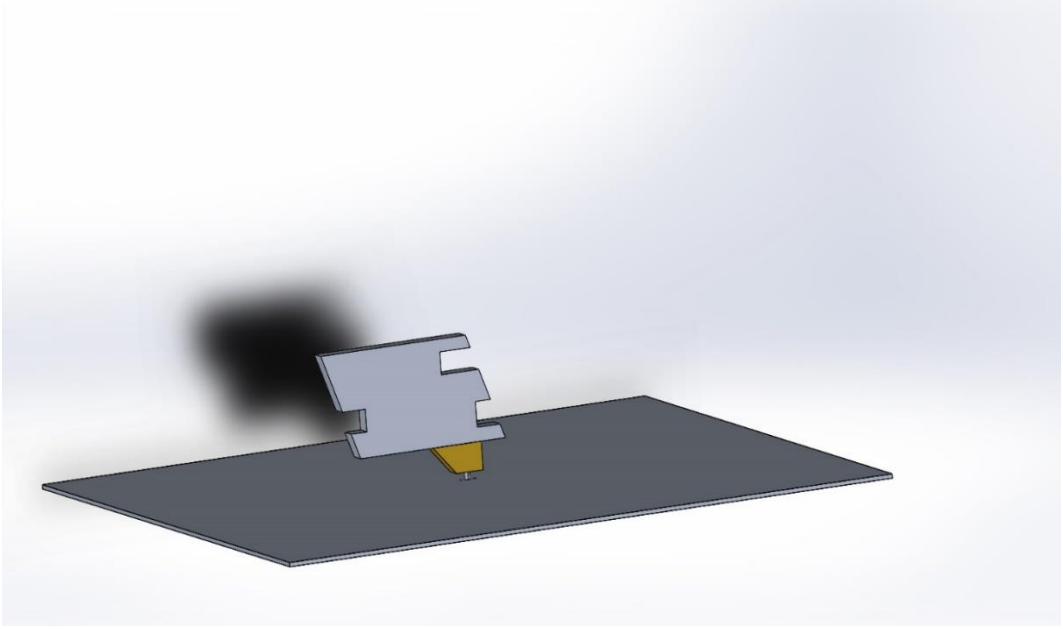
düşünülmektedir. İlave olarak, yapılan çalışmada anten eğim bilgisi, blade wall thickness, ve notch width bilgileri bulunamamıştır. Tablo 3.3’de yer alan  $w$  parametresinin makale içinde tanımı yapılmadığı için ne kastedildiği anlaşılamamaktadır. Tablo 3.3’de yer alan  $W_{tt}$  ve  $W_{eb}$  değerleri 175.6 mm olarak verilmekle birlikte, tasarımı yapılan ve üretilen anten incelendiğinde tutarsızlık olduğu düşünülmektedir.  $S_{ps}$  ve  $S_{po}$  parametreleri ile ilgili bilgi verilmemiştir. Bu hususlara ilaveten, yukarıdaki paragraflarda dile getirilen parametreler anten önünde bir parazitik eleman yerleştirildiğinde kullanılan parametrelerdir. Diğer yandan tasarlanan ve üretilen anten incelendiğinde parazitik bir elemanın varlığı gözlemlenememiştir. Söz konusu makalede verilen anten parametreleri [ Tablo 3.3 ] kullanılarak bu tezimizde kullanılan yöntem ile benzer bir anten tasarlanmıştır. Eğim bilgisi verilmediği için 3 farklı Alpha değeri ile simülasyon yapılmıştır. Elde edilen S11 değerleri Şekil 3.50-3.52 olarak verilmektedir. Bu sonuçlar söz konusu çalışmada [18] elde edilen sonuçlarla bire bir örtüşmemekle birlikte benzer S11 değerleri elde edilmiştir.



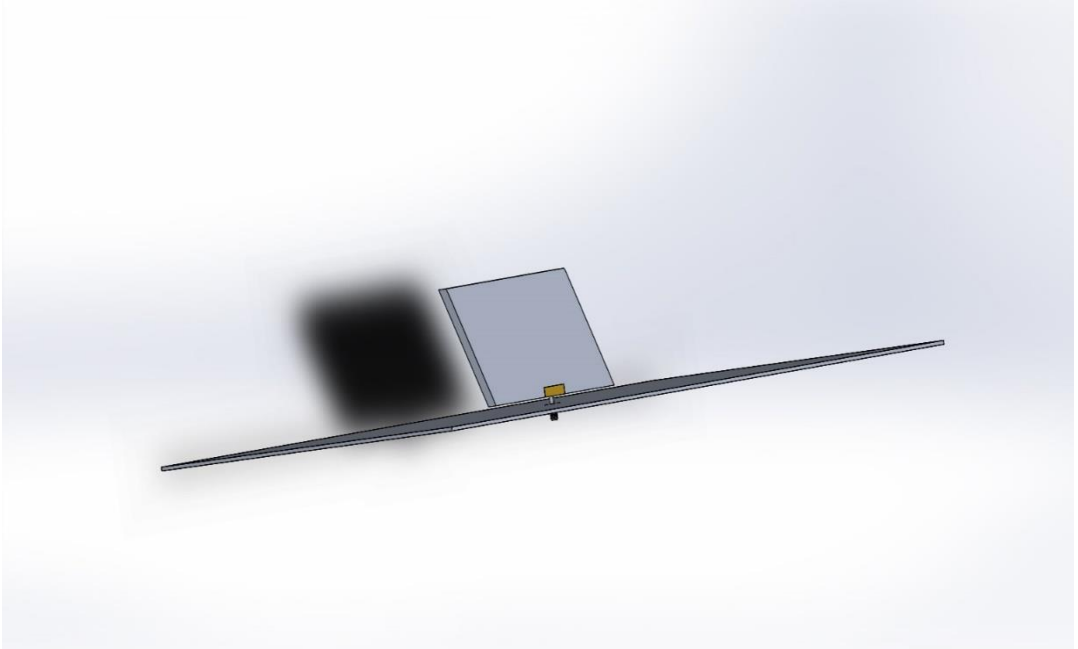
Şekil 3.56 Belen ve arkadaşları [4] tarafından tasarlanan antenin üretilmiş hali

### 3.5 Anten Üretimi

Yapılan simülasyon çalışmaları ile mukayese etmek amacıyla ; bu tez kapsamında tasarlanan Çentikli Bıçak Anten ve Çentikli Bıçak Anten ile aynı ölçülere sahip flat anten olmak üzere iki adet anten ürettirilmiştir. Üretilen antenlerin 3-boyutlu çizimi (Şekil 3.57-3.58) , üretime gönderilmeden önce Solid Works yazılımı kullanılarak Ritekcom İletişim Teknolojileri Sanayii ve Ticaret A.Ş. tesislerinde çalışan mühendislerin desteği ile yapılmıştır.



Şekil 3.57 Çentikli Bıçak Anten Mekanik Tasarımı –Solid Work Görüntüsü



Şekil 3.58 Düz Bıçak Anten Mekanik Tasarımı–Solid Work Görüntüsü

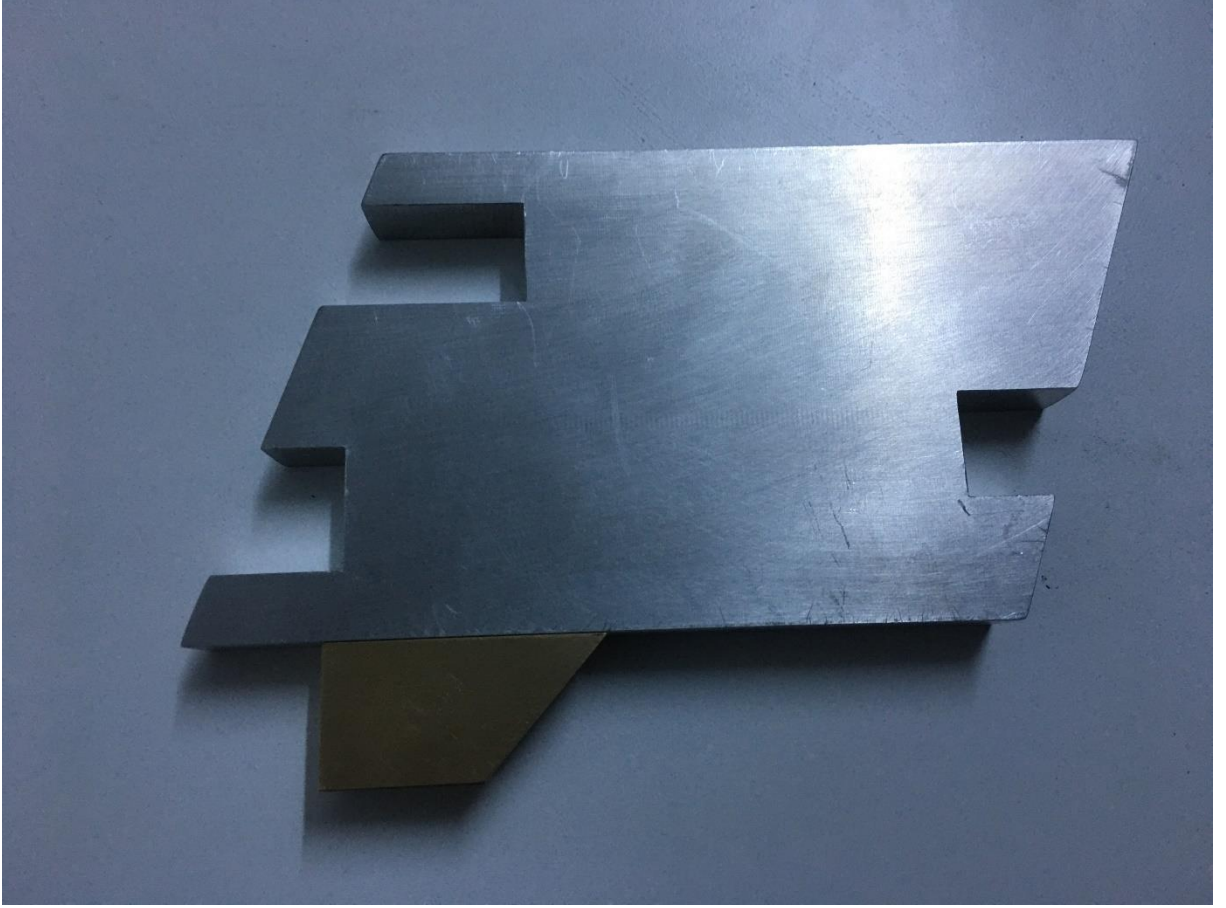
Solid Works yazılımı kullanılarak 3-boyutlu mekanik tasarımı yapılan antenler Mina Tech ( Mini Uzay Havacılık ve Mühendislik tic.Ltd. Şti ) tesislerinde ürettirilmiştir. Üretilen antenlerde kullanılan malzemeler Tablo 3.4’de listelenmiştir.



Tablo 3.4 Anten Üretiminde Kullanılan Malzemeler

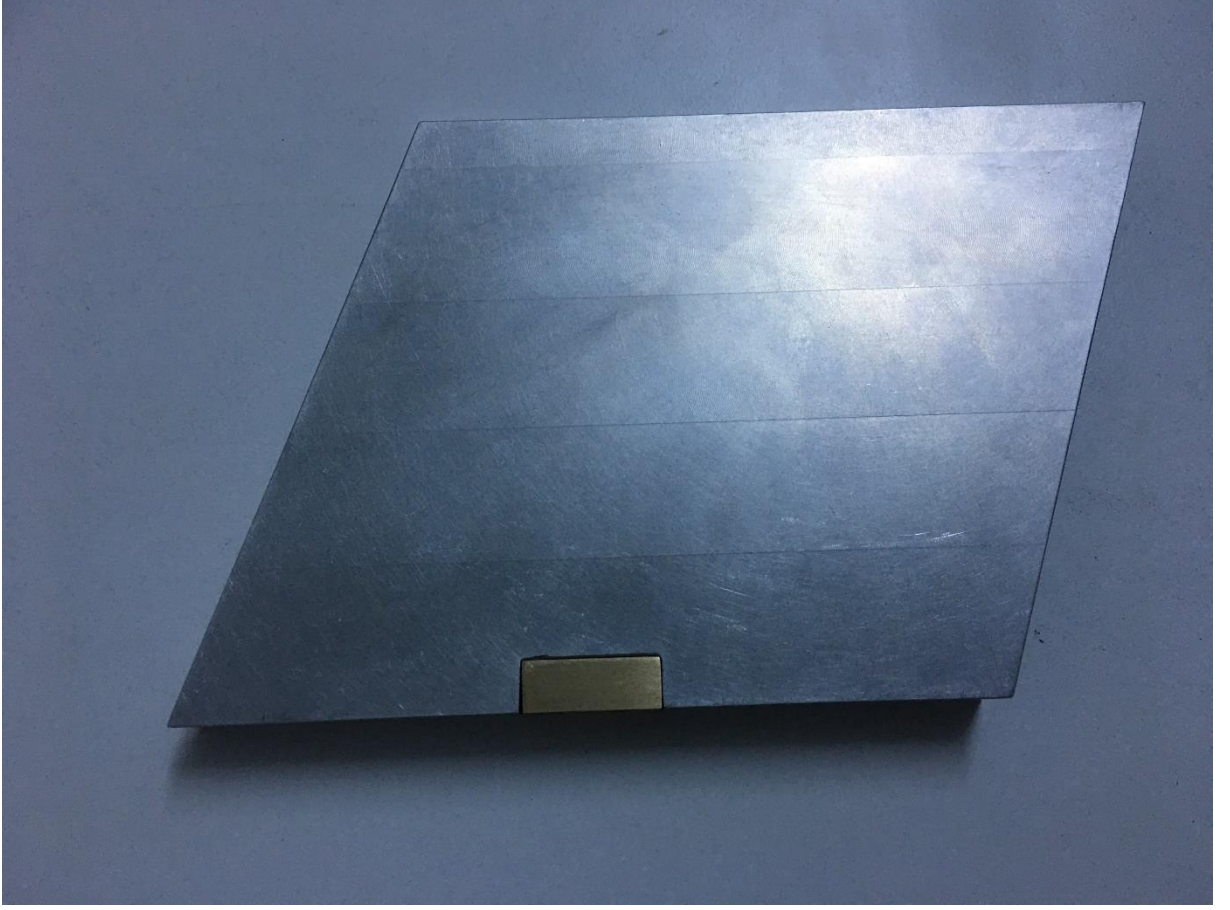
<b>Çentikli Bıçak Anten</b>	Malzeme Kodu	Miktarı / Cinsi
	6061	1/Alüminyum
	MS 58/CuZn39Pb3 (EN CW614N)	1/Pirinç
<b>Düz Bıçak Anten</b>		
	6061	1/Alüminyum
	MS 58/CuZn39Pb3 (EN CW614N)	1/Pirinç
<b>Yer Düzlemi (Ground Plane )</b>	Galvanizli Saç	2
<b>Bağlantı Aparatları</b>		
	DIN 912 M4x2	4/Paslanmaz Imbus Civata
	DIN 7985 M2x10	4
	DIN 934 M2	4/Somun
	SMA Konnektör	50 Ohm

Bu tez kapsamında üretilen Çentikli Bıçak Anten Şekil 3.59'da gösterilmektedir. Bu bıçak antende Element Height kısmı 6061 malzeme (Alüminyum) malzemedен üretilmiştir. Tab Height bölümünün olduğu kısım ise Pirinç MS 58/CuZn39Pb3 (EN CW614N) malzemedен üretilmiştir. SMA konnektörün alüminyum malzeme kullanıldığında lehim alma sorunu yaşandığından antenin alt kısmındaki Tab bölümü Pirinç malzemedен üretilmek durumunda kalmıştır.



Şekil 3.59 Üretilen Çentikli Bıçak Anten

Tasarım aşamasında yapılan simülasyon çalışmalarında Çentikli Bıçak Anten ile Düz Bıçak Anten performansları mukayese edilmiştir. Bu kapsamda çentikli Bıçak Anten Üretimi yanısıra 1 adet de aynı ölçülerde çentiksiz bıçak anten ürettirilmiştir. Ürettirilen Düz Bıçak Anten Şekil 3.60'da yer almaktadır. Düz Bıçak antende Element Height kısmı 6061 malzeme (Alüminyum) malzemedir, Element Height 'ın olduğu kısımda SMA konnektörün lehim yapılacağı yerin küçük bir bölümü ise Pirinç MS 58/CuZn39Pb3 (EN CW614N) malzemedir üretilmiştir. Çentikli Bıçak Antende açıklandığı üzere, SMA konnektörün alüminyum malzeme ile lehim alınması nedeniyle antenin alt kısmındaki küçük bir bölümü Pirinç malzemesinden üretilmiştir.



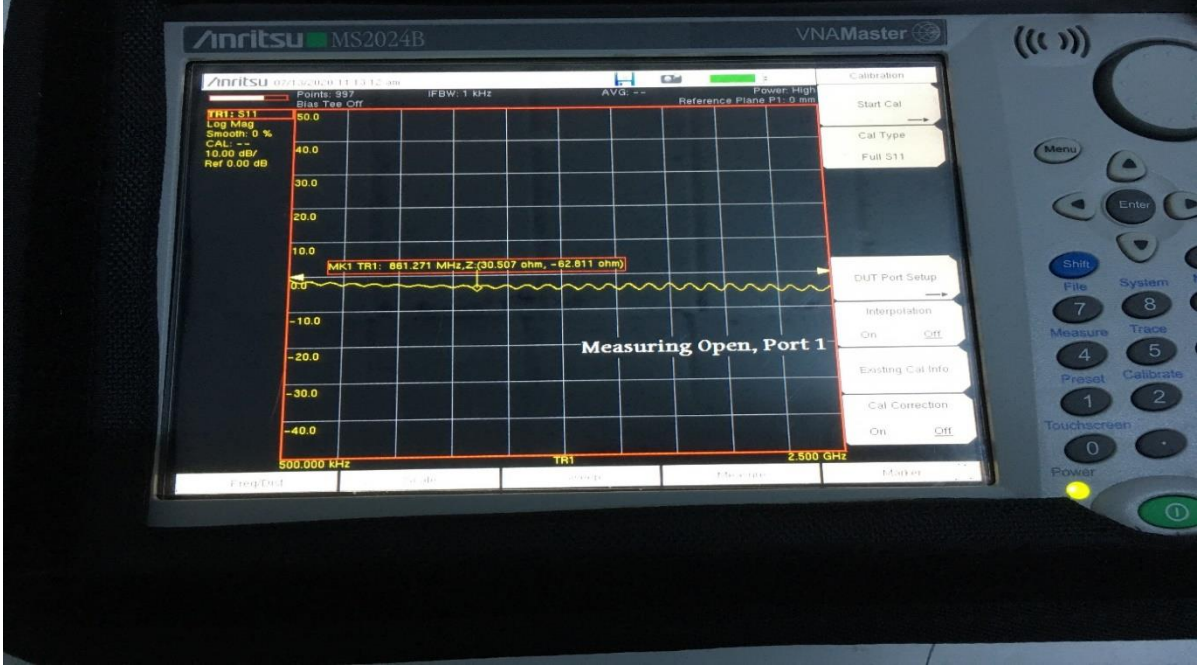
Şekil 3.60 Üretilen Düz Bıçak Anten

Çentikli Bıçak Anten ve Düz Bıçak Antenin her ikisinde de SMA konnektör kullanılmıştır. Kullanılan SMA konnektör şekil olarak Şekil 3.61’de görülmektedir.



Şekil 3.61 SMA Konnektör ( 50 Ohm )

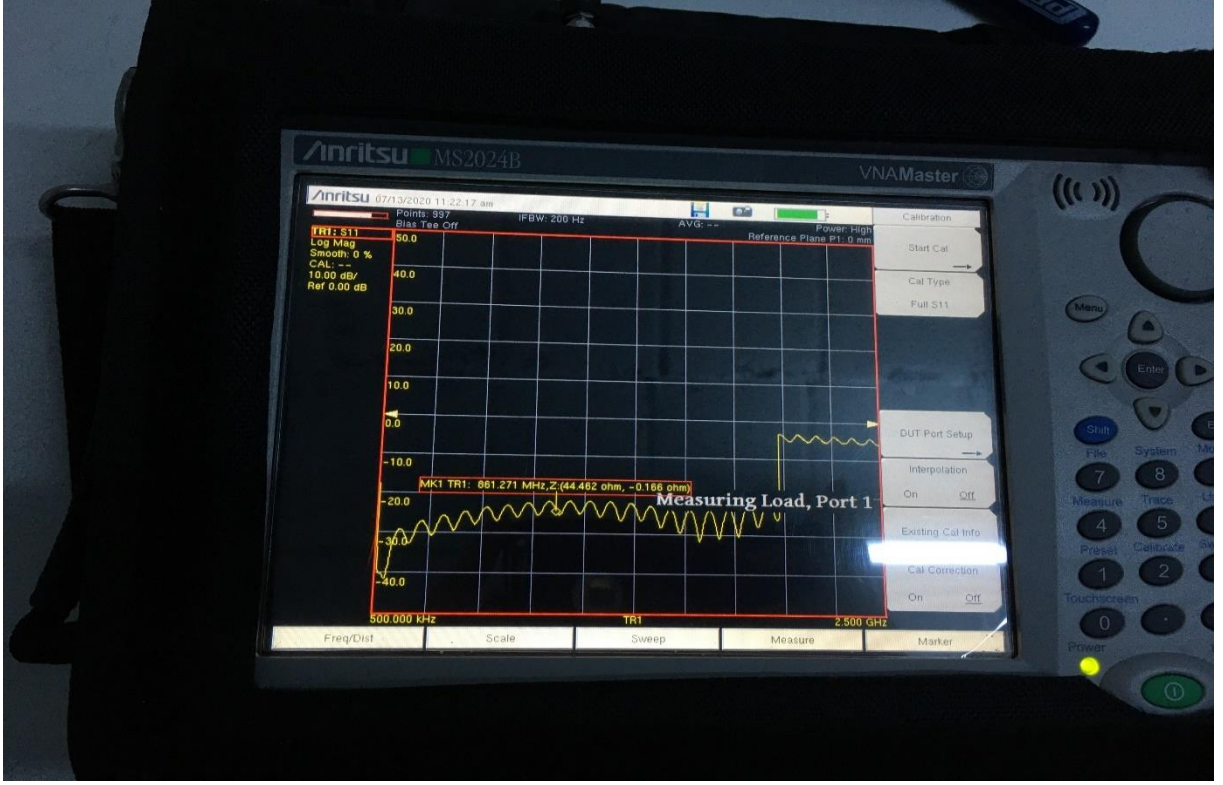
Antenlerin S11 ölçümü yapılmadan önce ölçüm için kullanılacak Network Analizörün kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda, Network Analizörün sırasıyla Open, Short ve Load kalibrasyonları yapılmıştır ( Şekil 3.62-3.64) .



Şekil 3.62 Network Analizörü kalibrasyonu ( Open )

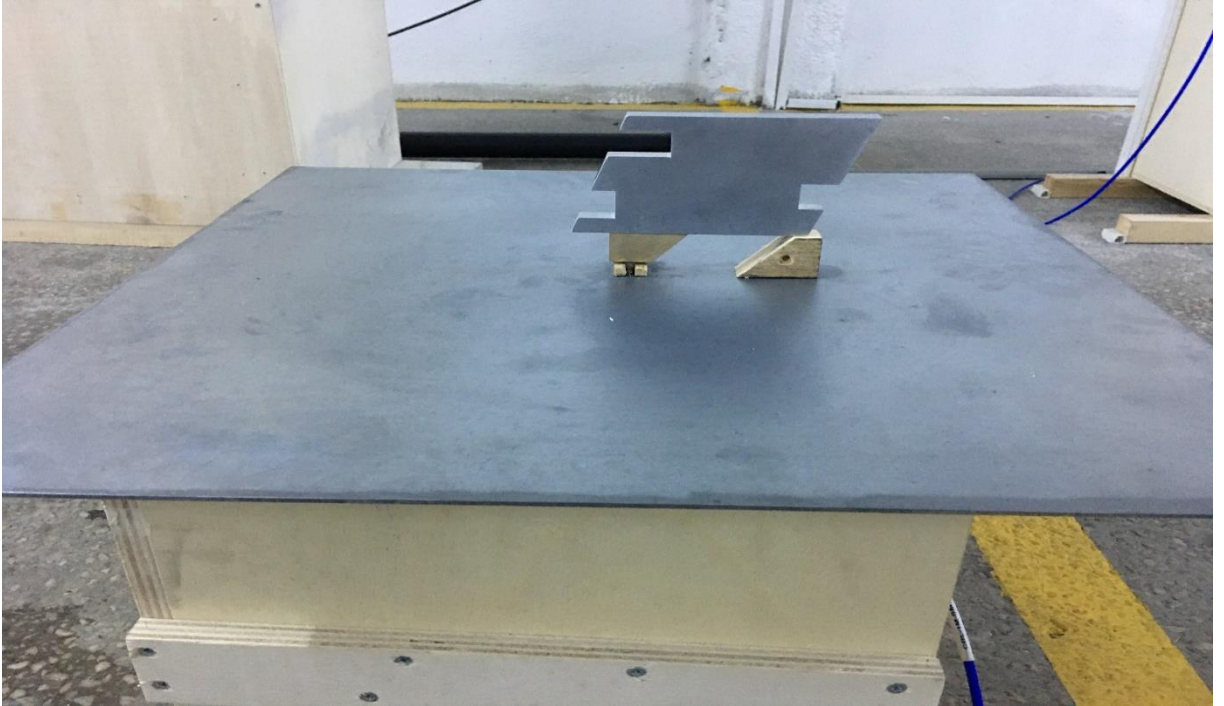


Şekil 3.63 Network Analizörü kalibrasyonu ( Short )

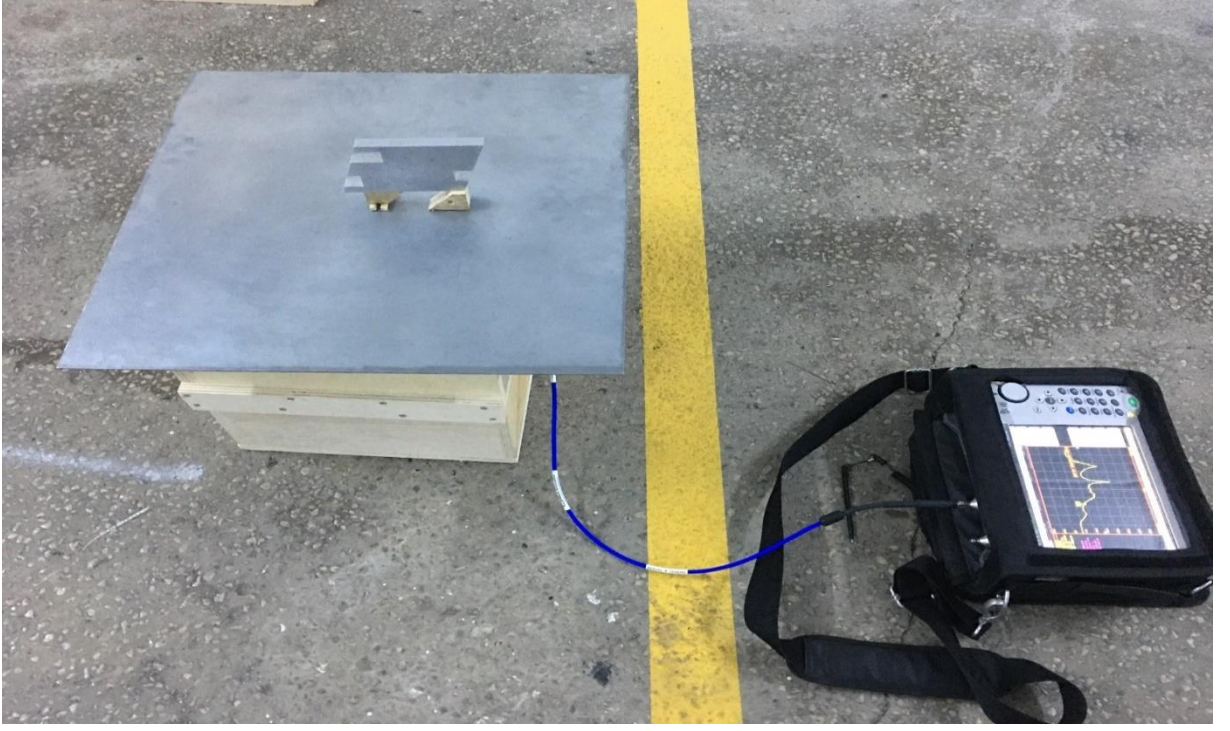


Şekil 3.64 Network Analizörü Kalibrasyonu ( Load )

Ürettirilen Çentikli Bıçak Anten Ölçüm Düzenekleri Şekil 3.65-3.66'da gösterilmektedir. Antene destek vermek amacıyla arka tarafında küçük bir tahta parçası kullanılmıştır.



Şekil 3.65 Üretilen Çentikli Bıçak Anten Ölçüm Düzenegi

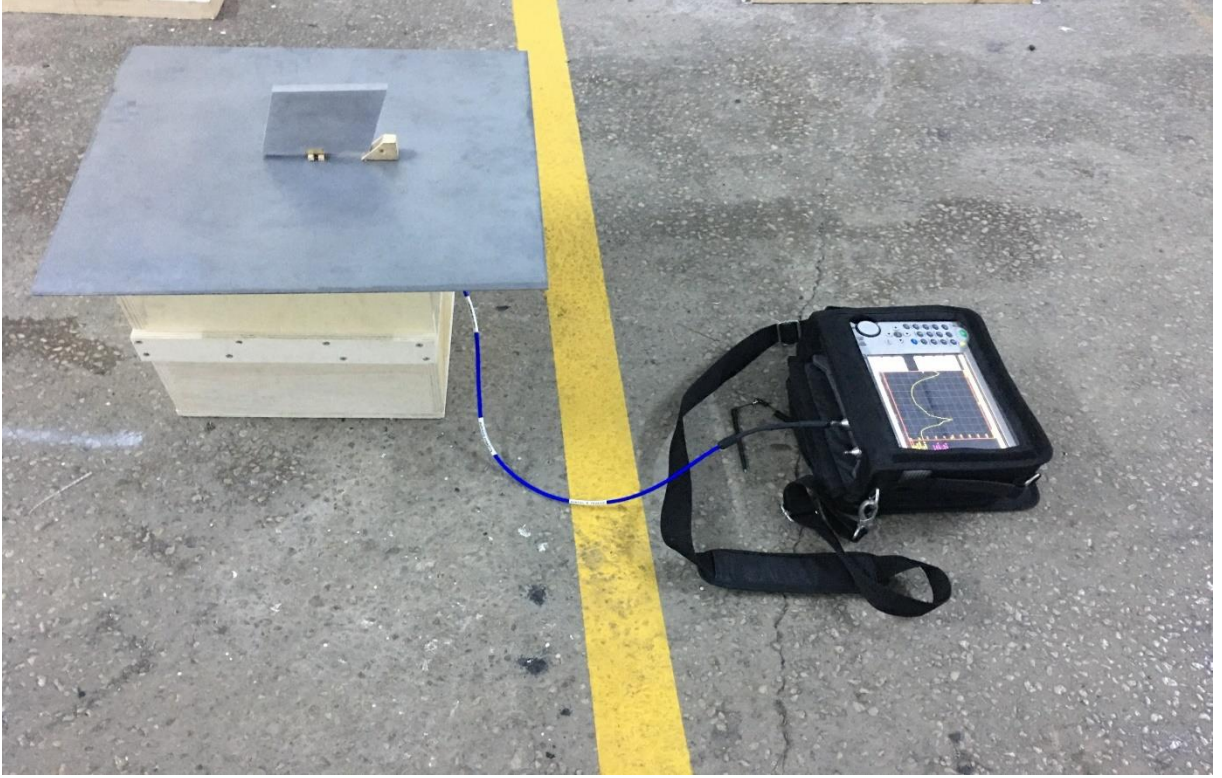


Şekil 3.66 Üretilen Çentikli Bıçak Anten S11 Ölçüm Düzeneği

Şekil 3.67-3.68'de ise sırasıyla ürettirilen düz bıçak anten ve ölçüm düzeneği gösterilmektedir. Antene destek vermek amacıyla antenin arka tarafında küçük bir tahta parçası kullanılmıştır.



Şekil 3.67 Üretilen Düz Bıçak Anten Ölçüm Düzeneği



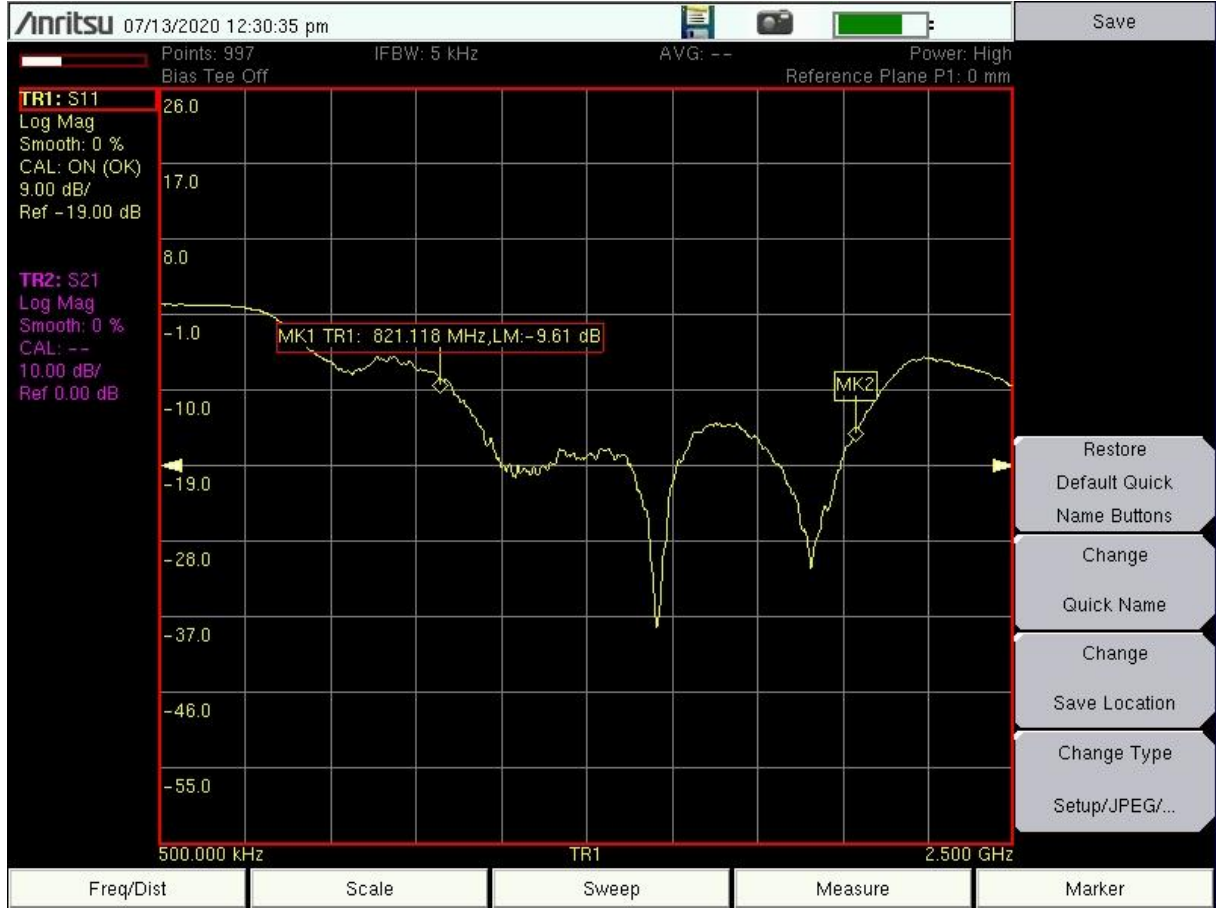
Şekil 3.68 Üretilen Düz Bıçak Anten S11 Ölçüm Düzenegi

Yukarıdaki şekillerde belirtilen işlemler yapıldıktan ve ölçüm düzenekleri kurulduktan sonra üretimi gerçekleştirilen Çentikli Bıçak Antenin S11 parametresinin ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlere ilişkin ekran görüntüleri Şekil 3.69 ve Şekil 3.70 ile verilmektedir. Şekil 3.69 ve Şekil 3.70’de gösterilen MK1 (Marker 1) ve MK2 (Marker 2) ile bant başı ve bant sonu frekansları olan 0.82 GHz ve 2.04 GHz gösterilmektedir. Bu tez kapsamında CST Studio yazılım desteği ile tasarlanan anten parametreleri kullanılarak yapılan simülasyon sonuçları ile üretilen antenin S11 ölçüm sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu kapsamda, Şekil 3.1 (CST studio desteği ile tasarlanan antenin S11 parametreleri) ile Şekil 3.69 ve Şekil 3.70 mukayese edildiğinde üretilen antenin S11 sonuçları ile önceki bölümlerde tasarlanan antenin simülasyonundaki S11 değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

CST Studio yazılım desteği ile tasarlanan çentikli bıçak antenin S11 sonuçlarının üretilen antenin S11 değerleri ile mukayesesi Tablo 3.5’de verilmektedir.

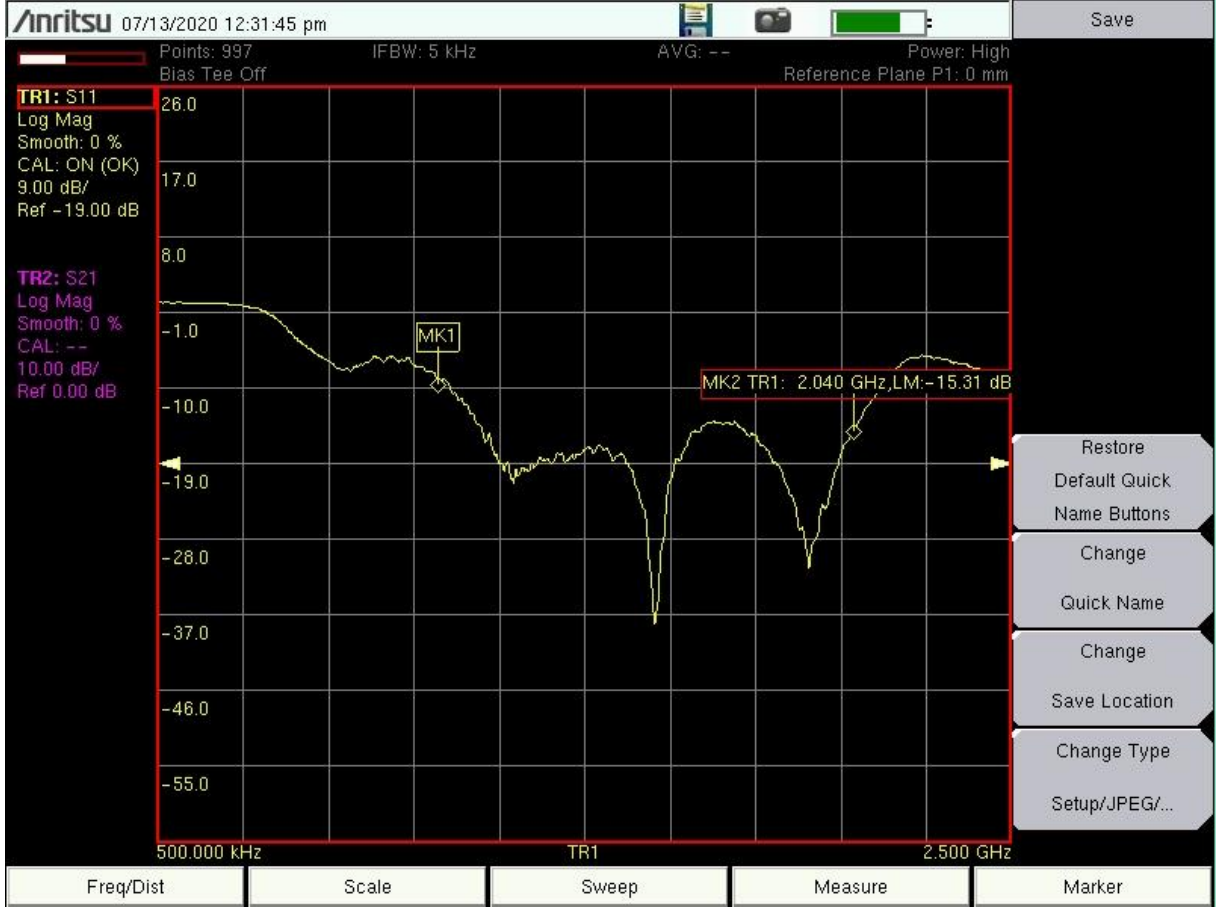
Tablo 3.5 Tasarım ve Üretim Çentikli Bıçak Anten S11 Değerleri

	Frekans (GHz)	S11 Değeri (dB)
<b>Tasarım Bıçak Anten</b>	0.82	-10,217
Üretim Bıçak Anten	0.82	-9,61
<b>Tasarım Bıçak Anten</b>	2.04	-10,17
Üretim Bıçak Anten	2.04	-15,31



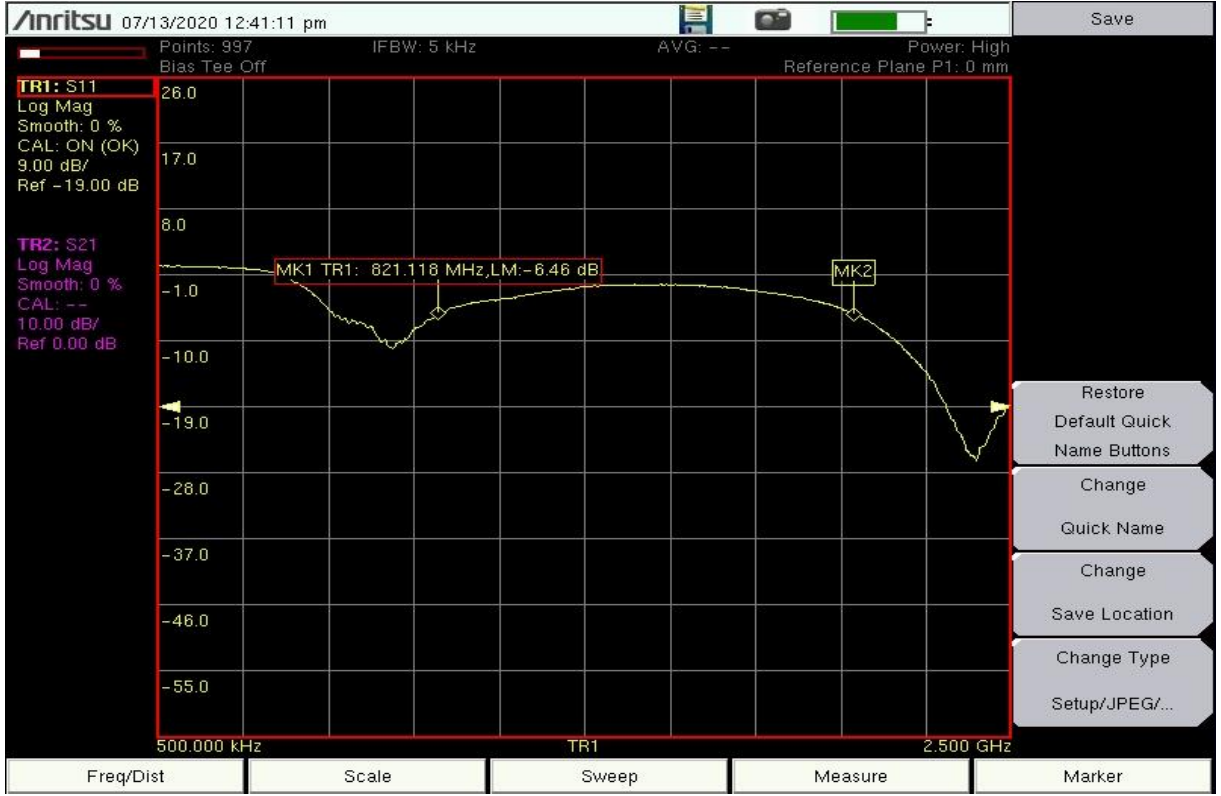
Şekil 3.69 Çentikli Bıçak Anten S11 Ölçüm Sonucu ( MK 1 : 0.82 GHz )



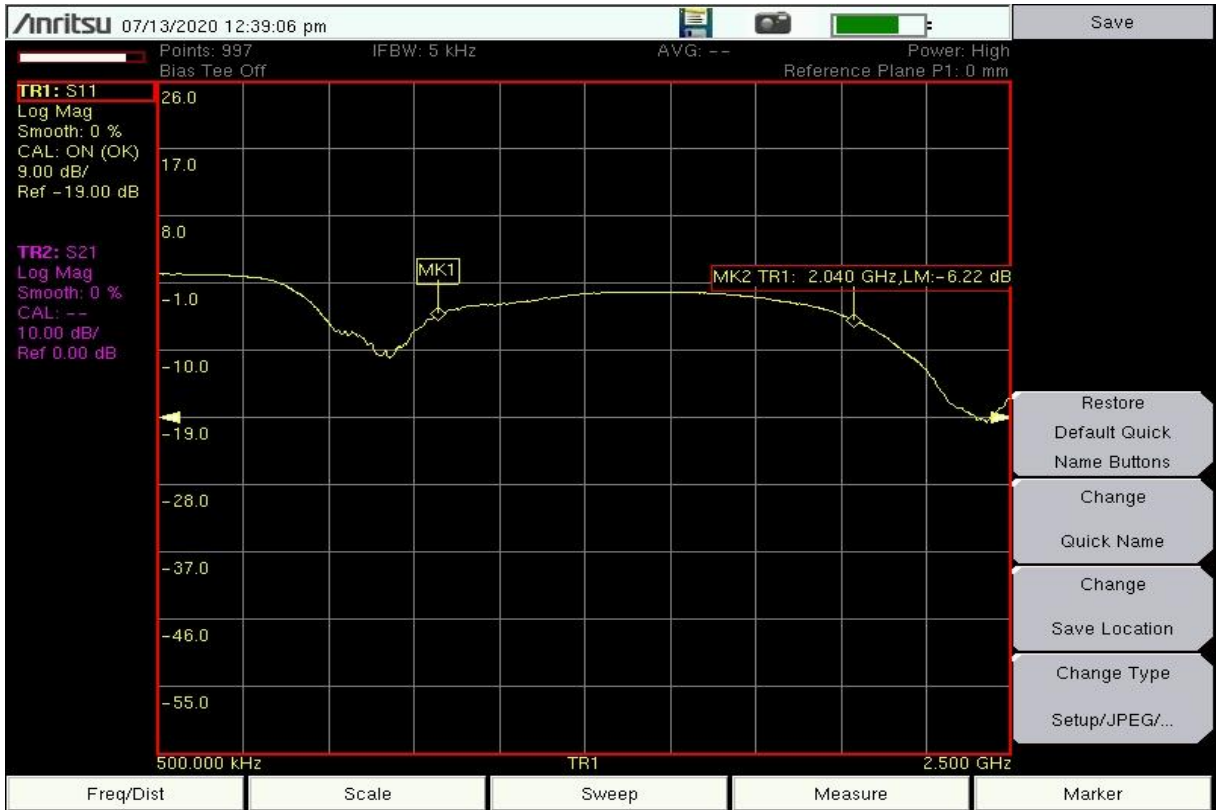


Şekil 3.70 Çentikli Bıçak Anten S11 Ölçüm Sonucu ( MK 2 : 2.04 GHz )

Şekil 3.71 ve Şekil 3.72’de ise ürettirilen düz bıçak antenin network analizör kullanılarak yapılan S11 ölçüm sonuçlarına ilişkin ekran görüntüleri verilmektedir. Bu ekran görüntüleri üzerindeki MK1 (Marker 1) ve MK2 (Marker 2) de aynı şekilde bant başı ve bant sonu frekansları olan 0.82 GHz ve 2.04 GHz gösterilmektedir. Şekil 3.71 ve Şekil 3.72 ile CST studio kullanılarak yapılan düz bıçak anten tasarımına ilişkin simülasyon sonuçlarını gösteren Şekil 3.38 mukayese edildiğinde simule edilen anten ile üretilen antenin S11 ölçüm sonuçlarının benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 3.71 Düz Bıçak Anten S11 Ölçüm Sonucu ( MK 1 : 0.82 GHz )



Şekil 3.72 Düz Bıçak Anten S11 Ölçüm Sonucu ( MK 2 : 2.04 GHz )

CST Studio yazılım desteği ile tasarlanan düz bıçak antenin S11 sonuçlarının ürettilen düz bıçak antenin S11 değerleri ile mukayesesi Tablo 3.6’da verilmektedir.

Tablo 3.6 Tasarım ve Üretim Düz Bıçak Anten S11 Değerleri

	Frekans (GHz)	S11 Değerı (dB)
<b>Tasarım Bıçak Anten</b>	0.82	-6,39
Üretim Bıçak Anten	0.82	-6,46
<b>Tasarım Bıçak Anten</b>	2.04	-4,17
Üretim Bıçak Anten	2.04	-6,22

#### 4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Haberleşme ve elektronik harp sistemleri, havacılık platformlarında kullanımları dikkate alındığında son yıllarda daha hızlı ilerleyen teknolojiler haline gelmeye başlamıştır. Bu uygulamalarda antenler çok büyük önem arz etmektedir.

Hava platformlarının veri, ses haberleşmesi, multimedya, gözetleme ve telemetri uygulamalarında geniş bantlı, çok yönlü ışın yapan antenler kullanılmaktadır. Bu hususlar dikkate alındığında hava platformlarında bıçak anten kullanımı ön plana çıkmaktadır. Bıçak antenler, düşük maliyetli, kompakt boyutlu, geniş bantlı, çok yönlü ışınmaya sahip antenlerdir.

Bu tezde, hava platformlarında kullanılabilecek bir bıçak anten tasarımı yapılmıştır. Öncelikle, frekans bandına uygun dalga boyu göz önüne alınarak anten tasarımı ortaya konmaya çalışılmıştır. Literatürde yer alan bıçak anten tasarımlarında kullanılan teknikler uygulanmıştır. Anten CST Studio Suite programı desteği ile tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Bu tip antenlerin tasarımında herhangi bir matematiksel formülasyon bulunmadığından anten parametreleri optimizasyon ve parametrik çalışmalar neticesinde tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmada; 50 ohm sma konnektör ile beslenen, yüksekliği 95 mm olan, 500 x 500mm<sup>2</sup> yer düzlemine sahip olan bıçak anten tasarlanmıştır. Antenin empedans uyumunun sağlandığı frekans bandı 0.82 GHz – 2.04 GHz olarak seçilmiştir. Empedans uyumunun sağlandığı frekans bandında 6.48 dB anten kazancı elde edilebilmiştir. Anten ile yer düzlemi arasında 6 mm mesafe bırakılarak, antenin empedans uyumu sağlanmaya çalışılmıştır. Anten tasarımı yapılırken, anten ve yer düzlemi boyutları en iyi sonucu verecek şekilde seçilmiştir. Empedans uyumunun sağlandığı frekans bandı analiz edilirken, S11, VSWR ve Smith diyagramındaki empedanslar dikkatle incelenmiştir. Ayrıca 3D ışınma örüntüsü, polar düzlemde ışın örüntüsü ve akım dağılımı analiz edilmiştir.

Ek olarak, çentikli bıçak anten ile yüksekliği, yer düzlemi boyutları aynı olan, fakat üzerinde çentikleri olmayan bir anten daha tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Bu antenin de, S11, VSWR, Smith diyagramı, 3D ışınma örüntüsü, polar düzlemdeki ışın örüntüsü ve akım dağılımı analiz edilmiştir. Bu iki anten, empedans uyumu açısından incelendiğinde 0.82 GHz – 2.04 GHz frekans bandında çentikli antenin empedans uyumunun daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Ayrıca ışınma örüntülerinde çentikli antenin kazancının daha yüksek olduğu

ve çentikler nedeniyle ortaya çıktığı değerlendirilen kapasitif etkilerden ötürü çentikli antenin akım yoğunluğunun daha iyi olduğu görülmüştür.

Aynı parametre ölçülerine sahip tasarımı yapılan çentikli ve düz bıçak antenlerin üretimi yapılmıştır. Üretilen antenlerin S11 ölçüm sonuçları ile tasarımı yapılan antenlerin simülasyon sonuçlarının birbirine benzer olduğu görülmüştür. Böylece ortaya konan anten tasarımı üretim ile de doğrulanmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda, empedans uyumunun sağlandığı farklı frekans bandına sahip, farklı anten kazancına ve ışınma örüntüsüne sahip çalışmaların yapılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, bu tez kapsamında önerilen üç çentikli yapının artırılması ile daha iyi neticeler alınıp alınmayacağı ve bu kapsamda akım dağılımları ve ışınma örüntülerindeki değişimler ve kaymaların teorik olarak da nedenleri üzerinde çalışma yapılması uygun olacaktır. Bir diğer çalışma ise bu tez kapsamında tasarlanan ve üretilen antenin endüstrileştirilerek bir hava aracı üzerinde denenmesi, bu deneme yapılmadan önce CST Studio ile ilgili simülasyonların yapılması olarak önerilebilir.

## KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] S. Nasir, M. Fazal, P. Farheen, K. Shhid, "Simulation and Design of S-Band Blade Antenna For Airborne Applications." City University Journal, Volume 02 Number 02 July 2012 Article 18.
- [2] H. Dong-Ho, C.P Anastasis, A.B. Constantine, "Finite Element Analysis of VHF/UHF Antennas on Helicopter Airframes." IEEE 1998. Telecommunication Research Centre. Arizona State University. Tempe.1998.
- [3] A. Ikram and J.Laurin, "On the Increase of the Directivity of a Low Profile Aircraft Antenna." The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014).
- [4] N<sup>1</sup>. Saaquib, T<sup>1</sup>. Sarker, N<sup>3</sup>. Rahman, L.E. Khan, P.K<sup>5</sup>. Saha, "Design And Development of A Wide Band Monopole Blade Antenna for Aircraft Navigation And Communication," Department of Aeronautical Engineering, Military Institute of Science & Technology, Dhaka, Bangladesh<sup>1-4</sup> , Department of Electrical and Electronic Engineering, Bangladesh University of Engineering & Technology, Dhaka, Bangladesh<sup>5</sup>, 978-1-5386-1023-7/17/\$31.00 ©2017 IEEE
- [5] L. Scorrano, A. Di Rosa, B. Orobello, A. Manna, F. Trotta, "Experimental Investigations of a Novel Lightweight Blade Antenna for UAV Applications." IEEE Antennas & Propagation Magazine. April 2017, 108-178.
- [6] Z. Tooba, H. Raza, H.H. Mashhadi, A. Khan, "Design and fabrication of broadband planar monopole antenna operating in 1.2-6 GHz band." Proceedings International Bhurban Conference on Applied Sciences & Technology (IBCSAT), Islamabad, Pakistan, 12 th-16 th January, 2016.
- [7] F. Franklin Drummond and G. Huff, "Development of UAS Design Based on Wideband Antenna Architecture." Aerospace 2015, 2, 312-324; doi:10.3390/aerospace2020312. Department of Electrical and Computer Engineering, Texas A&M University, 3141 TAMU, College Station, TX 77843, USA.
- [8] F. Trotta, A. Manna, S. Scorrano, "A Small Lightweight Wideband Printed Dipole for UAV Applications." 978-1-4799-3540-6/14/\$31.00 ©2014 IEEE. Antenna Engineering Department Elettronica S.p.A. Roma, Via Tiburtina Valeria Km 13,700, Italy

- [9] K. Prasad and C. Santhoshi, "A Review on Neoteric Blade antenna for Airborne Applications," International Journal of Advanced Trends in Engineering, Science and Technology(IJATEST) Volume.4,Special Issue.1Dec.2016, Department of ECE, AITS, Rajampet, India.
- [10] D. Biswas and R. Vulapalli, "A Novel Scheme to Configure DC Short with Printed Monopole Antenna for UAV Datalink," 978-1-5386-0646-9/17/\$31.00 ©2017 IEEE , Aeronautical Development Establishment Defense R & D Organization, Ministry of Defense Govt. of India, Bengaluru – 560075.
- [11] C. Sairam, T. Khumanthem, S.D. Ahirwar, A. Kumar, "Design and Development of Broadband Blade Monopole Antenna," Proceedings of International Conference on Microwave – 08, 978-1-4244-2690-4444/08/\$25.00©2008 IEEE, p.150-151.
- [12] Zhang Guang-yu, Jia Yun-feng, Yang liu, Li Zi-ning, SUN Fei, "Analysis of Radiation Characteristics of the Airborne VHF Antenna," 2014 3rd Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation, p.8-10, School of Electronic and Information Engineering Beihang University Beijing, China.
- [13] Makoto Ono and M. Takeichi, Y., "A One-Eighth-Wave Blade Antenna With Metal Leading Edge," p.228-225, Mitsubishi Electric Corporation Kamimachiya, Kamakura-City Japan,
- [14] Ki-Hak Kim, Jin-U Kim, and Seong-Ook Park, "An Ultrawide-Band Double Discone Antenna With the Tapered Cylindrical Wires," IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 53, NO. 10, OCTOBER 2005, p.3403-3406, School of Engineering, Information and Communications University, Daejeon 305-732, Korea.
- [15] A. Patrovsky and R. Sekora, "Structural Integration of a Thin Conformal Annular Slot Antenna for UAV Applications," 2010 Loughborough Antennas & Propagation Conference 8-9 November 2010, Loughborough, UK, 978-1-4244-7306-9/10/\$26.00 ©2010 IEEE, p. 229-232, EADS Defence & Security Military Air Systems Rechlinerstrasse, 85077 Manching, Germany.
- [16] Constantine A. Balanis, Antenna Theory, Third edition, John Wiley & Sons, Hoboken New Jersey, 2005.
- [17] CST Studio Suite 2013, CST Computer Simulation Technology AG, [www.cst.com](http://www.cst.com) . , Erişim Tarihi: 27/01/2020.

- [18] A<sup>1</sup>. Belen, H.P<sup>2</sup>. Partal, S<sup>3</sup>. Ördek, M.A<sup>4</sup>. Belen, “UHF Frekanslarıyla Uyumlu Bıçak Anten Tasarımı , Blade Antenna Design for UHF Applications, “Elektronik ve Haberleşme Müh. Böl. Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul, Türkiye<sup>1-3</sup>, Elektrik Elektronik Müh. Böl. Artvin Çoruh Üniversitesi Artvin, Türkiye, 978-1-5386-1501-0/18/\$31.00 © 2018 IEEE.
- [19] Q. Jianming, D. Zhengwei, L. Jianhua, K. Gong, “A Case Study To Improve The Impedance Bandwidth of A Planar Monopole Antenna,” State Key Lab on Microwave and Digital Communications , Microwave and Optical Technology Letters 45(2) :124-126,DOI :10.1002/mop20744, April 2005, Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, P. R. China
- [20] C. Aixin, J. Tiehua, Y. Zhang, “A Wide Band VHF/UHF Discone-Based Antenna,” IEEE Antennas and Propagation Letters, 2011, DOI : 10.1109/ LAWP. 2011. 2153818, Corpus Id : 24609908.
- [21] F. Waleska, I. Silva, P. S. Bianchi and Tiago,” Design of a Blade Antenna Embedded in Low-Cost Dielectric Substrate,” Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, 2017, Vol.16, N.1, pp.180-193,ISSN 2179-1074.
- [22] F. Yufeng, Y. Xuequan, L. Zhanbo, “Wideband Slablike Folded Dipole Antenna for Low Frequency Airborne Radar,” 4 th IEEE International Symposium on Microwave , Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communication, DOI : 10.1109/MAPE.2011.6156161, Corpus ID : 34478169. AVIC Radar and Avionics Institute, Wuxi, China,
- [23] Y. Zhang, J. Qiu, W. Guo, C. Yang, “Novel Ultra-Wide Band Omni-Directional Dipole Antenna,” International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICCMT) , 2012, DOI : 10.1109/ICCMT.2012.6230154, School of Electronics and Information Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China



## **EK-1 ANTEN PARAMETRELERİ VE TEL ANTENLER HAKKINDA ÖZET BİLGİ**

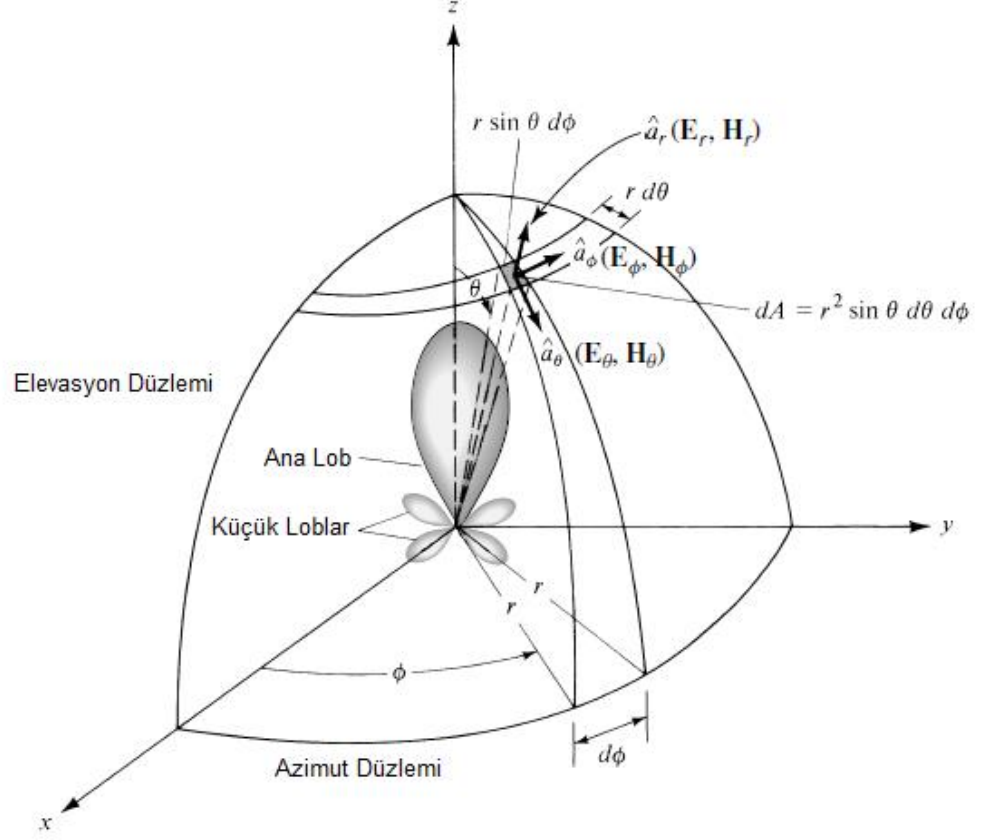
Anten performansını ölçmek için temel anten parametrelerini tanımlamak gerekir. Temel anten parametreleri: ışma örüntüsü, ışma güç yoğunluğu, ışma şiddeti, hüzm genişliği, yönlülük, verimlilik, kazanç, giriş empedansı, duran dalga oranı, geri dönüş kaybı.

### **Anten Parametreleri**

Bu alt bölümde anten tasarımına etki eden anten parametrelerinin bir kısmı hakkında çok özet bilgi sunulacaktır.

### **Işma Örüntüsü**

Işma örüntüsü; bir antenin ışma özelliklerini uzay koordinatlarına göre açıklayan matematiksel fonksiyon veya grafiksel gösterimdir [16]. Diğer yandan, ışma örüntüsü iki ya da üç boyutlu düzlemde yayılan enerjinin uzaysal dağılımıdır. Işma örüntüsü genellikle uzak alan bölgesinde tanımlanır. Işma örüntüsü; güç akı yoğunluğu, elektrik alan, yönlülük, faz ve polarizasyon hakkında bilgi verir. Anten analizi için kullanılan koordinat sistemi Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1 Anten Analizi İçin Koordinat Sistemi [16]

Elektrik ya da manyetik alanın izi sabit bir yarıçapta genlik alan örüntüsü olarak ifade edilmektedir. Güç yoğunluğunun sabit bir yarıçap boyunca uzaysal değişiminin grafiği ise genlik güç örüntüsü olarak tanımlanmaktadır. Genlik alan ve genlik güç örüntüleri ifade edilirken değerleri maksimum değere göre normalize edilmekte ve genellikle desibel (dB) olarak ifade edilmektedir.

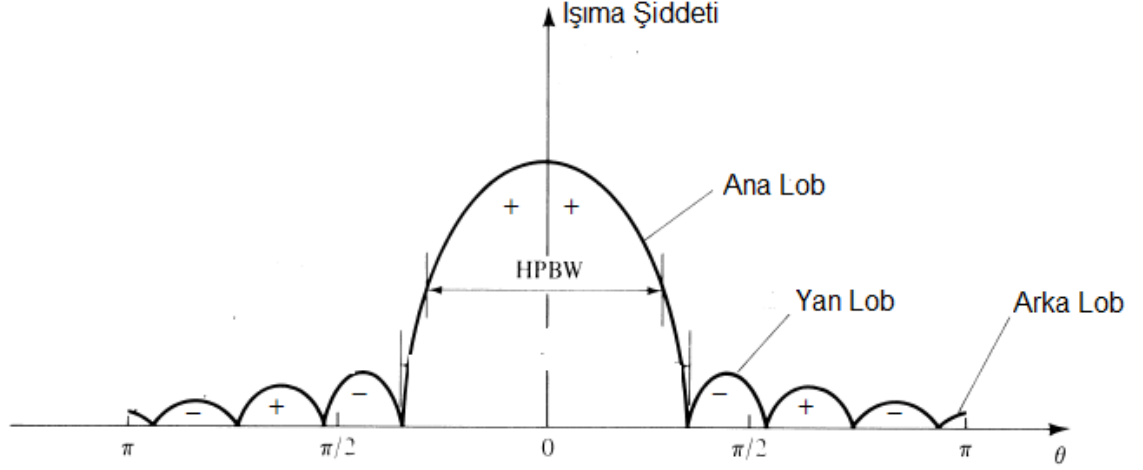
Alan örüntüsü lineer ölçekte ifade edilir. Alan örüntüsü, açısal uzayın bir fonksiyonu olarak elektrik ve manyetik alanın büyüklüğünün grafiğidir.

Güç örüntüsü lineer ölçekte ifade edilir. Güç örüntüsü, açısal uzayın bir fonksiyonu olarak elektrik ve manyetik alanın büyüklüğünün karesinin grafiğidir.

Güç örüntüsü desibel ölçekte de ifade edilir. Güç örüntüsü(dB), açısal uzayın bir fonksiyonu olarak elektrik ve manyetik alanın büyüklüğünün desibel(dB) ölçeğinde ifade edilmesidir.

## Işıma Örüntüsü Lobları

Işıma örüntüsünde ana lob, alt lob, yan lob ve arka loblar bulunmaktadır. Ana lob, maksimum ışımaya yönünü içeren lobtur. Yan lob, amaçlanan lob dışındaki loblardır. Arka lob ise, antenin hüzmeye genişliği ile  $180^\circ$  lik açı yapan lobdur [16].



Şekil 2 Lineer Düzlemde Güç Diyagramı, İlgili Loblar ve Demet Genişliği [16]

## Işıma Güç Yoğunluğu

Antenin uzak alan bölgesinde birim yüzey alandan ışılan güç, ışımaya güç yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır. Birim yüzey alandan ( $ds$ ) geçen gücü gösteren vektöre Poynting vektörü denir. Poynting vektörü denklem (1) ile tanımlanmaktadır.

$$\mathbf{W} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad (\text{W/m}^2) \quad (1)$$

Burada ;  $\mathbf{W}$ : Anlık Poynting vektörü ( $\text{W/m}^2$ ) ;  $\mathbf{E}$ : Anlık Elektrik Alan Şiddeti ( $\text{V/m}$ ) ; ve  $\mathbf{H}$ : Anlık Manyetik Alan Şiddeti ( $\text{A/m}$ ) olarak tanımlanmaktadır.

Poynting vektörü, ortalama ışımaya güç yoğunluğu olarak da ifade edilir ve denklem (2)'de gösterildiği gibi de hesaplanabilir [16].

$$\mathbf{W}_{\text{ort}}(x,y,z) = \frac{1}{2} \text{Re}[\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*] \quad (\text{W/m}^2) \quad (2)$$

Antenden yayılan ortalama güç  $P_{ışılma}$  ile ifade edilir ve Toplam ışılın güç denklem (3) ile ifade edilir. Burada  $W$ , Poynting vektörüdür.

$$P_{ışılma} = P_{ortalama} = \frac{1}{2} \oint_S W_{ışılma} ds = \frac{1}{2} \oint_S \text{Re}(E \times H^*) ds \quad (3)$$

### Işıılma Şiddeti

Işıılma Şiddeti; belirli bir doğrultuda birim katı açılı başına antenden yayılan güç olarak tanımlanır ve denklem (4) ile ifade edilir. Uzak alan parametresidir. Işıılma yoğunluğunu, mesafenin karesiyle çarparak ışılma şiddetini verir.

$$U = r^2 \times W_{ışılma} \quad (4)$$

Burada ;  $U$ : Işıılma şiddeti (W / birim katı açılı);  $W_{ışılma}$ : Işıılma yoğunluğu (W / m<sup>2</sup>) olarak tanımlanmaktadır.

İzotropik bir kaynağın ışılma şiddeti ( $U_0$ ) açılardan ( $\theta, \phi$ ) bağımsızdır ve denklem (5) ile ifade edilir. Denklem (5)'de  $P_{ışılma}$  denklem (6) ile ifade edilir.

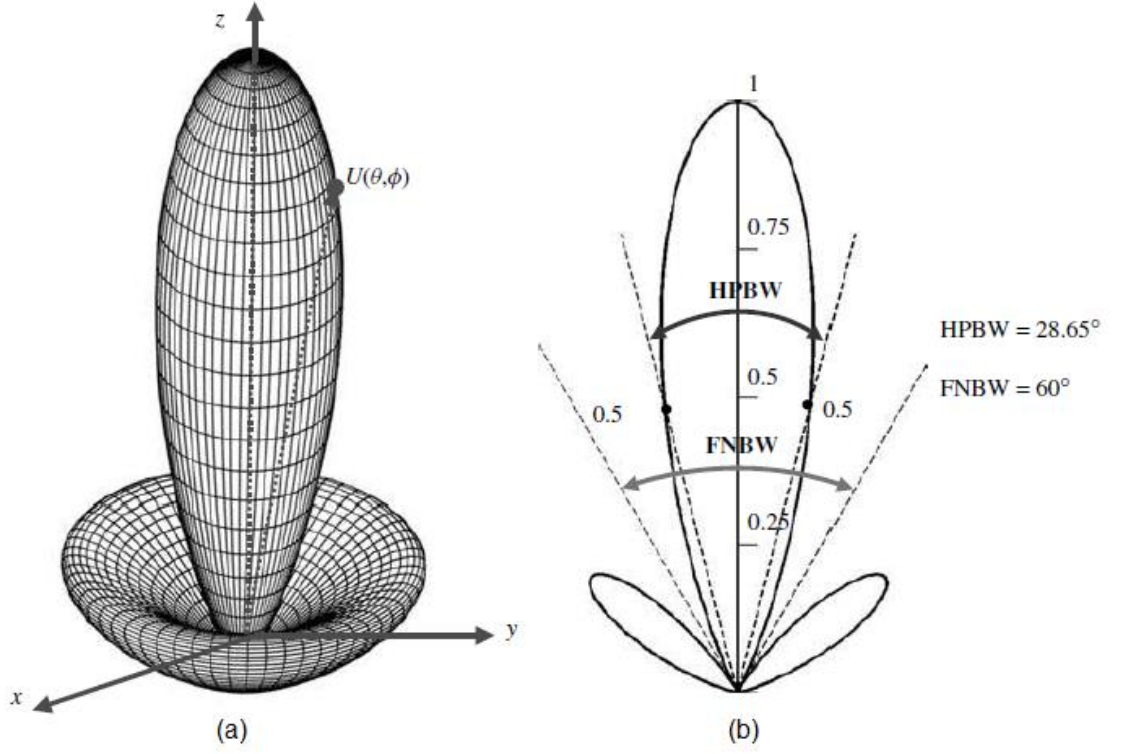
$$U_0 = \frac{P_{ışılma}}{4\pi} \quad (5)$$

$$P_{ışılma} = \oint_{\Omega} U_0 d\Omega = U_0 \oint_{\Omega} d\Omega = 4\pi U_0 \quad (6)$$

Burada ;  $d\Omega$ : Katı açılı elemanı olarak tanımlanmaktadır.

### Hüzme Genişliğı

Işıılma örüntüsü üzerinde karşılıklı özdeş iki nokta arasındaki açılısal değışime hüzme genişliğı denir. Yarı güç hüzme genişliğı (Half Power Beam Width (HPBW)), ışılma şiddetinin yarıya düştüğü noktalar arasındaki açılısal değışimdir. Birinci sıfır hüzme genişliğı (First Null BeamWidth (FNBW)) örüntünün birinci sıfırları arasındaki açılısal değışimidir.



Şekil 3  $U(\theta) = \cos^2(\theta)\cos^2(3\theta)$  'nın Güç Örüntüleri [16]

### Yönlülük

Yöneltilik, antenin ışma örüntüsünün ne kadar yönlü olduğunu gösteren bir parametredir. IEEE standartlarında yöneltilik kavramı [16] şu şekilde tanımlanmaktadır: “ Antenden belirli bir yönde yapılan ışma şiddetinin tüm yönlerde yapılan ortalama ışma şiddetine orandır. Ortalama ışma şiddeti, anten tarafından yayılan toplam gücün  $4\pi$  ' ye bölünmesine eşittir.”

Başka bir ifadeyle yöneltilik: verilen bir yönde izotropik olmayan bir kaynağın ışma şiddetinin izotropik bir kaynağın ışma şiddetine oranı olarak da tanımlanabilir ve denklem (7) ile ifade edilir.

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_0(\theta, \phi)} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{\text{ışma}}} \quad (7)$$

Burada ; D: Yönlülük ;  $U_0$ : İzotropik kaynağın ışma şiddeti; U: Işma şiddetidir.

Yön belirtilmemişse, yönelticilik maksimum ışıma şiddeti yönünde ifade edilir. Maksimum yönlülük olan  $D_0$  ise, antenin en yoğun ışıma yaptığı yöndeki ışıma şiddetinin tüm yönlerdeki ortalama ışıma şiddetine oranıdır ve denklem (8) ile hesaplanır.

$$D_0(\theta, \phi) = \frac{U_{\max}(\theta, \phi)}{U_0(\theta, \phi)} = \frac{4\pi U_{\max}(\theta, \phi)}{P_{\text{ışıma}}} \quad (8)$$

## Verimlilik

Verimlilik kavramı, antenin giriş terminallerindeki ve yapısı içindeki kayıpları dikkate almaktadır. Toplam anten verimi denklem (9) ile hesaplanmaktadır:

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (9)$$

Burada,  $e_0$  toplam verimliliği,  $e_r$  yansıma verimliliğini,  $e_c$  iletim verimliliğini ve  $e_d$  dielektrik verimliliği ifade etmektedir. Yansıma verimliliği  $\Gamma$  yansıma katsayısı ( $S_{11}$ ) ile doğrudan ilgilidir. Yansıma verimi denklem (10) ile ifade edilmektedir:

$$e_r = (1 - |\Gamma|^2) \quad (10)$$

$e_c$  ve  $e_d$  terimlerinin hesaplanması çok karmaşıktır ve bu terimler genellikle ölçümlerle elde edilmektedir.

Genel anten verimliliği, bir anten sisteminde mevcut olan tüm farklı kayıpları açıklayan bir katsayıdır.  $e_r$  ile ifade edilen empedans uyumsuzluklarından kaynaklanan kayıpları,  $e_c$  iletim kaybını,  $e_d$  ise dielektrik kaybı ifade etmektedir.

## Kazanç

Anten kazancı hem yönelticilik hem de verimlilik kavramlarını doğrudan içinde barındırır. IEEE anten standardında, mutlak anten kazancı “Belirli bir yöndeki ışıma şiddetinin, anten tarafından yayılan gücün izotropik bir kaynaktan sağlanması durumundaki ışıma şiddetine oranıdır.” şeklinde tanımlanmaktadır[16]. IEEE anten terimleri standardında anten kazancı terimi, empedans uyumsuzluklarından ve polarizasyon uyumsuzluklarından kaynaklanan kayıp terimlerini içermemektedir[16].

Anten kazancı denklem (11) ile ifade edilmektedir.

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} \left[ \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{ışıma}} \right] = e_{cd} D(\theta, \phi) \quad (11)$$

Burada ; G: Kazanç;  $e_{cd}$ : Verim; U: Işıma şiddeti;  $P_{ışıma}$ : Toplam ışıyan güç; D: Yönlülüktür.

### Giriş Empedansı

Anten terminallerindeki gerilimin akıma olan oranına giriş empedansı denir. Anten empedansı denklem (12) ile ifade edilir.

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (12)$$

Z: Anten empedansı ( $\Omega$ )

R: Anten direnci ( $\Omega$ )

X: Anten reaktansı ( $\Omega$ )

### Duran Dalga Oranı

Vericinin veya alıcının bir antene güç vermesi için, vericinin veya alıcının ve iletim hattının empedansının anten empedansına uygun olması gerekir.

VSWR, antenin bağlı olduğu vericiye, alıcıya veya iletim hattına ne kadar uyumlu olduğunu gösteren sayısal bir parametredir. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio), Gerilim duran dalga oranı olarak ifade edilir. Antenden yansıyan gücü tanımlayan yansıma katsayısının bir fonksiyonudur. Yansıma katsayısı veya geri dönüş kaybı verilirse, VSWR aşağıdaki formülle tanımlanır:

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (13)$$

İyi bir empedans uyumu için  $VSWR \leq 2$  olması tasarım kriteri olarak kabul edilmektedir.

### Geri Dönüş Kaybı

Antene iletilen gücün, antenden yansıyan güce oranı geri dönüş kaybı (Return Loss (RL)) olarak tanımlanmaktadır. RL denklem (14) ile hesaplanmaktadır.

$$RL \text{ (dB)} = 10 \log_{10} \frac{P_{in}}{P_r} \quad (14)$$

Burada ;  $P_{in}$ : İletilen güç ,  $P_r$ : Yansıyan güç olarak tanımlanmaktadır.

Yansıma katsayısı  $\Gamma$  ,  $S_{11}$  olarak da tanımlanmakta ve denklem (15) ile de tanımlanmaktadır.

$$Geri \ Dönüş \ Kaybı = -10 \log|S_{11}|^2 = -20 \log(\Gamma) \quad (15)$$

İyi bir empedans uyumu sağlamak için yansıma katsayısının ( $S_{11}$ ) -10 dB'den küçük olması istenir. Antenin bant genişliğinin tanımlanmasında -10 dB'den düşük geri dönüş kaybına sahip frekans aralığı dikkate alınır.

### **Polarizasyon**

Antenin belli bir yöndeki polarizasyonu “antenden yayılan dalganın polarizasyonu” olarak tanımlanır. Elektrik alan vektörünün zamanla değişen yönünü ve göreceli büyüklüğünü tanımlayan elektromanyetik dalganın özelliğidir.

### **Tel (Wire) Anten**

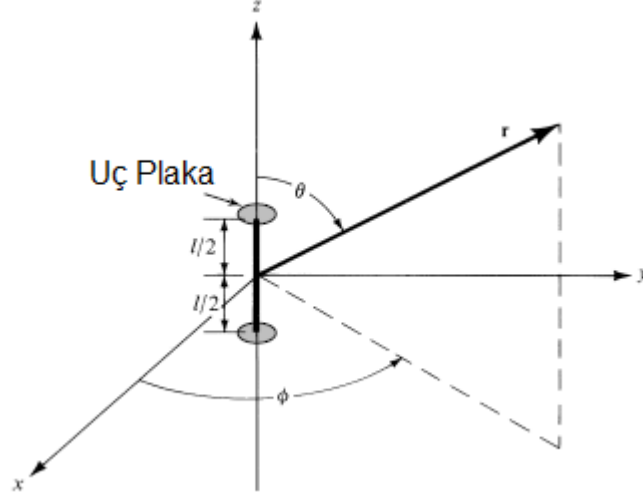
Doğrusal ve eğimli tel (wire) antenler birçok uygulamada kullanılır. Basit, maliyeti düşük ve birden fazla uygulamada kullanılan en eski anten türünden biridir. Bu alt bölümde tel antenler hakkında çok özet bilgi sunulacaktır.

### **Sonsuz Küçüklükteki Dipol Anten (Infinitesimal Dipole Antenna)**

Sonsuz küçüklükteki doğrusal bir tel anten, koordinat sisteminin orijinine simetrik olarak yerleştirilir ve Şekil 4'deki gibi z eksenini boyunca yönlendirilir. Sonsuz küçüklükteki dipol antenlerin uzunlukları genellikle  $l \ll \lambda$  şeklindedir. Sonsuz küçüklükteki dipol antenlerin uzunlukları  $l \leq \lambda / 50$  olarak kabul edilir. Bu antenler çok pratik olmasalar da, kapasitör plakası olarak kullanılırlar. Karmaşık geometrilere sahip yapıların küçük parçalarını oluştururlar. Dipol anten üzerindeki akımın homojen olarak dağılması amacıyla



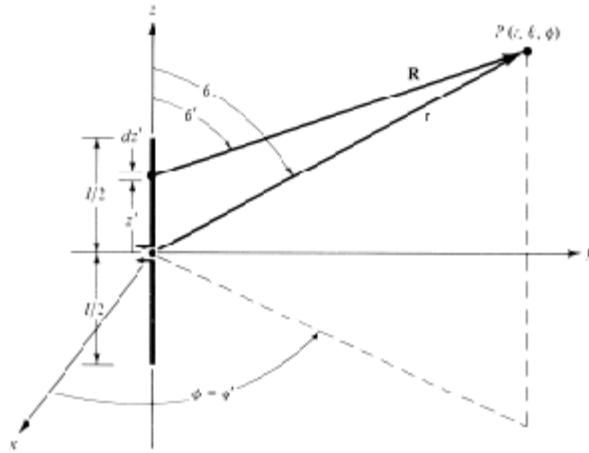
uç plakalar kapasitif yükleme yapmak için kullanılır. Uç plakalar çok küçük olduğundan, üzerindeki ışınım ihmal edilebilir. Anten uzunluğu çok küçük ( $l \ll \lambda$ ) ve incedir ( $a \ll \lambda$ ). Akımın anten üzerindeki değişimi sabittir. ( $l$ : dipol antenin boyu,  $a$ : dipol anten çapı)



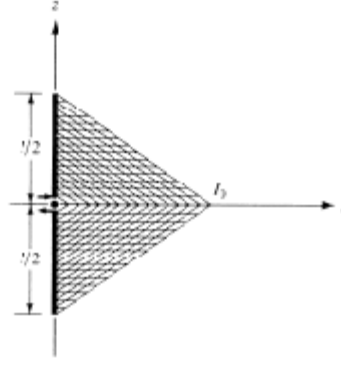
Şekil 4 Sonsuz Küçüklükteki Dipol Anten[16]

### Küçük Dipol Anten (Small Dipole Antenna)

Küçük dipol antenlerin uzunlukları genellikle  $\lambda/50 < l \leq \lambda/10$  dur. Dalganın sonunda, akım düzgün bir şekilde sifıra gitmektedir. Akım dağılımı sinüzoidaldir. Tel antenin uçlarına doğru azalan akım, yüklenmenin azalmasını ve tel yüzeyinde görünmesini gerektirir. Küçük dipol antenin geometrisi ve akım dağılımı Şekil 5'de görüldüğü gibidir.



(a) Dipol Anten Geometrisi



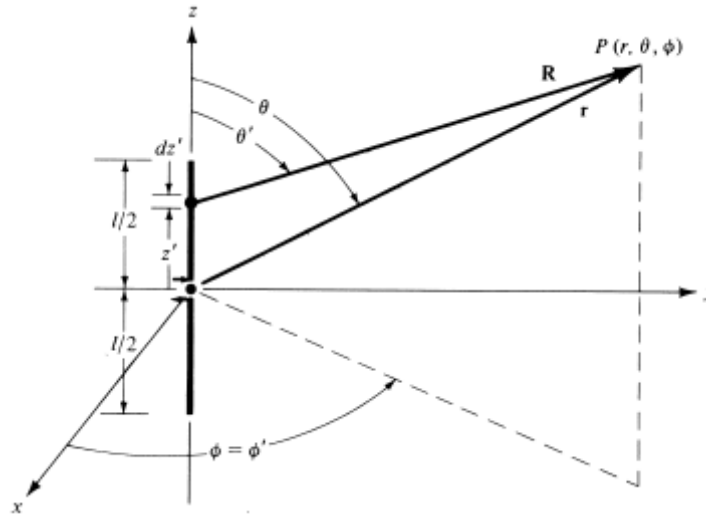
(b) Akım Dağılımı

Şekil 5 (a) Küçük Dipol Anten Geometrisi ve (b) Akım Dağılımı [16]

### Sonlu Uzunluğa Sahip Dipol Anten (Finite Length Dipole Antenna)

Matematiksel karmaşıkları azaltmak için, dipol antenin ihmal edilebilir bir çapa sahip olduğu varsayılır. Bu çap, üzerinde çalışılan dalga boyundan çok daha küçük seçilir. İdealde çapı sıfırdır. Sonlu uzunluğa sahip dipol antenlerin uzunlukları genellikle  $\gg \lambda/10$  dur. Şekil 6'da Sonlu uzunluğa sahip dipol anten gösterilmektedir.

Akım dağılımı antenin merkezinden uçlarına doğrudur. Anten merkezden besleneceği ve akımın uç noktalarda kaybolacağı varsayılır.



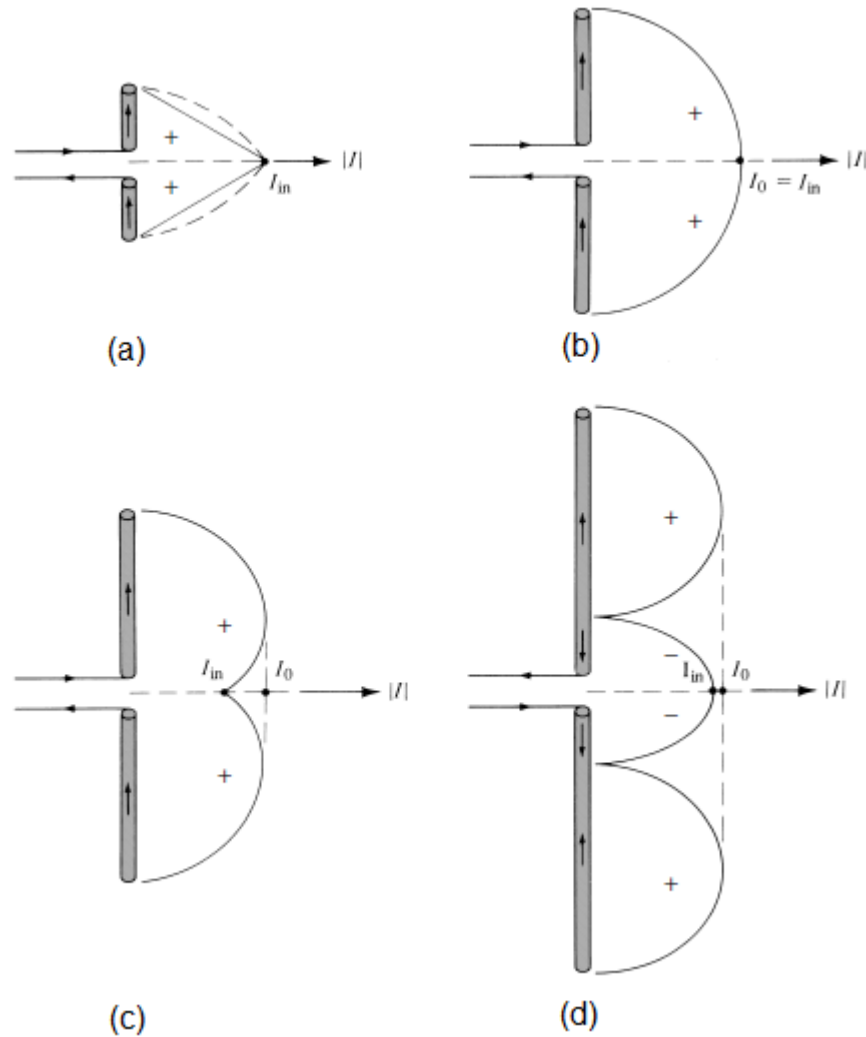
Şekil 6 Sonlu Uzunluğa Sahip Dipol Anten Geometrisi [16]

## Dipol Anten Akım Dağılımı

Yarıçapı ( $r=0$ ) olan çok ince bir dipol anten için akım dağılımı denklem (16) ile verilmektedir [16].

$$I_e(x' = 0, y' = 0, z') = \begin{cases} \hat{a}_z I_0 \sin \left[ k \left( \frac{l}{2} - z' \right) \right], & 0 \leq z' \leq l/2 \\ \hat{a}_z I_0 \sin \left[ k \left( \frac{l}{2} + z' \right) \right], & -l/2 \leq z' \leq 0 \end{cases} \quad (16)$$

Antenin merkez beslemeli iken, akım uç noktalarda ( $z' = \pm l/2$ ) kaybolur. Merkezden beslenen bir dipol antenin uç noktalarında sinüsoidal akım dağılımı sıfırlanır. Dipol antenler için akım dağılımı Şekil 7'deki gibidir [16].



Şekil 7 : Dipol Anten Akım Dağılımı (a)  $l \ll \lambda$  , (b)  $l = \lambda/2$  , (c)  $\lambda/2 < l < \lambda$ ,

(d)  $\lambda < l < 3\lambda/2$  Akım Dağılımı [16]

## Dipol Anten Işıma Güç Yoğunluğu ve Işıma Şiddeti

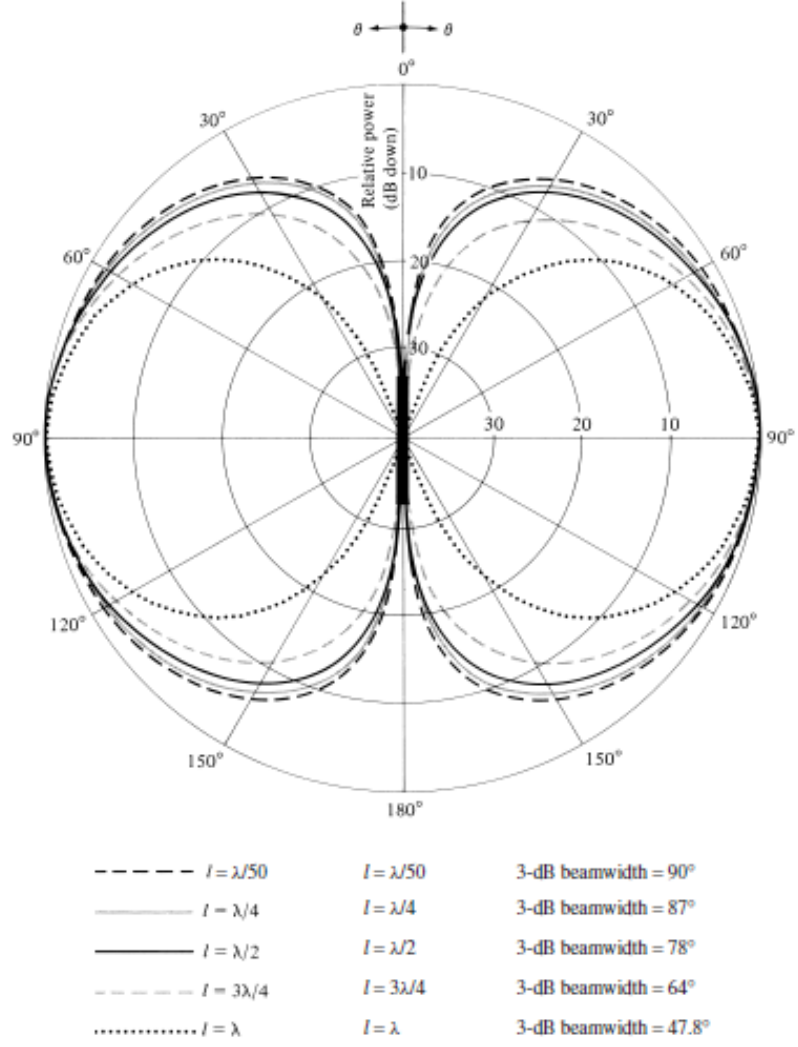
Ortalama ışma güç yoğunluğu olarak da ifade edilen Poynting Vektörü Dipol antenler için denklem (17) ile hesaplanır [16]. Poynting vektörü kullanılarak bulunan Dipol anten ışma şiddeti denklem (18) ile hesaplanır.

$$W_{ort} = \frac{1}{2} Re[E \times H^*] = \frac{1}{2} Re[\widehat{a}_\theta E_\theta \times \widehat{a}_\varphi H_\varphi^*] = \frac{1}{2} Re\left[\widehat{a}_\theta E_\theta \times \widehat{a}_\varphi \frac{E_\theta^*}{\eta}\right]$$

$$W_{ort} = \widehat{a}_r W_{ort} = \widehat{a}_r \frac{1}{2\eta} |E_\theta|^2 = \widehat{a}_r \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2 r^2} \left[ \frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cos\theta\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\sin\theta} \right]^2 \quad (17)$$

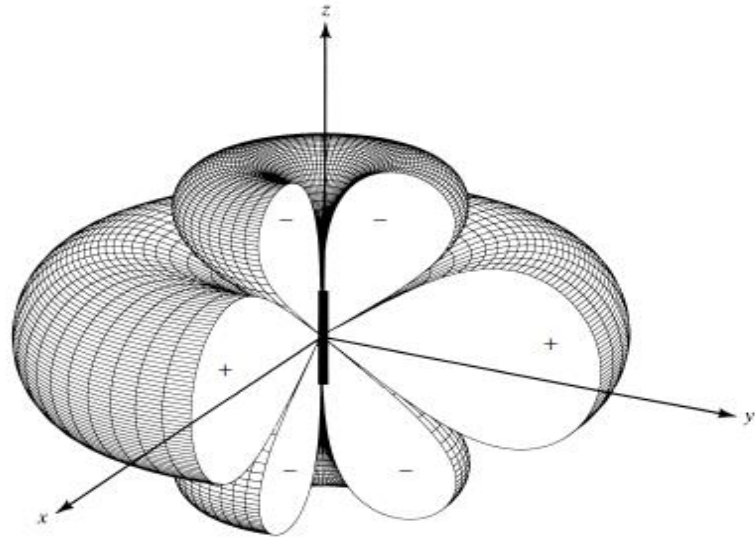
$$U = r^2 W_{ort} = \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2} \left[ \frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cos\theta\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\sin\theta} \right]^2 \quad (18)$$

$\lambda/4$ ,  $\lambda/2$ ,  $3\lambda/4$  ve  $\lambda$  uzunluğuna sahip dipol antenlerin 0 dB normalize edilmiş elevasyon güç örüntüsü Şekil 8'deki gibidir. Dipol antenlerin boyu arttıkça, demet genişliği azalır. Dolayısıyla, antenin boyu arttıkça antenin yönlülüğü de artmaktadır. 3-dB demet genişliği Şekil 8'in altında yazılan değerlere sahip olduğu bulunmuştur [16].

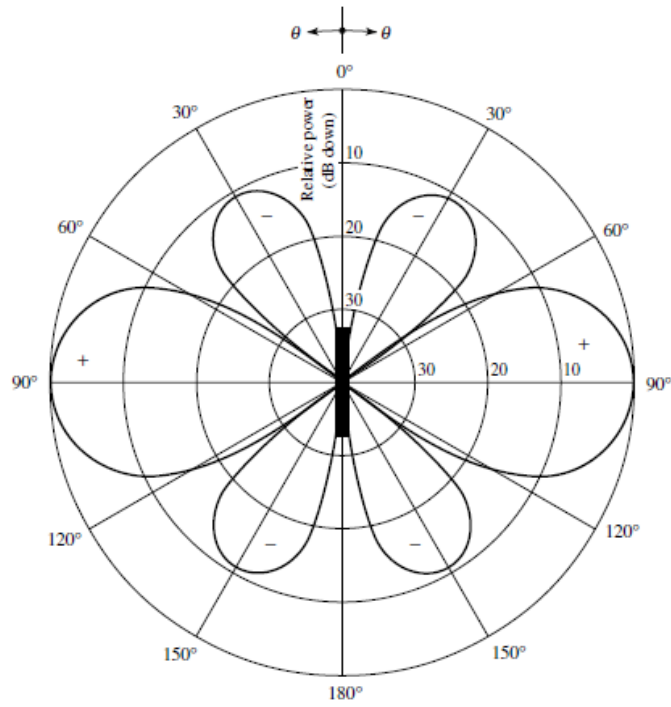


Şekil 8 Dipol Antenin Elevasyon Düzlemindeki Genlik Örüntüsü [16]

Diğer yandan, dipol anten uzunluğu arttıkça ( $l > \lambda$ ), lobların sayısı artmaya başlar. Bu kapsamda  $l = 1.25\lambda$  uzunluğundaki dipol anten normalize güç örüntüsü sırasıyla üç boyutlu düzlemde ve iki boyutlu düzlemde Şekil 9 ile verilmektedir [16].



(a) Three-dimensional

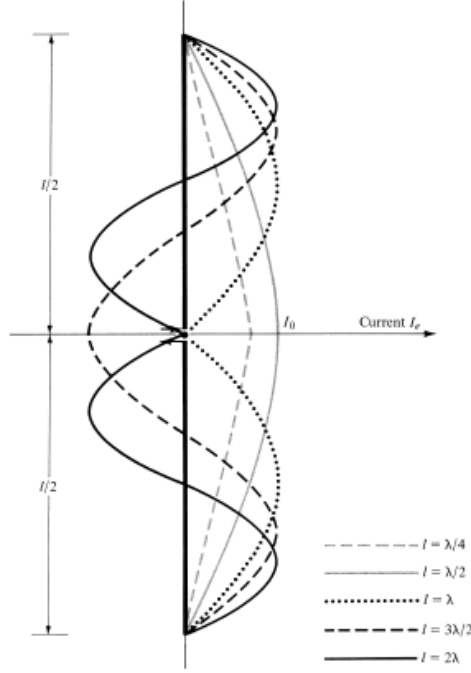


(b) Two-dimensional

Şekil 9 Sahip Dipol Antenin Genlik Örüntüsü [16]

## Dipol Anten Akım Dağılımı

$l = \lambda/4, \lambda/2, \lambda, 3\lambda/2, 2\lambda$  uzunluklarına sahip dipol antenlerin akım dağılımı Şekil 10 ile verilmektedir [16].



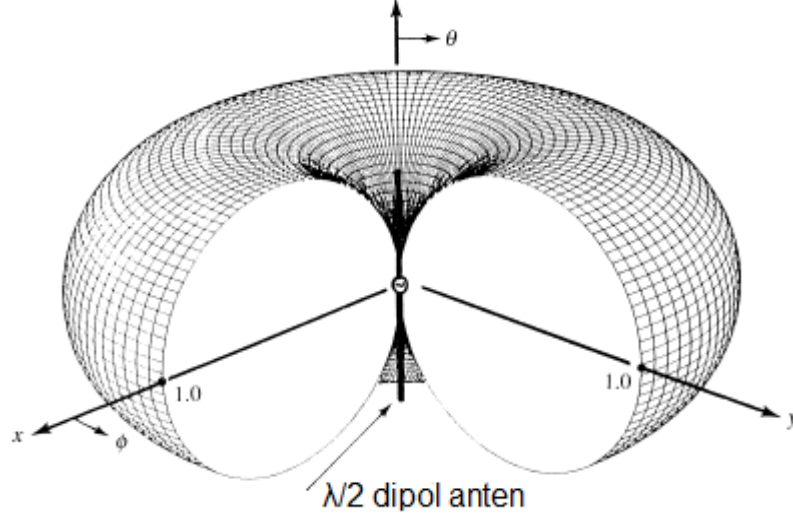
Şekil 10 Tel Antenin Akım Dağılımı[16]

## Yönlülük

Dipol antenin boyu arttıkça, ışınma örüntüsü daha yönlü hale gelmeye başlar. Toplam uzunluğu bir dalga boyundan büyük olduğunda lob sayısı artar ve anten yön özelliklerini kaybeder. Yönlülük parametresinin hesaplanmasına ilişkin detaylar [16] 'da verilmektedir.

## Yarım Dalga Dipol Anten (Half Wavelength Dipole Antenna)

Yarım dalga dipol anten, anten uzunluğu  $l = \lambda/2$  olan dipol antendir. En yaygın kullanılan dipol anten türüdür. Yarım dalga dipol antenin ışınma direnci 73 ohm'dur. İletim hattı 50 ohm veya 75 ohm olan hatlara, yakın ışınma direncine sahip olduğu için empedans uyumunun sağlanması da daha kolaydır. Dolayısıyla bu anten türünü daha avantajlı hale getirmiştir. Şekil 11'de  $l = \lambda/2$  yüksekliğine sahip bir dipol antenin ışınma örüntüsü yer almaktadır [16].



Şekil 11  $l = \lambda/2$  Işıma Örüntüsü[16]

### Monopol (Tek kutuplu) Anten (Monopole Antenna)

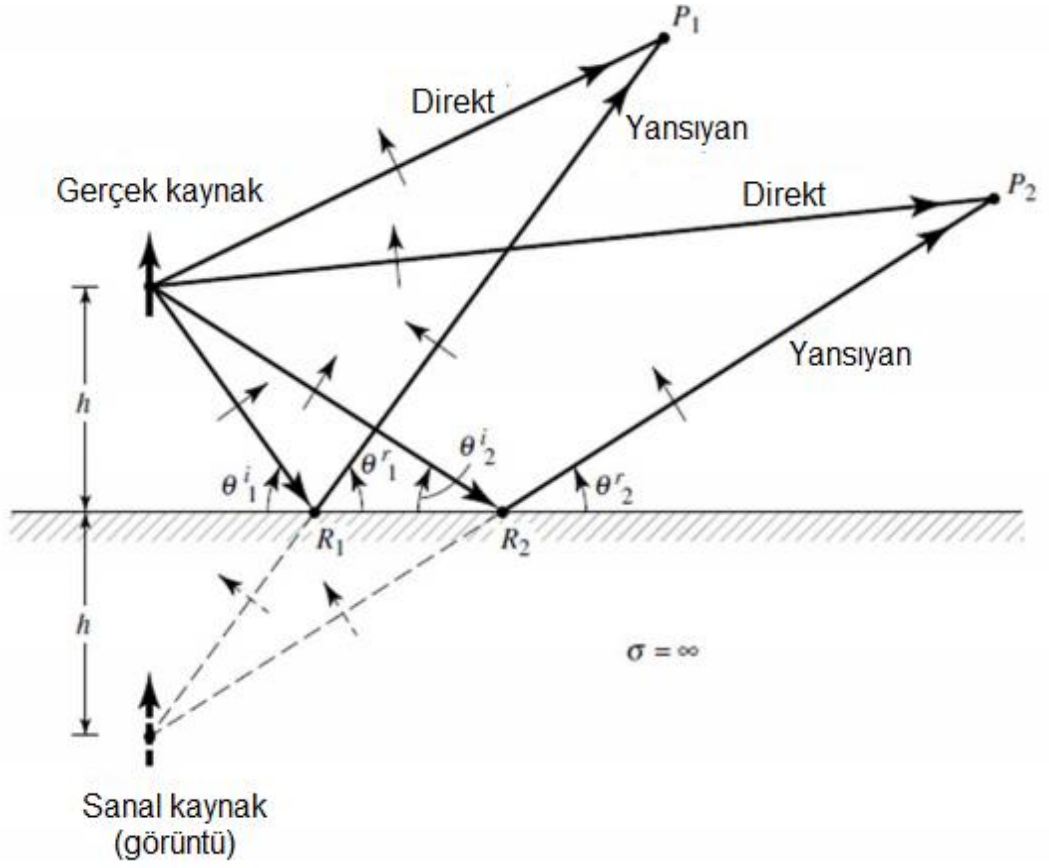
Anten uzunluğu  $l = \lambda/4$  dır. Monopol anten, merkez besleme noktasından ikiye bölünmüş bir dipol antendir. Yer düzlemine (ground plane) karşı beslenen dipoldür.

Mükemmel yer düzlemi (Perfect ground plane), idealde sonsuz büyüklükte ve kusursuz iletkenliğe sahip olan yer düzlemidir. Işıma yapan herhangi bir cisimden yayılan enerji mükemmel yer düzleminden (perfect ground plane) yansır. Yansıyan enerjinin miktarı ve yönü mükemmel yer düzleminin (perfect ground plane) geometrisi ve yapısal parametreleri ile kontrol edilir [16].

Antenin sonsuz büyüklükteki düzlemsel bir iletken üzerindeki performansını analiz etmek ve yansımaları hesaba katmak için sanal kaynaklar (virtual source) olduğu varsayılır. Bu kaynaklar aslında var olmayan kaynaklardır. Gerçek kaynaklarla birlikte eşdeğer bir sistem oluşturmak için kullanılan kaynaklardır.

Şekil 12 'de dikey bir dipol anten, sonsuz büyüklükte, düz, mükemmel elektrik iletkenliğine sahip bir düzlem üzerine  $h$  yüksekliğinde yerleştirilmiştir.





Şekil 12 Dikey Dipol Antenin Işıması[16]

Monopol anten esasen dipol antenin özelleşmiş bir formudur. Genel dipol anten için akım dağılımı, güç yoğunluğu, ışıma yoğunluğu, ışıma direnci, yönlülük ve giriş direnci ile ilgili detaylar [16]'da verilmektedir.