

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK GENİŞ BANTLI MİLİMETRE DALGA VİVALDİ ANTEN**

**TAHİR DURMUŞOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
HABERLEŞME PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
YRD. DOÇ. DR. HAMİD TORPİ**

**İSTANBUL, 2016**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK GENİŞ BANTLI MİLİMETRE DALGA VİVALDİ ANTEN**

Tahir DURMUŞOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 28.11.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Yrd. Doç. Dr. Hamid TORPİ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Yrd. Doç. Dr. Hamid TORPİ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet KIZILAY  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Taha İMECİ  
İstanbul Ticaret Üniversitesi



Bu alışma, C2TECH Bilişim Teknolojileri SAN. ve TİC. A.ř. işbirliği ile geliştirilen ve TÜBİTAK' ın 1140054 no' lu " Milimetre Dalga Boyunda Kısa Mesafede Yüksek Veri İletimi Sağlayan Radyolinklerin Geliştirilmesi" isimli proje kapsamında desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

---

Günümüzde mikrodalga, millimetre dalga ve RF teknolojileri hızla yaygınlaşmaktadır. Kablosuz haberleşmenin birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Mobil telefonlar, radyo, WiFi gibi kablosuz ağlar, otomotiv sektöründe araç radarları, uydu haberleşmesi, uzaktan algılayan sistemler ve mikrodalga görüntüleme gibi çok sayıda güncel uygulama bulunmaktadır. Tüm bu uygulamalar RF kablosuz sistemleri içermektedir. Bu tezde tasarımı, üretimi ve ölçümleri yapılan anten, millimetre dalga frekanslarında çalışmaktadır. Son yıllarda milimetre dalga frekansının kullanımı oldukça popüler olmaktadır. Milimetre dalga frekans kullanımının hızla artmasının başlıca nedeni çok geniş frekans bandı imkânı sağlamasıdır. Çok geniş kullanımının başlıca avantajı yüksek hızlarda veri aktarabilmesidir. Bunların yanında en belirgin dezatanjı ise havadaki kayıplarının çok yüksek olması nedeniyle kısa mesafe haberleşme için uygun olmasıdır.

RF mühendisliği başta olmak üzere hiçbir konuda benden desteğini esirgemeyen, tanıdığım en iyi insanlardan ve mühendislerden olan değerli abim Kerem ÖZSOY' a; Ar-Ge'nin önemini görerek genç öğrencilerin destekçisi olan C2TECH firması genel müdürü sayın Dr. Cüneyd FIRAT' a; Tübitak MİLTAL çalışanlarına; lisans yıllarımdan bu yana bana her konuda destek olan, beni bir an olsun yalnız bırakmayan çok kıymetli hocam Hamid TORPİ' ye; proje ekip arkadaşım Ersin USTA ve proje yöneticim Hüseyin YILDIRIM'a; son olarak desteğini her daim hissettiren, aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

ARALIK, 2016

Tahir DURMUŞOĞLU

## İÇİNDEKİLER

|                                      | Sayfa |
|--------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ .....                  | vii   |
| KISALTMA LİSTESİ .....               | viii  |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                   | ix    |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                | xi    |
| ÖZET.....                            | xii   |
| ABSTRACT .....                       | xiv   |
| <b>BÖLÜM 1</b>                       |       |
| GİRİŞ.....                           | 2     |
| 1.1    Literatür Özeti .....         | 2     |
| 1.2    Tezin Amacı .....             | 3     |
| 1.3    Orijinal Katkı.....           | 3     |
| <b>BÖLÜM 2</b>                       |       |
| GENEL ANTEN PARAMETRELERİ .....      | 5     |
| 2.1    Anten Kazancı .....           | 5     |
| 2.2    Işıma Direnci ve Verimi ..... | 7     |
| 2.3    Giriş Empedansı .....         | 7     |
| 2.4    Işıma Deseni.....             | 8     |
| 2.5    Anten Etkin Yüzeyi .....      | 9     |
| 2.6    Polarizasyon .....            | 10    |
| 2.6.1    Lineer Polarizasyon.....    | 10    |
| 2.6.2    Eliptik Polarizasyon.....   | 10    |
| 2.7    Yakın ve Uzak Alan .....      | 11    |
| <b>BÖLÜM 3</b>                       |       |
| VİVALDİ ANTEN .....                  | 13    |

|   |  |    |           |
|---|--|----|-----------|
| 3.1   | Vivaldi Anten Çeşitleri.....                                     | 14 |           |
| 3.1.1   | Eş-Düzlemlı Vivaldi Anten.....                                   | 14 |           |
| 3.1.2   | Antipodal Vivaldi Anten.....                                     | 15 |           |
| 3.1.3   | Dengeli Vivaldi Anten .....                                      | 17 |           |
| 3.2   | Vivaldi Antenin Avantaj ve Dezavantajları .....                  | 18 |           |
| 3.2.1   | Vivaldi Antenin Avantajları .....                                | 18 |           |
| 3.2.2   | Vivaldi Antenin Dezavantajları .....                             | 19 |           |
| 3.3   | Dizi Anten.....  | 19 |           |
| 3.3.1   | N-Elemanlı Dizi Anten.....                                       | 22 |           |
| 3.3.2   | Dizi Anten Geometrileri.....                                     | 23 |           |
| <b>BÖLÜM 4</b>  |  |    |           |
| <b>MİLİMETRE DALGADA VİVALDİ ANTEN BESLEME TEKNİKLERİ .....</b> |  |    | <b>25</b> |
| 4.1   | Mikroşerit Hat Besleme .....                                     | 25 |           |
| 4.2   | Konektör İle Mikroşerit Hat Besleme.....                         | 26 |           |
| 4.3   | Dalga Klavuzu İle mikroşerit hat besleme.....                    | 27 |           |
| <b>BÖLÜM 5</b>  |  |    |           |
| <b>VİVALDİ ANTEN TASARIMI VE PARAMETRİK ÇALIŞMA .....</b>       |  |    | <b>30</b> |
| 5.1   | CST ( Computer Simulation Technology) Programının Tanıtımı ..... | 31 |           |
| 5.2   | Eş-Düzlemlı Vivaldi Anten Tasarımı .....                         | 31 |           |
| 5.2.1   | Eş-Düzlemlı Vivaldi Anten Parametreleri .....                    | 33 |           |
| 5.3   | Eş-Düzlemlı Vivaldi Anten Lehimsiz Konektörü .....               | 35 |           |
| 5.4   | Eş-Düzlemlı Vivaldi Anten Simülasyon Sonuçları.....              | 37 |           |
| <b>BÖLÜM 6</b>  |  |    |           |
| <b>EŞ DÜZLEMLİ VİVALDİ ANTEN ÖLÇÜM SONUÇLARI.....</b>           |  |    | <b>43</b> |
| 6.1   | Eş-Düzlemlı Vivaldi Anten Tasarımı .....                         | 44 |           |
| 6.2   | Eş-Düzlemlı Vivaldi Anten Ölçüm Sonuçları.....                   | 47 |           |
| <b>BÖLÜM 7</b>  |  |    |           |
| <b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                  |  |    | <b>51</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>   |  |    | <b>52</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>  |  |    | <b>54</b> |

## SİMGE LİSTESİ

---

|           |                           |
|-----------|---------------------------|
| $G$       | Kazanç                    |
| $A_e$     | Etkin anten açıklığı      |
| $K_a$     | Anten açıklığı            |
| $e$       | Verimlilik                |
| $R_r$     | Antenin ışıma direnci     |
| $R_L$     | Antenin kayıp direnci     |
| $P_t$     | Antenin ışıma gücü        |
| $I$       | Anten üzerinden akan akım |
| $X_A$     | Depolanan enerji          |
| $\lambda$ | Dalga boyu                |
| $k$       | Dalga sayısı              |
| $S_{11}$  | Geri dönüş kaybı          |
| $c$       | Işık hızı                 |
| $\Phi$    | Faz farkı                 |
| $AF$      | Dizi faktörü              |
| $dB$      | decibels                  |
| $dB_i$    | decibels-isotropic        |

## KISALTMA LİSTESİ

---

|      |                                    |
|------|------------------------------------|
| AVA  | Antipodal Vivaldi Antenna          |
| BAVA | Balanced Antipodal Vivaldi Antenna |
| BW   | Bandwidth                          |
| CST  | Computer Simulation Technology     |
| FCC  | Federal Commucation Commission     |
| GHz  | Gigahertz                          |
| HPBW | Half Power Beam Width              |
| ISM  | Industrial Scientific Medical      |
| MHz  | Megahertz                          |
| mm   | Milimetre                          |
| PCB  | Printed Circuit Board              |
| RF   | Radyo Frekansları                  |
| TSA  | Tapered Slot Antenna               |
| UWB  | Ultra Wide Band                    |

## ŞEKİL LİSTESİ

|   | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 2. 1 Kaynak ile anten bağlantısı .....  | 8     |
| Şekil 2. 2 Polar koordinatlarda dipol antenin uzak alan ışınma deseni .....           | 9     |
| Şekil 2. 3 Lineer polarizasyon .....  | 10    |
| Şekil 2. 4 Dairesel polarizasyon .....  | 11    |
| Şekil 2. 5 Yakın ve uzak alan koşulları .....   | 12    |
| Şekil 3. 1 Mikroşerit İletim Hattı .....  | 14    |
| Şekil 3. 2 Eş-düzlemlili Vivaldi Anten Topolojisi .....                               | 15    |
| Şekil 3. 3 Antipodal Vivaldi Anten Topolojisi .....                                   | 16    |
| Şekil 3. 4 Işınma Düzlemleri Üzerindeki Frekan Dağılımı .....                         | 17    |
| Şekil 3. 5 (a) Şerit iletim Hattı, (b) Elektrik ve manyetik Alan Çizgileri .....      | 18    |
| Şekil 3. 6 Dengeli Vivaldi Anten .....  | 18    |
| Şekil 3. 7 Dizi Anten Topolojisi .....  | 21    |
| Şekil 3. 8 N elemanlı dizi ve parametreleri .....                                     | 22    |
| Şekil 3. 9 Lineer dizi geometrisi .....   | 23    |
| Şekil 3. 10 Düzlemsel dizi geometrisi .....   | 24    |
| Şekil 4. 1 SMA Tipi Konektör .....  | 26    |
| Şekil 4. 2 Konektör İle Hat Besleme .....   | 27    |
| Şekil 4. 3 Antipodal Finline Geçiş Hattı .....  | 28    |
| Şekil 5. 1 CST Çizim Örnekleri .....  | 31    |
| Şekil 5. 2 Eş-düzlemlili Vivaldi Anten Parametreleri .....                            | 35    |
| Şekil 5. 3 Lehimsiz Milimetre Dalga Konektör .....                                    | 36    |
| Şekil 5. 4 Anten ve Konektörün 3 Boyutlu Gösterimi .....                              | 37    |
| Şekil 5. 5 Antenin S11 simülasyon Grafiği .....                                       | 38    |
| Şekil 5. 6 Antenin VSWR Simülasyon Grafiği .....                                      | 39    |
| Şekil 5. 7 Yarıkli Vivaldi Anten ile Yariksiz Vivaldi Anten Işınma Desenleri .....    | 39    |
| Şekil 5. 8 Yarıkli Vivaldi Antenin Konektörlü ve Konektörsüz Işınma Desenleri .....   | 40    |
| Şekil 5. 9 Yarıkli ve Yariksiz Vivaldi Antenlerin Işınma Desenleri .....              | 40    |
| Şekil 5. 10 Frekans Bandı Boyunca Ana Hüzme Kazancı .....                             | 40    |
| Şekil 5. 11 Eş-Düzlemlili Vivaldi Anten Üzerinde Farklı Yarık Modelleri .....         | 41    |
| Şekil 5. 12 Eş-Düzlemlili Vivaldi Anten Farklı Yarık Modellerinin Işınma Deseni ..... | 42    |
| Şekil 5. 13 Eş-Düzlemlili Vivaldi Anten Farklı Yarık Modellerinin S11 Grafiği .....   | 42    |
| Şekil 6. 1 Eş-Düzlemlili Vivaldi Antenin Işınma Düzlemi .....                         | 45    |
| Şekil 6. 2 Eş-Düzlemlili Vivaldi Antenin Besleme Hattı .....                          | 46    |
| Şekil 6. 3 Geliştirilen Eş-Düzlemlili Vivaldi Antenin Işınma Düzlemi .....            | 46    |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 6. 4 S11 Ölçüm Sonucu ve Simülasyon Sonucunun Karşılaştırılması .....                           | 48 |
| Şekil 6. 5 Yarıklı ve Yarıksız Eş-Düzlemlı Vivaldi Antenın Işıma Deseni Ölçüm Sonucu...               | 48 |
| Şekil 6. 6 Yarıklı Eş-Düzlemlı Vivaldi Antenın Ölçüm ve Simülasyon Sonucunun Karşılaştırılması .....  | 49 |
| Şekil 6. 7 Yarıksız Eş-Düzlemlı Vivaldi Antenın Ölçüm ve Simülasyon Sonucunun Karşılaştırılması ..... | 50 |



## ÇİZELGE LİSTESİ

---

|  | Sayfa |
|--|-------|
| Çizelge 5. 1 Kullanılan Malzemenin Teknik Özellikleri .....        | 32    |
| Çizelge 5. 2 Mikroşerit Hat Parametreleri .....                    | 33    |
| Çizelge 5. 3 Tasarlanan Mikroşerit Hattın Fiziksel Değerleri ..... | 33    |



## ÇOK GENİŞ BANTLI MİLİMETRE DALGA VİVALDİ ANTEN

Tahir DURMUŞOĞLU

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hamid TORPİ

Günümüzde milimetre dalga frekanslarında yapılan uygulamaların sayısı hızla artmaktadır. Milimetre dalga frekansları kablosuz haberleşme, kısa mesafe radar sistemleri ve otomotiv sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Milimetre dalga frekanslarının bu uygulamalarda çeşitli avantajları vardır. Yüksek hızlı veri aktarımı ve çözünürlük bunlara örnek olarak verilebilir. Ayrıca dalga boyunun küçük olması nedeniyle anten boyutları küçük olmaktadır. Bu sayede kolayca dizi anten olarak kullanılabilir. Bunların yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Özellikle 60 GHz frekans bandı civarında, atmosferik kayıplar yüksek olduğu için milimetre dalga uygulamaları genellikle kısa mesafeli olarak gerçekleştirilebilmektedir [1]. IEEE 802.11 ad standardı, 60 GHz merkez frekansı olan 7 GHz' lik lisanssız bir bant genişliği sunmaktadır [2]. Yüksek bant genişlikleri sayesinde saniyede 10 gigabitlik hızlara ulaşılabilir. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen Vivaldi anten, yakın mesafe milimetre dalga kablosuz haberleşmede kullanımını amaçlamaktadır.

Çok geniş bantlı Vivaldi antenler yüksek yönlendiricilik ve kararlı bir ışınım desenine sahip olması gibi birçok özellik sağlamaktadır. Bu karakteristiklerin yanında kolay üretilebilir ve düşük maliyetli olması, baskı devrelere kolay entegre edilebilmesi gibi özellikleri sayesinde dizi anten olarak kullanımı elverişlidir [3].

Vivaldi anten üzerinde bulunan üstel eğri profili sayesinde teoride çok geniş bir bant genişliği sağlanmaktadır [4]. Vivaldi antenler, yarıklı yüzey ile ışınım yapan kısım arasında yürüyen dalga prensibi ile çalışmaktadır [5].

Bu bildiride, eş-düzlemli Vivaldi antenin ışına yapan yüzeyi üzerine belli aralıklarda ve boyutlarda yarıklar açılarak antenin ışınma karakteristiğini iyileştirmek amaçlanmıştır. Açılan yarıklar sayesinde yüzey akımları yoğunluklu olarak antenin ön kısmına yönlendirilmiştir. Bu sayede antenin yan kulak seviyeleri düşürülerek ana hüzme genişliği arttırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Eş-Düzlemli Vivaldi Anten, Milimetre Dalga, Yüksek Hız, Çok Geniş Bant, Hüzme Genişliği



## **ULTRA WIDEBAND MILLIMETER WAVE VIVALDI ANTENNA**

Tahir DURMUŞOĞLU

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Yrd. Doç. Dr. Hamid TORPİ

Nowadays, the number of applications in millimeter wave frequencies has been rapidly increasing. Millimeter wave frequencies have been used in many applications like wireless communication, short range radar systems and the automotive industry. They have several advantages such as high speed data transfer and high resolution, in these applications. In addition, having small sized antennas is another advantage of the millimeter wave frequencies due to its short wavelength. Thanks to having small size in antennas, these frequencies can be used in array antennas easily. However, millimeter wave frequencies have also some disadvantages. The applications in millimeter wave frequencies have been generally realized in short distances because atmospheric losses are very high, in especially frequency band of 60 GHz [1]. The IEEE 802.11ad standard offers an unlicensed bandwidth of 7 GHz with a center frequency of 60 GHz [2]. Data rates can be increased upto 10 Gbps thanks to its wide bandwidth. The realized Vivaldi antenna in this thesis aims to be used in short distance wireless communication.

Vivaldi antennas, which have very wide frequency bands, have many features like high directivity and stable radiation pattern. In addition to these features, Vivaldi antennas are convenient to be used in array antennas thanks to its ease in manufacturing, low cost and easy integration to the printed circuits [3].

Vivaldi antennas provide very wide bandwidth in theory thanks to exponential curve profile on the antenna. Vivaldi antennas work with a traveling wave principle between the splitting surface and the radiating part [5].

In this thesis, it is aimed to improve the radiation characteristics of the antenna by opening the slots at certain intervals and sizes on the radiating surface of the coplanar Vivaldi antenna. Due to the slots opened, the surface currents are directed to the front of the antenna with high intensity. By directing the surface currents to the front of the antenna with high density, the main beam width is increased by reducing the side lobe levels of the antenna.

**Keywords:** Coplanar Vivaldi Antenna, Millimeter Wave, High Speed Communication, Very Wide Bandwidth, Beamwidth



#### 1.1 Literatür Özeti

Eş-düzlemlili Vivaldi anten ilk olarak Gibson tarafından 1979 yılında gösterilmiştir [4]. TSA (Tapered Slot Antenna) tanımı, Vivaldi anten için literatürde sıkça kullanılan bir isimdir. Gibson tasarımlarında üstel TSA topolojisini kullanmıştır. Antenin ışıma elemanı üstel bir biçimde açılarak besleme kısmından uzaklaşmaktadır.

Sonraki çalışmalarda Vivaldi anten topolojisi üzerinde farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan en önemlisini olan antipodal Vivaldi anten (AVA) E. Gazit tarafından 1988 yılında sunulmuştur [6]. Antenin besleme yapısı değiştirilerek daha geniş bantlı bir tasarım ortaya çıkmıştır. Vivaldi antenler lineer polarizasyonlu antenlerdir. Antipodal Vivaldi antende düşük çapraz polarizasyon sorunu bulunmaktadır.

J.D. Langley antipodal Vivaldi antenin sorunlarını azaltmaya yönelik olan dengeli antipodal Vivaldi anteni (BAVA) 1996 yılında literatüre kazandırmıştır [7]. Dengeli antipodal Vivaldi anten ile birlikte daha iyi bir çapraz polarizasyon sağlanmıştır.

Günümüze kadar yapılmış çalışmalarda bu üç tip vivaldi anten kullanılmıştır. Anten üzerindeki çeşitli çalışmalar ile anten boyutunda küçültme, kazancın artırılması, hüme şekillendirme ve bant genişliğinin artırılması gibi çalışmalar yapılmıştır.

Vivaldi antenler genellikle mikrodalga frekanslarındaki uygulamalarda rastlanmaktadır. Bu çalışma frekanslarında geniş bant isteği ve anten boyutlarının küçük olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bunların yanında dizi anten için uygun olması sayesinde yüksek kazanç isteyen uygulamalarda da tercih edilmektedir.

## 1.2 Tezin Amacı

Bu tez kapsamında çok geniş bantlı çalışabilen bir anten tasarımı amaçlanmaktadır. Son yıllarda mikrodalga ve milimetre dalga frekanslarının önemi artmaktadır. Özellikle 5G ile birlikte gigabitlik yüksek veri hızları amaçlanmaktadır. Veri hızlarının bant genişliği ile doğru orantısını göz önünde bulundurursak, gelecekteki uygulamaların daha fazla bant genişliğine ihtiyaçlarının olacağını ön görebiliriz.

Milimetre dalga frekansları geniş bantlı uygulamalar için oldukça uygundur. Tez kapsamında tasarımı ve üretimi yapılan eş-düzlemlili Vivaldi anten 60 GHz merkez frekansı olmak üzere çok geniş bantlı olarak çalışabilmektedir. 60 GHz bir ISM bandıdır. ISM bantları ücretsiz olarak kullanılabilen bantlardır.

Günümüzde kısa mesafeler için yüksek veri hızları ile çalışabilen modem uygulamaları vardır. Bu modemler 3 metrelik mesafelerde çalışmaktadır. Havadaki kayıpların çok yüksek olması nedeni ile anten kazancı önem kazanmaktadır. Tasarlanacak antenin bantın tamamında istenilen şartlarda çalışabilmesi gerekmektedir. Özellikle anten kazancının havadaki linki sorunsuz bir biçimde sağlanabilmesi için kazancının ve hüzmesinin yeterli değerlerde olması gerekir.

Bu amaçlarla tasarımı gerçekleştirilen eş-düzlemlili Vivaldi anten; geniş bantlı, yüksek veri hızlarına sahip ve milimetre dalga frekanslarında çalışabilen bir modeme çözüm olarak sunulmaktadır. Antenin yarı güç hüzme genişliğinin en az 50° ve 7 dBi'lık bir kazanç amaçlanmıştır.

## 1.3 Orijinal Katkı

Geliştirilen Vivaldi antende en büyük hedeflerden bir tanesi yataydaki hüzme genişliğinin artırılmasıdır. Bu amaçla yapılan çalışma neticesinde, eş-düzlemlili Vivaldi antene göre daha geniş bir yatay hüzme sağlanırken geri yansımaların da azaldığı gözlenmiştir.

Vivaldi antenin ışınım yüzeyine karşılıklı simetrik olacak şekilde eklenen boşluklar sayesinde yan kulak seviyeleri azaltılıp bu antenin ana hüzmedeki kazancı aynı kalacak şekilde yatay hüzmesi genişletilmiştir. Işınım yüzeyine açılan yarıklar sayesinde, yüzey akımlarının üstel eğriler üzerinde yoğunlaşması sağlanmıştır. Bu sayede yan kulakların

etkisi azaltılmıştır. Işıma yüzeyine açılan yarıkların başlangıç konumu, boyutları ve sayısı ışıma desenini etkilemektedir. Yarıkların sayısı arttırılarak yan kulak seviyesi düşürülebilir ancak bu ışıma deseninde bölgesel bozulmalara neden olmaktadır. Yarıkların boyutu küçüldükçe daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Üretim toleransları nedeniyle bu kısımda 0.2 mm'den daha küçük yarıklar açılmamıştır.



### GENEL ANTEN PARAMETRELERİ

Anten, akım ile elektromanyetik dalgayı iki yönlü de birbirine dönüştürebilen pasif bir elemandır. James Clerk Maxwell elektromanyetik dalgaların varlığını ortaya koymuştur. Ancak deneysel olarak kanıtlamamıştır. 1888 yılında Heinrich Hertz, antenler sayesinde elektromanyetik dalgaların varlığını kanıtlamıştır [8].

Antenler hem verici devrelerde hemde alıcı devrelerde kullanılabilir. Antenler verici devrelerde, sistem içerisinde üretilen akımın elektromanyetik dalgalara dönüşerek havaya aktarılmasını sağlamaktadır. Alıcı tarafta ise havadan gelen elektromanyetik dalgaları akıma dönüştürür.

#### 2.1 Anten Kazancı

Anten kazancı, antenin en önemli parametrelerinden bir tanesidir. Antenler pasif elemanlar olduğundan bilinen kazanç ifadesinden farklı bir kazanç ifadeleri vardır. Her yöne eşit ışımaya yapan bir referans antene göre yapılan karşılaştırmaya anten kazancı denir.

Yönlendiricilik ve gerçek kazanç diye ikiye ayrılır. Yönlendiricilik kazancı antenin kayıpsız bir şekilde yapabileceği maksimum ışımaya iken antenin kayıpları nedeniyle gerçek kazanç ile ışımaya yapar. Yönlendiricilik ve gerçek kazanç arasındaki fark anten empedans uyumsuzluklarından kaynaklanmaktadır. Gerçek kazanç ile yönlendiricilik kazancı arasında aşağıdaki gibi bir bağıntı vardır.

$D$ : Yönlendiricilik kazancı (Directivity gain)

$G$ : Gerçek kazanç (Realized gain)

e: Verimlilik

$$D = eG \quad (2.1)$$

Herhangi bir antenin yönlendiricilik kazancı şu şekilde hesaplanır.

$$D(\theta, \phi) = \frac{4\pi F(\theta, \phi)}{\iint F(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi} \quad (2.2)$$

Kazanç oranı dBi ile ifade edilir. Anten kazanç ölçümleri için yansız ortamlar gerekmektedir. Ölçümü yapılacak antenin çalışma frekansı MHz' ler mertebelerinde ise uzak alan ölçümleri açık alanda yapılması gerekir. Açık alanda yansımaya sebep olacak iletken malzemeler bulunmamalıdır. Eğer antenin çalışma bandı mikrodalga veya milimetre dalga frekanslarında ise açık hava ortamına gerek kalmadan laboratuvar da ölçümler yapılabilir. Uzak ve yakın alan için anten ışın deseni değişmektedir. Genellikle yapılan ölçümler uzak alan koşuluna göre yapılır. Uzak alan, yakın alana göre hesaplanması daha kolaydır çünkü elektromanyetik dalgalar antenden çıktıkları anda küresel şekilde yayılım yaparken belli bir mesafeden sonra düzlemsel dalga olarak yayılırlar.

Düzlemsel dalga formatında yayılım yapmaya başladığında ışın deseni kararlı bir yapıya dönüşür ve mesafe artmaya devam etse bile karakteristiği değişmez. Yakın alanda ise mesafeye bağlı olarak ışın karakteristiğinde farklılıklar oluşur ve hesaplanması zorlaşır.

Yakın veya uzak alan ifadeleri anten boyu ve dalga boyu ile ifade edilir. Aşağıdaki denklem yardımıyla bulunabilir [9].

$$R \geq 2D^2/\lambda \quad (2.3)$$

Yakın ve uzak alan koşulları Anten ölçümleri  $A_e$  bir antenin etkin bir şekilde dalgaların iletildiği alandır. Kazanç ifadesi ile ilişkisi aşağıdaki denklemler vasıtasıyla hesaplanabilir.

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (2.4)$$

$$A_e = K_a A \quad (2.5)$$

## 2.2 Işıma Direnci ve Verimi

Antenin uzaya yaydığı elektromanyetik dalganın gücüne ışıma gücü denir. Antenin ışıma gücü ve anten üzerinden akan akım bilinirse bu antenin ışıma direnci elde edilebilir. Ohm yasasına bağlı olarak ışıma direnci şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$P_r = I^2 R_r \quad (2.6)$$

Işıma direnci ölçüm sonucu ile elde edilemez. Ohm yasasından hesaplandığı gibi kabul edilir. Anten verimliliğini hesaplamak için gereklidir. Anten verimliliği antenin giriş ve çıkış empedansının iyi uydurulmasına, anten üzerindeki dielektrik ve iletken kayıpları gibi etkenlere bağlıdır.

Anten verimliliği şu şekilde hesaplanabilmektedir.

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (2.7)$$

$e_0$  : toplam verimlilik

$e_r$  : yansıma verimliliği

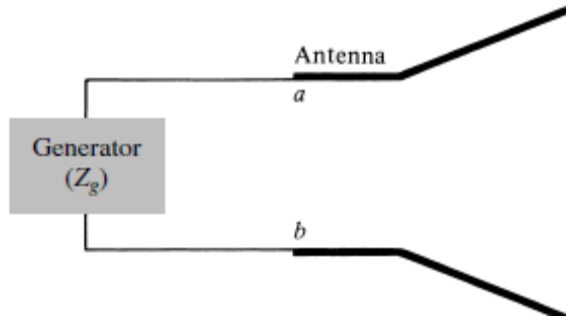
$e_c$  : iletken verimliliği

$e_d$  : dielektrik verimliliği

## 2.3 Giriş Empedansı

Kaynak ile anten arasında a-b noktaları arasından yüke doğru bakıldığında görülen empedans değerine giriş empedansı denir. Bu noktalar arasındaki empedans değeri a-b noktaları arasındaki gerilim-akım çiftinin oranına eşittir.

Anten verimliliği için önemli bir kavramdır. Eğer antenin entegre edildiği kaynak ile arasında empedans uyumsuzluğu varsa bu kısımdan yansıma yapmaya başlar. Uyumsuzluk dolayısıyla oluşan yansımalar kaynaktan elde edilen gücün tamamının yüke (antene) aktarılmasını engeller; böylece sistem tam verimli çalışmamış olur. Eğer uygun bir empedans değeri ile sonlandırılırsa kaynaktan çıkan toplam gücün tamamı yüke aktarılmış olur. Şekil 2. 1' de bir kaynak ve anten bağlantısı gösterilmektedir.



Şekil 2. 1 Kaynak ile anten bağlantısı [10]

Giriş empedansı en basit haliyle şu şekilde tanımlanır.

$$Z_A = R_r + R_L + jX_A \quad (2.8)$$

$R_r$ : Antenin ışıma direnci

$R_L$ : Antenin kayıp direnci

$X_A$ : Depolanan enerji

Kaynak empedansının sanal kısmı anten giriş empedansının sanal kısmını yok edecek şekilde olursa devrede enerji birikimi gibi bir durum söz konusu olamaz. Bu durumda kayıplar en aza indirilmiş olur idealde sıfır kabul edersek ( $R_L = 0$ ) kaynaktan elde edilen gücün tamamı antene aktarılmış olur. İletim hattı empedansı genelde  $50\Omega$  seçilir ve empedans uyurma işlemleri bu değere göre yapılır [10].

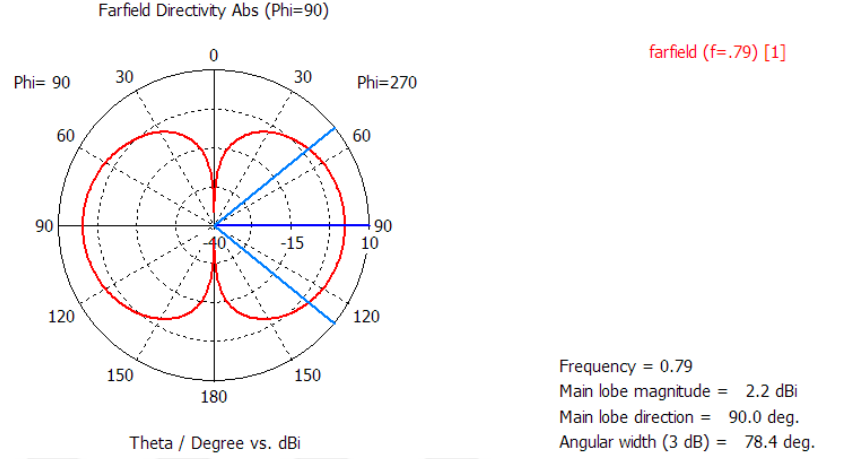
#### 2.4 Işıma Deseni

Antenin ışıma gücü bölüm 2.2' de bahsedilmişti. Bir antenden çıkan ışıma gücünün hangi yönde ve ne kadar aktarıldığını gösteren farklı tipteki diyagramlara ışıma deseni denir. Güç ışıma diyagramı, antenin yayıldığı alan içerisindeki elektrik alan ve manyetik alan ifadelerinin çarpımıyla elde edilen güç vektörünün theta ve phi açılarına göre çizdirilmesiyle elde edilir. Alan ışıma diyagramı ise alan ışıma vektörünün theta ve phi açılarına göre çizdirilmesiyle elde edilir.

$$F^2(\theta, \phi) : \text{Güç ışıma vektörü} \quad (2.9)$$

$$|F(\theta, \phi)| : \text{Alan ışıma vektörü} \quad (2.10)$$

Grafiksel gösterimler polar ve kartezyen olmak üzere farklı koordinatlarda gösterilebilir.



Şekil 2. 2 Polar koordinatlarda dipol antenin uzak alan ışıma deseni

Yarım dalga boylu bir dipol antenin polar koordinatlarda ışıma deseni yatay yatmış bir sekiz rakamına benzemektedir (Şekil 2. 2). Şeklin sağ alt kısmını inceleyecek olursak, ana lob genliği (main lobe magnitude) ışıma deseninin maksimum yayılım yaptığı kazanç değerini gösterir. Açısal genişlik (angular width) ise anten parametreleri için çok önemlidir ve literatürde yarım güç huzme genişliği (Half Power Beam Width) olarak geçer. Kısaca 'HPBW' ile gösterilir. Yarım güç huzme genişliği, maksimum ışıma gücünün yarıya indiği noktaların oluşturduğu açısal ifadedir.

## 2.5 Anten Etkin Yüzeyi

İzotropik bir anten ile gözlem noktası arası uzaklığı; R ve antenin ışıma gücünü; P olarak kabul edersek gözlem noktasında  $P/(4\pi R^2)$  kadar güç yoğunluğu elde edilmiş olur. Kayıplı bir ortamda elektromanyetik dalgalar ilerledikçe zayıflamaktadır. Bu durumda enerjinin bir kısmı istenilen hedefe ulaşırken bir kısmı ortamda kayıp olarak kalır. Anten etrafındaki güç yoğunluğunun güç çektiğine göre çekilen güç, var olan güç yoğunluğu çarpı metre kare boyutunda bir yüzey şeklinde hesaplanmalıdır. İşte bu metre kare büyüklüğündeki parametre etkin alan olarak adlandırılır.

Parabolik ve horn gibi düzlemsel alanları bulunan antenlerde etkin yüzey alanından bahsedebilirken, dipol gibi çizgisel nitelikteki antenlerde bu ifadeyi kullanamayız. Genel anten etkin yüzey alanı aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır [8].

$$A_e = \frac{G_r \cdot \lambda^2}{4\pi} \quad (2.11)$$

## 2.6 Polarizasyon

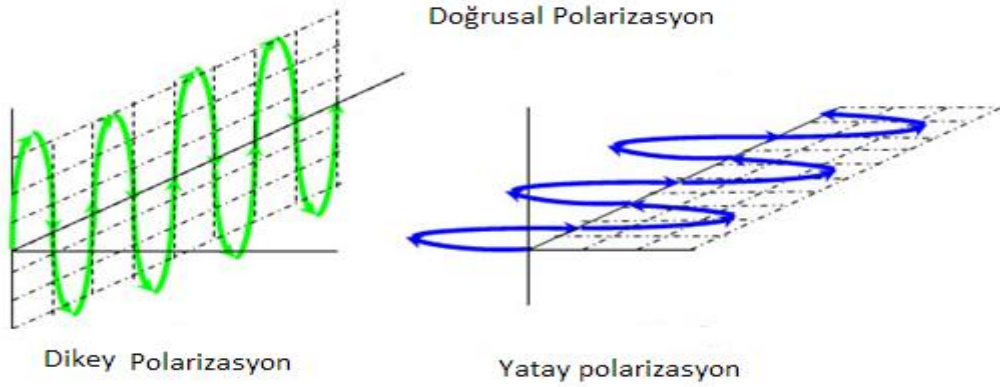
Elektrik alan vektörünün boşlukta yayılırken oluşturduğu şekil olarak tanımlayabiliriz. Lineer ve eliptik olmak üzere iki temel polarizasyon şekli vardır.

### 2.6.1 Lineer Polarizasyon

Lineer kendi içinde ikiye ayrılır düşey ve yatay polarizasyondur (Şekil 2. 3).

Yatay polarizasyon: Elektrik alan çizgileri yer düzlemine paraleldir.

Düşey polarizasyon: Elektrik alan çizgileri yer düzlemine diktir.



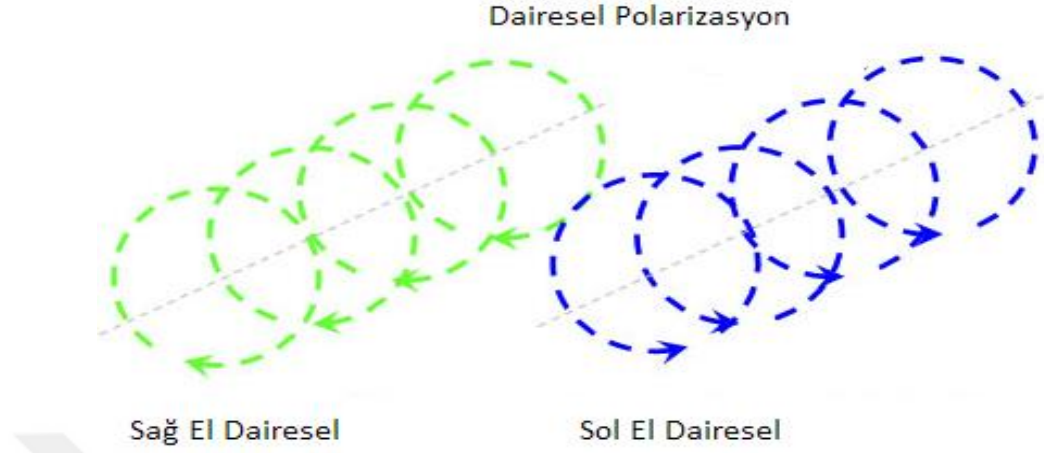
Şekil 2. 3 Lineer polarizasyon

### 2.6.2 Eliptik Polarizasyon

Eliptik polarizasyon, çapraz polarizasyon da olduğu gibi iki farklı yönde ve birbirine dik elektrik alan bileşenlerinden oluşur ancak çapraz polarizasyona göre farklılıkları vardır.

Eliptik polarizasyon da alan bileşenleri arasında 90° faz farkı bulunur. Bu duruma özel

olarak, eğer elektrik alan bileşenlerinin genlikleri birbirine eşit ise dairesel polarizasyon olarak adlandırılır (Şekil 2. 4).



Şekil 2. 4 Dairesel polarizasyon

Sonuç olarak, iki polarizasyon tipinin birbirine göre avantajı ve dezavantajı vardır. Aralarında belli bir mesafe bulunan alıcı ve verici iki anten düşünelim, verici antenden yayılan elektromanyetik dalganın polarizasyonu yatay polarizasyonda olursa alıcı antende yatay polarizasyonda konumlandırılmalıdır. Eğer düşey polarizasyonda konumlanırsa ters polarma olur ve haberleşme sağlanamaz.

Verici anten eliptik polarmada olursa alıcı antenin polarması fazla bir önem ifade etmez; dolayısıyla yatay, düşey veya eliptik olabilir. Ancak lineer polarma yapan antenlere göre aktarılan güç azalacaktır. Lineer polarizasyon, genelde baz istasyonları gibi konumu sabit antenlerde kullanılır, eliptik polarizasyonlar ise mobil cihazlar için daha uygundur

## 2.7 Yakın ve Uzak Alan

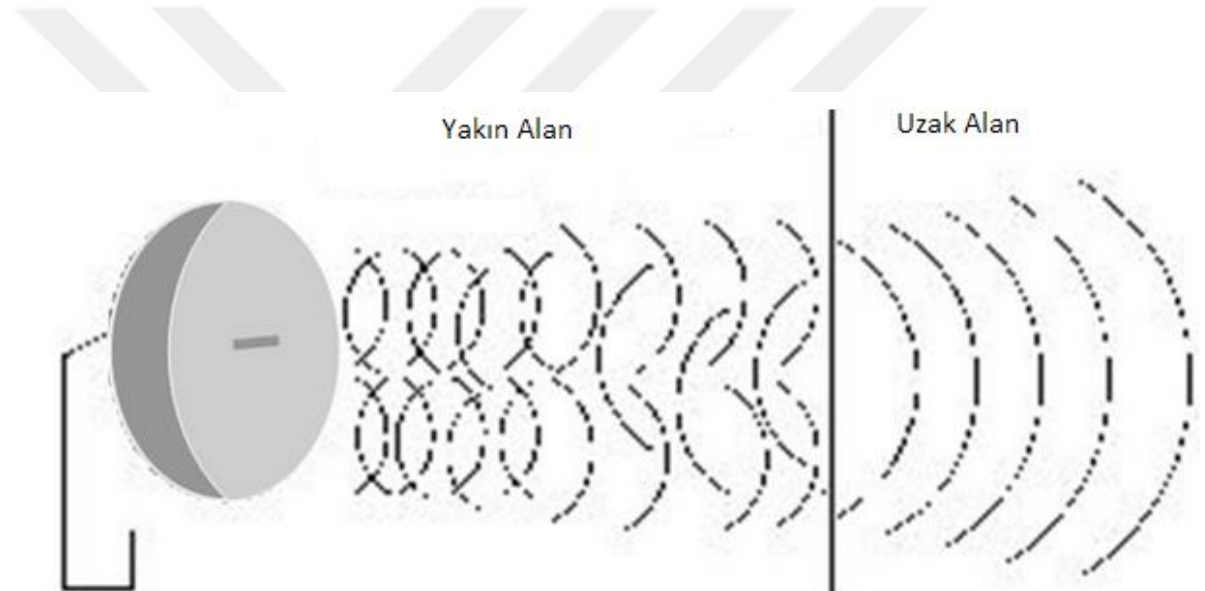
Antenin belli bir mesafeye kadar yaptığı ışımaya yakın alan bu mesafeden sonrasına ise uzak alan denir. Uzak ve yakın alan için anten ışıma deseni değişmektedir. Genellikle yapılan ölçümler uzak alan koşuluna göre yapılır. Uzak alan, yakın alana göre hesaplanması daha kolaydır çünkü elektromanyetik dalgalar antenden çıktıkları anda

küresel şekilde yayılım yaparken belli bir mesafeden sonra düzlemsel dalga olarak yayılırlar (Şekil 2. 5).

Düzlemsel dalga formatında yayılım yapmaya başladığında ışınım deseni kararlı bir yapıya dönüşür ve mesafe artmaya devam etse bile karakteristiği çok fazla değişmez. Yakın alanda ise mesafeye bağlı olarak ışınım deseninde büyük farklılıklar oluşur ve hesaplanması zorlaşır.

Yakın veya uzak alan ifadeleri anten boyu ve dalga boyu ile ifade edilir. Aşağıdaki denklem yardımıyla bulunabilir [9].

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.12)$$



Şekil 2. 5 Yakın ve uzak alan koşulları

### VİVALDİ ANTEN

Vivaldi anten, çok geniş bantlı tasarlanabilen ve üretim açısından da kolay olan düzlemsel antenlerdir. Bu anten ilk olarak Gibson tarafından 1979 yılında tanıtılmıştır [4]. Vivaldi antenin tercih edilmesindeki ana sebep geniş bantlı olmasıdır. Günümüzde kablosuz haberleşme sistemlerindeki veri trafiği ve hızı çok hızlı bir biçimde artmaktadır. Önümüzdeki 20 sene içerisinde veri trafiğinin 10.000 kat artması beklenmektedir [11]. Bu artışa bağlı olarak kapasiteye olan ihtiyaçta aynı oranda artmaktadır.

Kablosuz haberleşmede kapasiteyi arttırabilmek için güncel olarak uygulanan birkaç metot bulunmaktadır. Son yıllarda en çok gündemde olan konulardan bir tanesi milimetre dalga frekanslarının kullanımınıdır. Bu frekans bantlarının kullanımına bağlı olarak geniş bantlı uygulamaların sayısı çok hızlı bir biçimde artacaktır.

Bu uygulamalar için tasarlanacak sistemlerin kritik elemanlarından bir tanesi de geniş bantlı antenlerdir. Vivaldi anten topolojisinden gelen üstel eğriler sayesinde çok yüksek bant genişliği sağlayabilmektedir. Buna ilave olarak, Vivaldi çalışma bandı boyunca benzer ışıma karakteristiği göstermektedir.

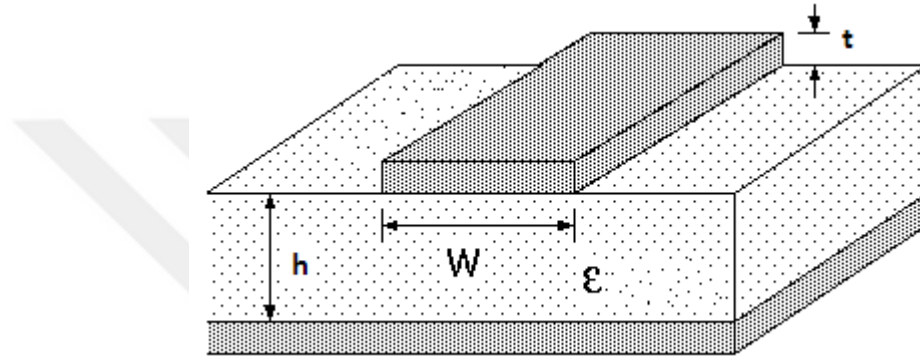
Vivaldi antenler fiziksel olarak düzlemsel antenlerdir. Orta kısımda dielektrik malzeme olacak şekilde alt ve üstünde iletken kısımlar yer almaktadır. Antenin çalışma frekansına bağlı olarak dielektrik malzeme seçimi yapılmaktadır.

Vivaldi anten tasarımlarında temel alınan 3 farklı topoloji bulunmaktadır. Bu tez kapsamında eş-düzlemler Vivaldi anten topolojisi referans alınmıştır. Bu topoloji üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda anten performansında iyileştirme yapılmıştır.

### 3.1 Vivaldi Anten Çeşitleri

#### 3.1.1 Eş-Düzlemlı Vivaldi Anten

Eş-düzlemlı Vivaldi anten üç temel kısımdan oluşmaktadır. Anteni, sinyalin taşındığı mikroşerit hat, mikroşerit hattın boşluklu yapıya geçtiği kısım ve ışımının yapıldığı üstel eğriler diye üçe ayırabiliriz (Şekil 3. 2). Üstel ışım eğrileri sayesinde giriş empedansı çıkış empedansına kolaylıkla uydurulabilir. Giriş kısmında bir mikroşerit hat yapısı bulunmaktadır (Şekil 3. 1).



Şekil 3. 1 Mikroşerit İletim Hattı

Giriş empedansı genellikle  $50 \Omega$  luk hatta uygun olacak şekilde yapılır. Ölçüm için kullanılan konektörlerin  $50 \Omega$  olması nedeniyle bu hatlarda genellikle  $50 \Omega$  olarak hesaplanır. Eğer anten elemanı herhangi bir aktif eleman (verici devre yapılarında genellikle anten elemanı güç kuvvetlendiricilerinden sonra kullanılır) ile kullanılacaksa bu aktif elemanın çıkış pinin empedansı, antenin giriş empedansına uydurulması gerekir.

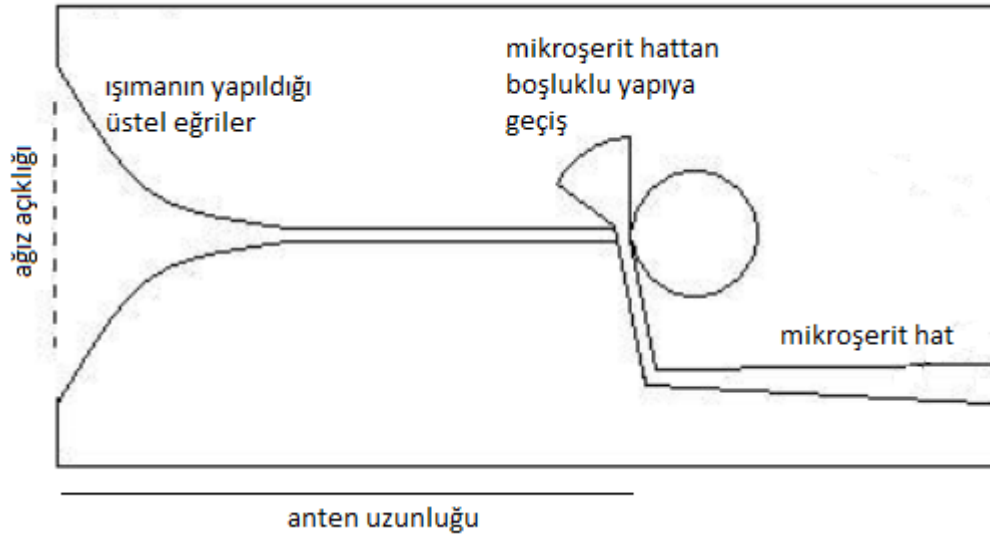
Antenin çıkış empedansı ise havanın empedansı olan  $120 \pi$  ( $377 \Omega$ )' ye göre tasarlanır. Vivaldi antenin topolojisinden gelen üstel eğriler taper görevi gördüğü için antenin giriş-çıkış empedans uydurması ideal bir biçimde yapılmış olur.

Anten üzerindeki farklı parametreler yardımıyla anten performansı istenilen şekilde ayarlanabilir. Anten uzunluğu sayesinde çalışma frekansı ayarlanabilmektedir. Genellikle anten tasarımlarında antenin boyu veya boyutları frekansın ayarlanmasındaki en önemli parametredir. Örneğin anten boyutları frekans arttıkça azalmaktadır. Bunun sebebi, frekansın artışına bağlı olarak dalga boyunun azalmasıdır.

Anten gibi elemanlar elektriksel boyları ile ifade edilmektedir. Elektriksel boy tanımı dalga boyuna göre oluşturulmaktadır. Sonuç olarak yüksek frekanslarda dalga boyu azalacağı için anten boyutları da azalmaktadır.

Eş-düzlemlili Vivaldi antende, mikroşerit hattın boşluklu yapıya geçiş kısmı çok önemli bir parametredir. Bu kısım sayesinde antenin girişinde oluşturulan sinyal ışınma düzlemine aktarılmaktadır. Anten ışınma deseni ve geri dönüş kaybı için kritik öneme sahiptir. Eş-düzlemlili Vivaldi antenin ağız açıklığı ve üstel eğrileri kavisi geri dönüş kaybını çok etkilemektedir.

Milimetre dalga frekanslarında tasarlanan antenlerin toleransları mikronlar mertebesinde olmalıdır. Örneğin 60 GHz bandında dalga boyunun 5 mm olduğunu düşünürsek mikron seviyesinde hassas tasarımlar yapmak gerekmektedir.



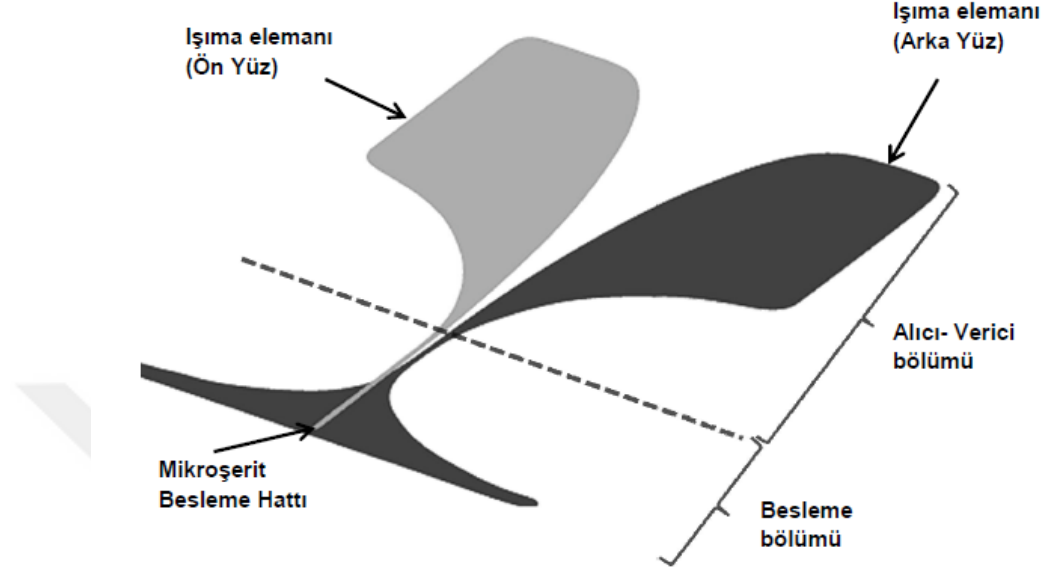
Şekil 3. 2 Eş-düzlemlili Vivaldi Anten Topolojisi

### 3.1.2 Antipodal Vivaldi Anten

Antipodal Vivaldi anten iki iletken düzleminden oluşmaktadır. Bu iki iletken düzlem birbirine simetrik ve aralarında dielektrik malzeme bulunmaktadır. Antipodal Vivaldi topolojisi Şekil 3. 3' te gösterilmektedir.

Antipodal Vivaldi antende bulunan iki iletkenin birbirinden farklı fonksiyonları bulunmaktadır. Bir tanesi besleme hattı iken diğeri ışınma düzlemidir. Mikroşerit hattın

yapılan besleme sonucu akım diğer iletken olan ışına düzlemine geçer ve buradan simetrik bir biçimde ışına yapmaya başlar.



Şekil 3. 3 Antipodal Vivaldi Anten Topolojisi

Antipodal Vivaldi anten, eş-düzlemlı Vivaldi antenin benzeri bir besleme yapısına sahiptir. Antipodal Vivaldi antenin giriş kısmında bir mikroşerit hat bulunur. Antenin çalışma frekansına uygun bir konektör yardımıyla anten kolayca çalıştırılabilir.

Vivaldi antenlerde kaynaktan gelen akımın büyük çoğunluğu eğrilerin bulunduğu kenar kısımlara yönelir. İletken düzlemlerin üzerindeki eğriler ışına deseni için önemlidir. Bu yüzden istenilen ışına deseni için iyi bir biçimde optimize yapılması gerekir. (3.1), (3.2) ve (3.3) nolu denklemler anten üzerindeki eğrileri veren fonksiyonlardır. Eğrilerin kavisi dışında, anteni ağız açıklık kısmı ışına deseni ve empedans uyumluluğu için çok kritiktir.

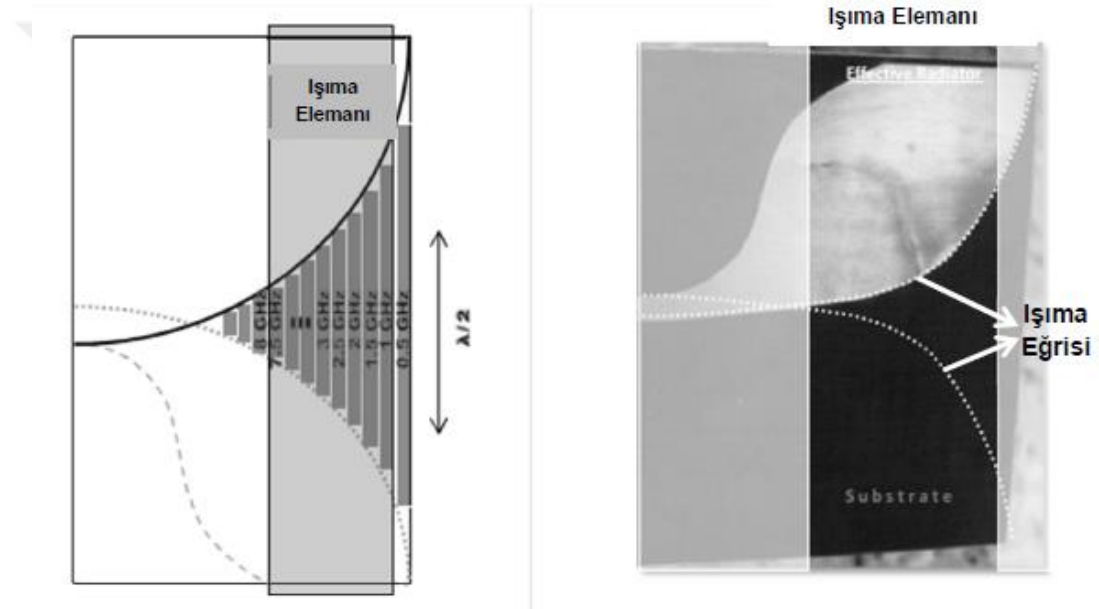
$$y = c_1 e^{Rx} + c_2 \quad (3.1)$$

$$c_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{Rx_2} - e^{Rx_1}} \quad (3.2)$$

$$c_2 = \frac{y_1 e^{Rx_2} - y_2 e^{Rx_1}}{e^{Rx_2} - e^{Rx_1}} \quad (3.3)$$

Vivaldi antenler geniş bantlı olarak çalışabilen antenlerdir. Daha önce belirtildiği üzere antenin çalışma bandını etkileyen temel faktör anten boyutlarıdır. Geniş bantlı tasarımlarda çalışma bandını düşük frekans bölgesine göre uzunluk hesabı yapılmalıdır. Antenin üzerindeki boşluklu yapı antenin çıkışına doğru artmaktadır (Şekil 3. 4). Antenin ağız açıklığı çalışma bandının düşük frekansına göre ve dalga boyunun yarısı ( $\lambda/2$ ) olacak şekilde tasarlanmalıdır.

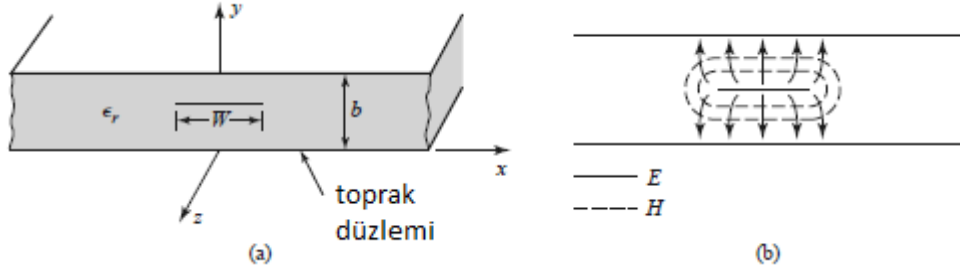
Vivaldi antenlerde düşük çapraz polarizasyon görülmektedir bu yüzden bu tip antenler radar uygulamaları için uygun değildir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için balanced antipodal vivaldi geliştirilmiştir.



Şekil 3. 4 Işıma Düzlemleri Üzerindeki Frekan Dağılımı

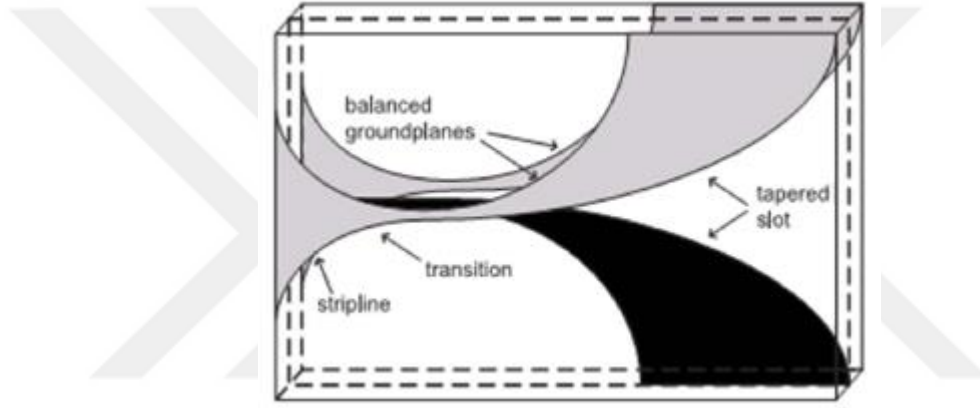
### 3.1.3 Dengeli Vivaldi Anten

Dengeli Vivaldi antenin, diğer Vivaldi anten topolojilerine göre en temel farkı iletken düzlem sayısıdır. Dengeli Vivaldi antende 3 tane iletken düzlem bulunmaktadır. Bu iletkenlerden dış kısımlarda olanlar ışımaya düzlemidir. Ortada kalan iletken düzlemi ise besleme hattıdır. Diğer Vivaldi topolojilerinde mikroşerit hat yapısı varken, dengeli Vivaldi topolojisinde şerit iletim hattı bulunmaktadır (Şekil 3. 5). Bu iletim hattında elektrik ve manyetik alan çizgileri simetrik olarak dağılmaktadır. İletken düzlem genelde tam ortada yer alır ancak asimetrik olarak da tasarlanabilmektedir.



Şekil 3. 5 (a) Şerit iletim Hattı, (b) Elektrik ve manyetik Alan Çizgileri

Dengeli Vivaldi anten topolojisi Şekil 3. 6' da gösterilmektedir. Antipodal Vivaldi antende görülen düşük çapraz polarizasyon, dengeli Vivaldi anten sayesinde ortadan kaldırılmaktadır.



Şekil 3. 6 Dengeli Vivaldi Anten

### 3.2 Vivaldi Antenin Avantaj ve Dezavantajları

Vivaldi antenin birçok avantajı bulunmaktadır. Bunun yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

#### 3.2.1 Vivaldi Antenin Avantajları

Vivaldi antenler mikroşerit antenler gibi PCB üzerine yapılabilmektedir. Bu sayede kolayca üretilebilmektedir. PCB üzerinde yapıldıkları için ucuza ve tek üretim paletinde çok sayıda üretilebilmektedir. Günümüzde, dünyada birçok PCB üreticisi bulunmaktadır. Farklı çalışma frekanslarına bağlı olarak farklı özelliklere sahip malzemeler bulunmaktadır. Bu malzemelerin cinsine ve fiziksel özelliklerine göre farklı üretim toleransları bulunmaktadır. Bu üretim toleranslarına göre farklı fiyatlandırma yapılmaktadır.

Vivaldi antenin entegrasyonu kolay bir biçimde yapılabilmektedir. Anten elemanları alıcı – verici devreler ile birlikte kullanılmaktadır. Tasarımı yapılan bir devre ile anten birlikte aynı malzeme üzerinde bulunabilmektedir. Bu sayede sistem daha küçük ve dayanıklı olmaktadır. Ayrıca tek seferde devre ve anten üretilebilmektedir.

Vivaldi antenin fiziksel avantajlarının yanında teknik açıdan da birçok özelliği vardır. Milimetre dalga frekansları gibi yüksek çalışma frekans bantlarındaki uygulamalarda geniş bant kullanımı esastır. Vivaldi antenler geniş bantlı empedans uydurma imkânı sağlamaktadır. Geniş bantlı uygulamalarda kullanılan anten ışıma deseninin tüm çalışma bandı boyunca benzer karakteristiğın göstermesi istenir. Vivaldi antenler bu özelliği sağlayabilmektedir.

### **3.2.2 Vivaldi Antenin Dezavantajları**

Vivaldi antenler mekanik olarak çok dayanıklı değildir. Özellikle yüksek frekanslarda antenlerin çalışabilmesi için kullanılan malzeme çok incedir. Bu tezde tasarımı gerçekleştirilen antenin malzemesi 0.25 mm kalınlığındadır. Bu kadar ince malzemeler kolaylıkla kırılıp bükülebilir.

Milimetre dalga frekanslarında tasarlanan Vivaldi antenlerin boyutları milimetre mertebesindedir. Anten ölçümleri için gerekli besleme yapılarını oluşturmak zordur. Frekans arttıkça konektör boyu antenin boyundan büyük olmaya başlamaktadır. Anten ile konektörün bağlantısı için özel tasarımlar gerekmektedir.

### **3.3 Dizi Anten**

Bu kısımda dizi anten tasarımına yer verilmiştir. Tek olarak tasarlanan antenlerin birden fazlasının belli şartlarda bir arada kullanımına dizi anten denilmektedir. Dizi anten tasarımında dizelecek antenlerin sayısı ve dizinin geometrisi anten performansı için önemlidir.

Günümüzde dizi anten kullanımı artmaktadır. Dizi anten ile birlikte anten performansında bazı kazanımlar elde edilmektedir. Dizilen antenlerin sayısına bağlı olarak anten kazancı artmakta bunun yanında ışıma hüzmesi daralmaktadır. Dizi antende yan kulakçık miktarı artmaktadır. Dizi elemanlarına istenilen faz ve genlikler

verilebilmektedir. Doğru faz ve genlik verildiğinde birçok problem ortadan kaybolmaktadır. Dizi elemanlarının gometrik olarak dış kısımdaki elemanlarına daha az genlik verilerek yan kulakık seviyesi azaltılabilir.

Bu durum birçok uygulama için istenen bir durumdur. Bu konuda bir örnek verecek olursak, noktadan noktaya haberleşme gibi yüksek kazanç ve dar hüzme isteyen uygulamalar için kullanışlı bir tekniktir.

Dizi antenin bir diğer önemli kazanımı elektriksel hüzme tasama tekniğinin uygulanabilmesidir. Günümüzde hüzme tarama tekniği iki şekilde yapılmaktadır.

Birincisi mekanik olarak antenlerin döndürülmesidir. Mekanik olarak antenlerin hareket etmesi sistemde bazı aksaklıklara neden olmaktadır. Bunlar; mekanik ömrünün az olması, sürekli bakıma ihtiyacının olması, hızlı tarama kabiliyetine sahip olmaması ve hareketli cisimlere entegresinin zor olması gibi dezavantajlara sahiptir.

İkinci yöntem ise elektronik hüzme tarama yöntemidir. Bu işlem dizi antenler kullanılarak yapılmaktadır. Dizi elemanlarına farklı fazlarda besleme yapılarak antenin ana hüzmesinin açısı değişmektedir. Antenlere farklı fazlarda beslemeler çok kısa sürede verilebilir. Milisaniyeler mertebesinde anten hüzme taramasına imkân sağlamaktadır. Mekanik olarak tarama karşısında çok daha hızlı bir sistem olarak göze çarpmaktadır. Elektronik hüzme tarama tekniğinin bir başka özelliği istenilen bir açının kazancının azaltılabilmesidir. Örneğin belli bir açıdan istenmeyen bir gürültü alınmaktadır. Bu gürültüyü dizi antenin o açıdaki kazancını azaltarak yok edebiliriz. Dizi anten sabit olacak şekilde tarama kabiliyetine sahip olduğu için hareketli sistemlere entegresi kolaydır.

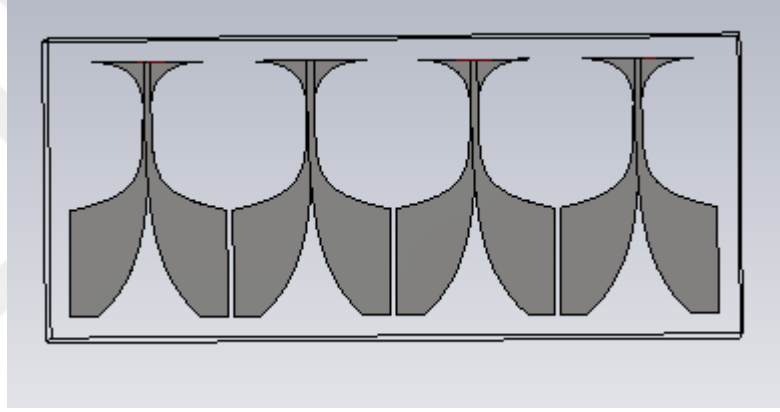
Günümüzde elektronik hüzme tarama milimetre dalga frekanslarında oldukça zordur. dizi antenlere farklı fazların verilmesi gerekmekte ve bu fazlar istenildiğinde değişebilmelidir.

Milimetre frekanslarında dizi anten tasarımının bir diğer zorluğu çoklu bağlantı bölgesidir. Buna feed network denilmektedir. Bu kısımda yapılabilecek güç bölücüler geniş bantlı çalışmalıdır. Aynı zaman da bu kısımdaki iletim hatları, dalga boyunun çok küçük olması nedeniyle anten gibi ışımaya yapmaktadır. Bu ışımalar sisteme kayıba neden

olmaktadır. Antenlerin bağlantı kısımlarının doğru bir biçimde kutulanması gerekmektedir.

Mikrodalga ve milimetre dalga anten boyutlarının milimetre mertebelerindeki çalışma frekanslarında olduğunu düşünürsek dizi anten tasarımları için uygun olduğunu düşünebiliriz. Bu tez kapsamında tasarlanan anten 60 GHz merkezli bir çalışma frekans bandına sahiptir. Serbest uzayda 60 GHz' in dalga boyu 5 mm'dir. Vivaldi antenler PCB üzerinde düzlemsel antenler olduğu için dizi tasarımı üretim açısından kolay ve ucuzdur.

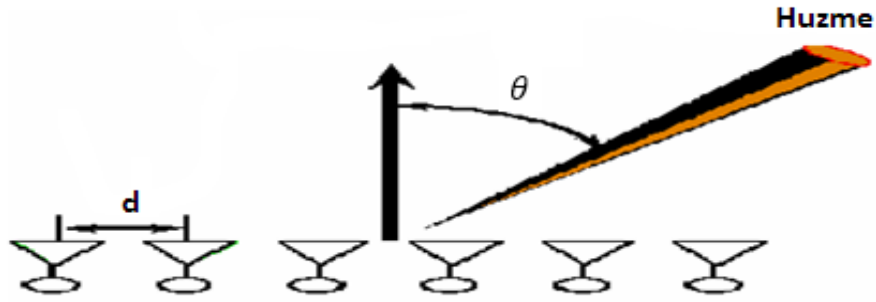
Girişim, dizilen antenler arasındaki önemli bir parametredir. Girişim antenlerin ışıma desenlerinin birbiri içine geçmesi ile oluşur [12].



Şekil 3. 7 Dizi Anten Topolojisi

Dizi anten örneği Şekil 3. 7' de gösterilmiştir. Beslemelerden aynı fazda sinyaller gönderildiğinde girişim meydana gelir. Sinyal ana yönde güçlenirken yan loblarda zayıflar. Bu durumların sonucu olarak ana lobdaki kazanç artar ve yan loblar azalır. Ana yönde kazanç artarken ana huzme de daralmış olur. Ana lob daima faz kayma artışının olduğu yöne doğru kayar [13].

### 3.3.1 N-Elementli Dizi Anten



Şekil 3. 8 N elemanlı dizi ve parametreleri [14]

Şekil 3. 8' de N tane antenin oluşturduğu bir dizi gösterilmiştir.  $\theta$  açısı huzme ile antenlerin normali arasındaki açıyı temsil etmektedir. Antenler arası mesafe ise d ile göstermektedir.

$k$  : dalga sayısı

$$\phi = kd \sin(\theta) = 2\pi\left(\frac{d}{\lambda}\right) \sin(\theta) \quad (3.4)$$

Dizide kullanılan anten sayısı arttıkça kazanç artar ancak belli bir değerden sonra azalmaya başlar. Dizi antenin ışıma deseni anten sayısına, antenlerin faz farklarına ve antenler arası uzaklığa bağlıdır.

Antenler arasındaki mesafe genellikle  $\lambda/2$ ' den küçük seçilir. Çünkü dizi antenin ışıma deseninde oluşabilecek yan lob desenlerini veya sahte lobları engeller [14].

Dizide bulunan antenlerin fazlarının eşit, antenler arası uzaklığın  $\lambda/2$  olduğunu varsayalım. Böyle bir durumda ışıma deseni tekli anten ile aynı doğrultuda ışıma yapar. Eğer antenler arasında farklı fazlar verilir ve faz farkı oluşturulursa dizi antenin ışıma deseni  $\theta$  kadar yönlendirilmiş olur.  $\theta$ ' nın faz farkı ile ilişkisi (3.5) nolu denklemde gösterilmektedir.

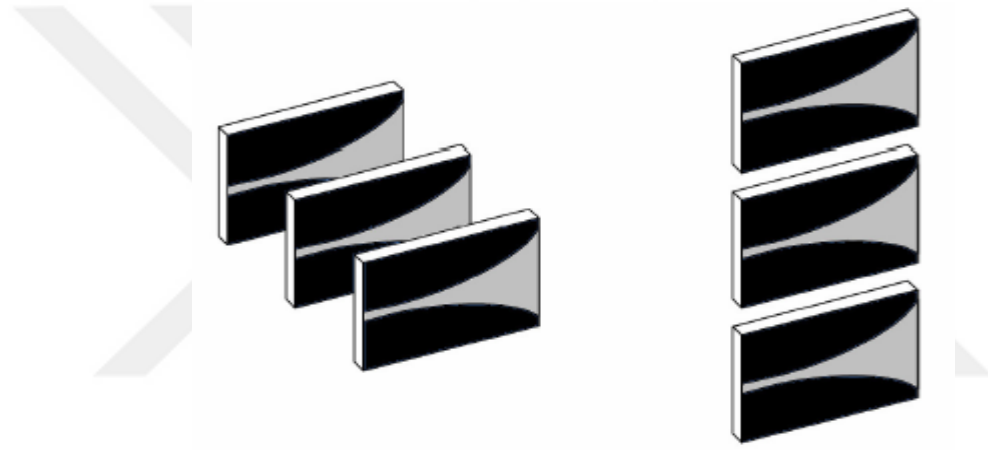
$$\phi = 2\pi\left(\frac{d}{\lambda}\right) \sin(\theta) \quad (3.5)$$

Dizi faktörü (3.6) nolu matematiksel ifade ile elde edilebilir. Dizi faktörü dizi antenler için en önemli parametrelerden bir tanesidir. Bulunan dizi faktörü ile tekli antenin ışına deseni ifadesi çarpılırsa dizi antenin ışına karakteristiği çıkartılmış olur.

$$AF = \frac{\sin\left(\frac{N}{2}\varphi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\varphi\right)} \quad (3.6)$$

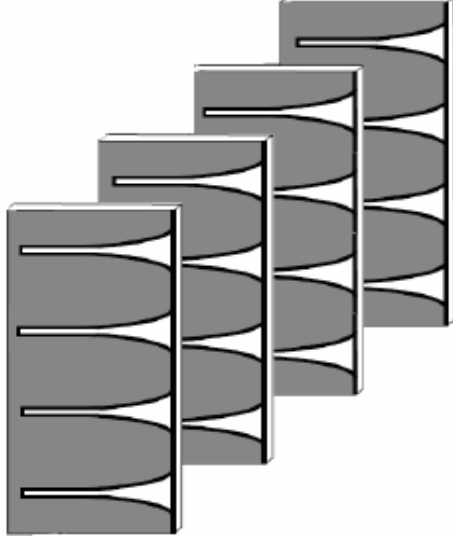
### 3.3.2 Dizi Anten Geometrileri

Dizi anten geometrilerini lineer, düzlemsel ve dairesel olmak üzere üç temel kısma ayırabiliriz. Lineer dizi bir çizgi halinde antenlerin dizilmesiyle oluşur (Şekil 3. 9).



Şekil 3. 9 Lineer dizi geometrisi [12]

Düzlemsel dizi geometrisi ise antenlerin düz bir düzlem üzerine yerleştirilmesi ile elde edilir. Lineer dizi geometrisine göre daha avantajlıdır. Işına deseni kolaylıkla kontrol edilir ve ana lob basitçe yönlendirilebilir. Ayrıca üretimler daha kolaydır. Lineer dizi antenlere göre daha simetrik bir ışına deseni oluşturur ve yan lob kayıpları daha azdır. Şekil 3. 10' da düzlemsel dizi geometrisi gösterilmiştir.



Şekil 3. 10 Düzlemsel dizi geometrisi [12]



### MİLİMETRE DALGADA VİVALDİ ANTEN BESLEME TEKNİKLERİ

Bu kısımda antipodal Vivaldi anten için gerekli olan mikroşerit hat besleme yöntemleri incelenmiştir. Mikroşerit hatların birçok besleme tekniği bulunmaktadır. Bu besleme yöntemlerinden tasarıma en uygun olanı seçilmelidir. Bu seçimi yaparken antenin performansına etkisi, maliyeti ve pratikte uygulanabilir olması gibi bazı temel şartlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

Antenin giriş empedansı ile besleme noktası iyi uydurulması gerekmektedir. Bu kısımda oluşacak uyumsuzluklar sinyalin antene ulaşmadan yansımaya sebep olacaktır. Yüksek frekanslarda yapılacak besleme tekniklerinde daha fazla dikkat edilmesi gereken parametreler bulunmaktadır. Eğer konektör gibi lehim gereken beslemeler yapılacağı zaman lehimin sinyali geri yansıtmadığından emin olmak gerekir. Milimetre dalga frekanslarında ayrıca yüzeyin pürüzsüzlüğünde çok kritik öneme sahiptir.

#### 4.1 Mikroşerit Hat Besleme

Mikroşerit hat ile anten besleme tekniği kolay uygulanabilir bir yöntemdir. Anten ile mikroşerit hat aynı malzemenin üzerinde olacağı için üretimi ucuz ve kolaydır. Anten kullanılacağı sisteme lehim, kablo ve konektör gibi herhangi bir ek malzame olmadan entegre edilebilmektedir. Bu sayede anten ile besleme noktasının empedans uyumluluğu daha kolay olmaktadır.

Bu besleme tekniği genellikle antenin bir sistem ile kullanıldığında yapılabilmektedir. Antenler kullanma geçmeden önce test yapılması gerekmektedir. Bu test aşamalarında mikroşerit hat besleme tekniği uygun değildir. Bu tez kapsamın tasarlanan Eş-düzlemlili Vivaldi anten ölçümleri için konektör kullanılmıştır.

#### 4.2 Konektör İle Mikroşerit Hat Besleme

Günümüzde kullanılan birçok konektör bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı anten ve devrelerin ilgili kısımlarında kullanılmaktadır. Antenler için ölçümlerde kolaylık sağlaması açısından oldukça kullanışlı bir besleme metotudur. Bu konektörlerden en çok bilinen tipleri N tipi, SMA, 2.92 mm, 2.40 mm 1.85 mm, 1 mm' dir. SMA tipi konektör Şekil 4. 1' gösterilmektedir.

Konektör seçimi yapılırken çalışma frekansı, kayıpları, maksimum aktarabileceği güç, PCB' ye göre konumu gibi dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Bu özelliklere göre yeterli bir konektör seçilir. Mikrodalga ve milimetre dalga frekanslarına geçildiğinde kullanılabilir konektör sayısı ve besleme yöntemi sayısı azalmaktadır.



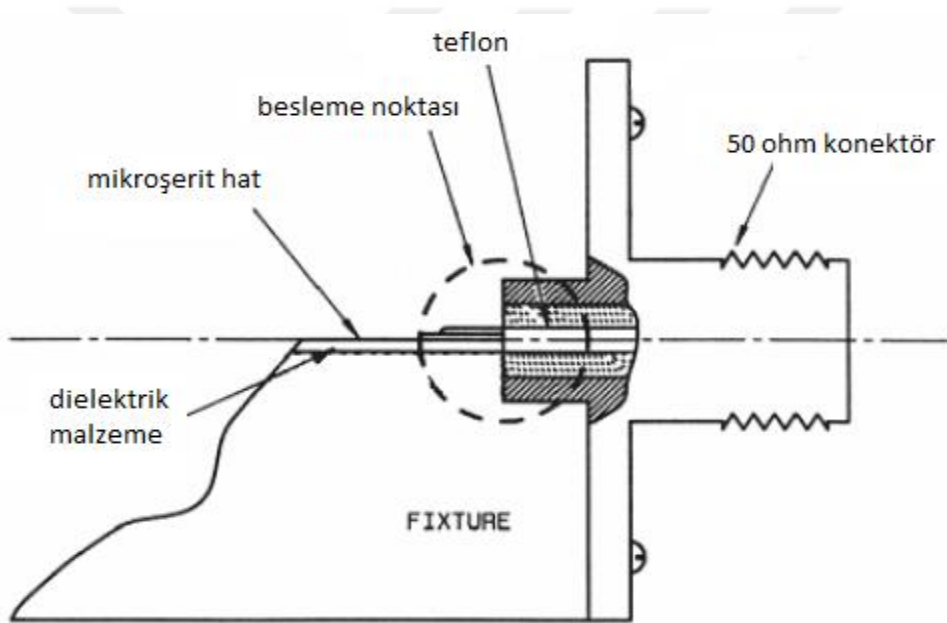
Şekil 4. 1 SMA Tipi Konektör

Konektör ile PCB birlikte kullanımı ve montajı Şekil 4. 2' de gösterilmektedir. Konektörün, PCB' ye monte edildiği bölge antenin beslemesinin yapıldığı kısımdır. Burada oluşacak bir empedans uyumsuzluğu antene aktarılan gücün bir kısmının geriye konektör tarafına gitmesine neden olur.

Konektörün besleme bölgesi içerisinde iki iletken ve bir dielektrik malzeme bulunmaktadır [15]. İletken malzeme genellikle bakır dielektrik malzeme ise teflon olmaktadır. Bu kısımlar çalışma frekansı ve kayıplara göre değişmektedir. Örneğin bazı konektörlerin iletken kısımlarının üzerine altın kaplama yapılmaktadır. İki iletken

arasında dielektrik malzeme bulunmaktadır. İçerideki iletken akımın taşındığı kısımdır. Dışardaki iletken ise toprak hattıdır. Bunların dışında konektörün bir de mekanik gövde kısmı vardır. Bu kısımda iletken olup toprak hattını oluşturmaktadır.

Konektör monte edilemek istendiğinde iç kısımdaki akımı taşıyan iletken ile PCB' nin sinyal hattı birbirine bağlanmaktadır. Bu bağlantı işlemi genellikle lehim ile yapılmaktadır. Bazı konektörlerde ise lehime gerek kalmadan üzerinde bulunan vidalar vasıtasıyla sıkarak bağlantı sağlanmaktadır. Lehimsiz bu yöntem özellikle milimetre dalga frekansları için uygundur. Çünkü milimetre dalga frekanslarında lehimden kaynaklı geri yansımalar azımsanamayacak derecede fazladır. Bu konektör ile lehime gerek kalmadan bağlantı sağlanmaktadır.



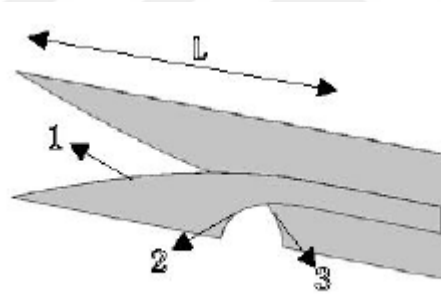
Şekil 4. 2 Konektör İle Hat Besleme

#### 4.3 Dalga Klavuzu ile mikroşerit hat besleme

Millimetre dalga frekanslarında uygulanabilir anten besleme tekniklerinin sayısı oldukça azalmaktadır. Millimetre dalga frekanslarında dalga boylarının çok küçük olması, konektörlerin kayıplı olaması ve montajlarının anten performansını değiştirmesi gibi etkenler yöntemleri sınırlandırmaktadır.

Yüksek frekans bölgesinde sinyali daha az kayıplı olarak taşımak için dalga klavuzları kullanılmaktadır. Bu besleme tekniğinde dalga klavuzu ile gücün PCB' ye aktarımı söz konusudur. Özellikle milimetre dalga frekansları gibi dalga boyunun milimetrelere düştüğü bölgelerde güvenilir bir biçimde anten besleme önem kazanmaktadır. Mekanik yapısı sayesinde diğer tekniklere nazaran daha dayanıklı ancak boyutlar açısından büyüktür. Dalga klavuzu içerisinde antipodal finline geçiş hattı kullanılmaktadır (Şekil 4. 3).

Dalga klavuzu ile mikroşerit hat besleme tekniği geniş bantlı olarak çalışabilen ve az kayıplı bir yöntemdir. Ancak bu sistemin geniş bantlı çalışması bazı istenmeyen durumları ortaya çıkarmaktadır. Antipodal finline geçiş hattı bazı rezonans frekanslara neden olmaktadır. Bu ekstra rezonans frekanslardan kurtulmak için dairesel şekiller, absorbe malzemeler veya ayarlanabilir komponentler tasarlanabilir [16]. Bütün bu önlemlere karşın geçiş bantgenişliğini düşürmek, yapının boyutunu arttırmak veya üretimi zorlaştırmak gerekebilir [16].



Şekil 4. 3 Antipodal Finline Geçiş Hattı

Antipodal finline geçiş hattı, anten ve devre yapıları gibi PCB üzerinde tasarlanmaktadır. İki iletken parça ve ortasında dielektrik malzemeden oluşmaktadır. Bu iletkenlerden biri akımın taşındığı düzlem iken diğer kısım ise toprak düzlemidir. Bu geçiş hattı kritik dört parametreye sahiptir. İyi bir performans elde edilmek isteniyorsa çalışılan frekans bandına bağlı olarak bu parametreler optimize edilmelidir. L parametresi geçiş hattının boyunu temsil etmektedir. 1, 2 ve 3 ile gösterilen kısımlar ise iletken düzlemlerin üzerindeki eğrilerdir (Şekil 4. 3).

İyi bir optimizasyon için geçiş kısmının uzunluğuna ve 1, 2 ve 3 ile gösterilen eğrilerin kavisine dikkat edilmelidir. Bunun yanında 2 ve 3 ile gösterilen eğrilerin arasındaki mesafede kritik öneme sahiptir.



### VİVALDİ ANTEN TASARIMI VE PARAMETRİK ÇALIŞMA

Günümüzde bilgi çok hızlı bir biçimde artmakta ve yayılmaktadır. Bilginiz hızla değer kazandığı bu ortamda teknolojinin bilginin yayılma hızına ayak uydurması beklenmektedir. Tüm bunlar teknolojinin çok hızlı bir biçimde gelişmesini tetiklemektedir. Askeri ve sivil sistemlerdeki inanılmaz ilerleme bunun bir göstergesidir. Kablosuz haberleşmeye olan ihtiyaç en iyi örneklerden bir tanesidir. Sivil haberleşme sistemlerinde beklenen en önemli özellik veri hızlarının yüksek olmasıdır. Yüksek veri hızlarına ulaşmadaki en büyük engel frekans bantlarının kullanımıdır. Mikrodalga ve milimetre dalga frekanslarının kullanımı ile birlikte bu engel biraz olsun ortadan kalkmış oldu.

Kablosuz haberleşme sistemlerinin en önemi alt parçalarından bir tanesi antenlerdir. Anten sayesinde sistem içerisindeki bilgi işaretleri kablosuz ortama aktarılır ve yine aynı şekilde havadaki işaretin tekrar sisteme aktarılmasını sağlar. Milimetre dalga frekanslarında geniş bant kullanımında daha öncesindeki bölümlerde bahsetmiştik.

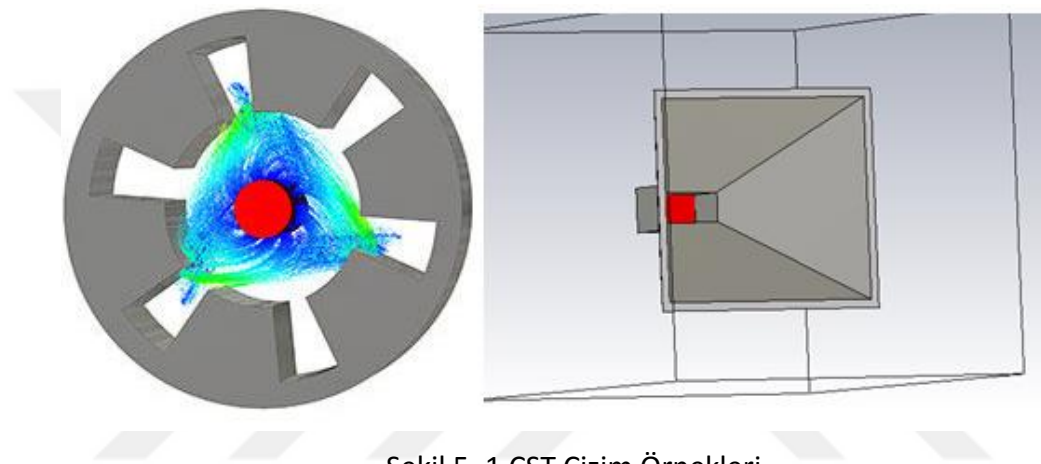
Tezin bu bölümünde geniş bantlı Vivaldi tasarımına yer verilmiştir. IEEE 802.11 ad standardı, 60 GHz merkez frekansı olan 7 GHz' lik lisanssız bir bant genişliği sunmaktadır. Bu frekans bandı ISM bantlarından bir tanesidir. Tez kapsamında tasarlanan ve üretilen eş-düzlemlili Vivaldi anten, yakın mesafe milimetre dalga kablosuz haberleşme uygulamalarında kullanılması amaçlanmaktadır.

Çok geniş bantlı Vivaldi antenler yüksek yönlendiricilik ve kararlı bir ışınım desenine sahip olması gibi birçok özellik sağlamaktadır. Bu karakteristiklerin yanında kolay

üretilebilir ve düşük maliyetli olması, baskı devrelere kolay entegre edilebilmesi gibi özellikleri sayesinde dizi anten olarak kullanımında oldukça elverişlidir.

### 5.1 CST ( Computer Simulation Technology) Programının Tanıtımı

CST Microwave Studio elektromanyetik alanında kullanılan cihazların tasarlanıp elektromanyetik ölçümlerinin kolaylıkla yapılabildiği gelişmiş bir bilgisayar programıdır. Bu tez kapsamında CST Microwave Studio 2015 sürümü kullanılmıştır. Şekil 5. 1' de CST programı ile tasarlanıp ölçme yapılabilecek bazı resimler gösterilmiştir.



Şekil 5. 1 CST Çizim Örnekleri

### 5.2 Eş-Düzlemli Vivaldi Anten Tasarımı

Vivaldi anten tasarımında başlangıç olarak uygun malzeme seçimi yapılmalıdır. Malzemenin seçiminde frekans bandının hayati önemi vardır. Mikrodalga ve milimetre dalga gibi yüksek frekans bölgesinde tasarlanacak antenler daha dikkatli bir malzeme seçimi yapılmalıdır. Roger firmasının yüksek frekanslarda çalışabilen birçok PCB seçeneği bulunmaktadır.

Bu tez kapsamında RO3003 kullanılmıştır. RO3000 serisi seramik tabanlı bir malzemedir ve yüksek frekanslar için uygun üretilmiştir. Otomotiv radarlarında, hücrel haberleşme sistemlerinde ve yüksek frekanslı anten gibi birçok uygulamalarında kullanılmaktadır [17].

Malzemeler için kritik parametreler Çizelge 5. 1' de gösterilmektedir. Bunlar; dielektrik katsayı, malzemenin kaybı, dielektriğin kalınlığı ve bakırın kalınlığıdır. Dielektrik

kalınlığının seçimi en dikkat edilmesi gereken parametredir. Milimetre dalga frekanslarında ince malzemeler tercih edilmelidir.

Çizelge 5. 1 Kullanılan Malzemenin Teknik Özellikleri

| Property  | Typical Value <sup>(1)</sup>                       |             |  |             | Direction | Unit | Condition      |
|---|--|-------------|--|-------------|-----------|------|----------------|
|   | RO3003   | RO3035      | RO3006   | RO3010      |           |      |                |
| Dielectric Constant, $\epsilon_r$ , Process   | 3.00 ± 0.04  | 3.50 ± 0.05 | 6.15 ± 0.15  | 10.2 ± 0.30 | Z         | -    | 10 GHz 23°C    |
| <sup>(2)</sup> Dielectric Constant, $\epsilon_r$ , Design   | 3.00   | 3.60        | 6.50   | 11.20       | Z         | -    | 8 GHz - 40 GHz |
| Dissipation Factor, tan $\delta$  | 0.0010   | 0.0015      | 0.0020   | 0.0022      | Z         | -    | 10 GHz 23°C    |
| Standard Thickness  | Standard Panel Size                                |             | Available Copper Cladding  |             |           |      |                |
| RO3003/RO3035:<br>0.005" (0.13mm)<br>0.010" (0.25mm)<br>0.020" (0.50mm)<br>0.030" (0.75mm)<br>0.060" (1.52mm) | 12" X 18" (305 X 457mm)<br>24" X 18" (610 X 457mm) |             | ¼ oz. (9µm) electrodeposited copper foil (HQ/HQ)<br>½ oz. (17µm) electrodeposited copper foil (HH/HH)<br>1 oz. (35µm) electrodeposited copper foil (H1/H1)<br>2 oz. (70µm) electrodeposited copper foil (H2/H2)<br>½ oz. (17µm) reverse treated electrodeposited cu foil (SH/SH) |             |           |      |                |

Roger3003 malzemesinin 0,13 mm' den 1,52 mm' e kadar farklı kalınlıkları bulunmaktadır. Tasarımı gerçekleştirilen antende 0.25 mm kalınlıklı malzeme kullanılmıştır. Malzeme seçiminden sonra ilk olarak antenin besleme noktasındaki empedans ayarlanmıştır.

Eş-düzlemlı Vivaldi antenin giriş kısmında mikroşerit hat vardır (Şekil 3. 1). Önemli bir kısımdır çünkü hattın giriş empedansı bu kısımda hesaplanmaktadır. Ayrıca beslemenin yapıldığı kısımdır. Ön kısımda görülen W hattın genişliğini temsil etmektedir. Malzeme seçildikten sonra empedans hesabı W parametresine bağlı olarak ayarlanmaktadır. Diğer parametreler kullanılan malzemeye göre sabittir. Çizelge 5. 2' de mikroşerit hattın parametreleri gösterilmektedir. Tasarımı gerçekleştirilen mikroşerit hattın ölçüleri Çizelge 5. 3' te yer almaktadır.

Çizelge 5. 2 Mikroşerit Hat Parametreleri

|            |                                 |
|------------|---------------------------------|
| W          | Mikroşerit hattın genişliği     |
| h          | Dielektrik malzemenin kalınlığı |
| $\epsilon$ | Dielektrik malzemenin epsilon   |
| t          | Mikroşerit hattın kalınlığı     |

Çizelge 5. 3 Tasarlanan Mikroşerit Hattın Fiziksel Değerleri

|            |         |
|------------|---------|
| W          | 0.61 mm |
| h          | 0.25 mm |
| $\epsilon$ | 3       |
| t          | 35 um   |

### 5.2.1 Eş-Düzlemli Vivaldi Anten Parametreleri

Bir önceki anten tasarımında kullanılacak malzemenin seçiminden bahsetmiştik. Malzemenin seçimini yaptıktan sonra antenin giriş empedansının hesapladık. Bu kısımda ise antenin üstündeki ışıma düzleminin ve altındaki iletim hattının önemli parametlerine yer verilmiştir.

Frekans bandını belirleyen en önemli parametre antenin boyutlarıdır. Öncelikle antenin uzunluğunun hesaplanması gerekmektedir. Eş-düzlemli Vivaldi anten çok geniş bantlı bşr anten olduğu için tek bir frekansın dalga boyuna göre hesaplanması doğru değildir. Ancak bu antenlerde çalışma bandının alt frekans bölgesine göre hesap yapıldığında üst bantlarda da çalıştığı gözlemlenmiştir. Buradaki sınırlayıcı faktör alt frekans gölgesidir.

Bilindiği gibi frekans azaldıkça dalga boyu artacağından anteni ne kadar düşük frekanslarda çalıştırmak istersek o kadar boyutlar artacaktır. Sonuç olarak boyut ve çalışma frekans bandı iyi ayarlanmalıdır. Eş-düzlemli Vivaldi anten düzlemsel bir anten olduğundan iki boyuttan bahsetmek daha doğru olacaktır. Bu boyutlar antenin

uzunluğu ve genişliğidir. Çalışma frekansının etkin bir biçimde ayarlandığı kısım antenin uzunluğudur. Antenin genişliğinin ise uzunluğuna göre etkisi çok değildir.

Antenin uzunluğu alt frekans bölgesinin dalga boyunun en az yarısı kadar olması gerekmektedir. Şekil 5. 2' de Eş-düzlemlili Vivaldi anten parametrelerine yer verilmiştir. E ile sembolize edilen kısım antenin uzunluğunu göstermektedir.

Vivaldi anteni bir başka önemli parametresi ise antenin çıkışındaki iki eğri arasında kalan mesafedir. Bu kısmı ağız açıklığı diye tabir edebiliriz. Şekil 5. 2' de C ile gösterilmiştir. Önceki kısımlarda antenin giriş empedansının  $50 \Omega$  ' a ayarlanması gerektiğinde söz etmiştik. Antenin ağız açıklığı ise çıkış empedansının ayarlandığı bölgedir. Antenin çıkış empedansının, havanın empedansı olan  $377 \Omega$  ( $120 \Pi$ ) olması gerekmektedir.

Antenin girişi ile çıkışı arasında kalan bölgede empedans geçişi çok yumuşak bir biçimde olduğu için  $50 \Omega$  ' dan  $377 \Omega$  ' a ideal bir biçimde geçilmiş olur. Bu yumuşak geçiş antenin üzerinde bulunan üstel eğri profili sayesinde olmaktadır. Teoride sınırsız bir bant genişliği sağlanmaktadır.

Bir diğer önemli parametre ise üstel eğrilerin kavsidir. Anten uzunluğu ve ağız açıklığı ile frekans bandı büyük ölçüde ayarlanmaktadır. Üstel eğriler ile çalışma bandı içerisinde düzletmeler yapılabilmektedir. Şekil 5. 2' de B ile gösterilmektedir.

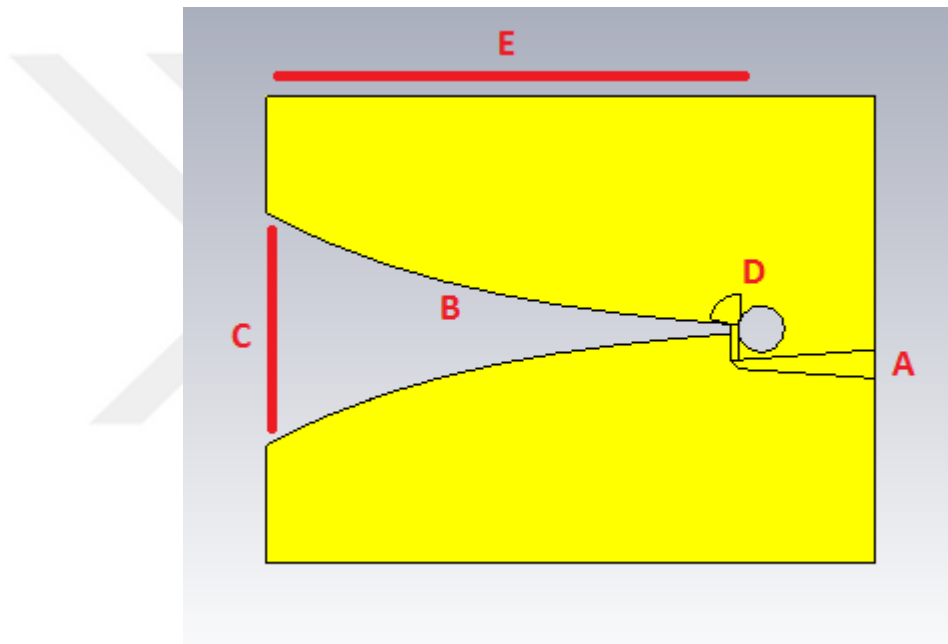
Eş-düzlemlili Vivaldi antene mikroşerit hat ile besleme yapılmaktadır. Akım bir miktar bu hat üzerinden ilerler daha sonra alt taraftaki ışına düzlemide geçer ve bu kısımdan havaya aktarılır. Bu kısımda önemli iki parça bulunmaktadır.

İlk parça PCB' nin üst kısmındaki mikroşerit hattın, alt kısmındaki boşluklu yapıya geçiş kısmıdır. Bu iki bölge arasında fiziksel bir hat bulunmamaktadır. Akımın geçişi mikroşerit hattın sonunda bir yama parçası bulunmaktadır. Bu yama parçası akımı kuplaj yolu ile üst kısımdaki boşluklu yapıya aktarır.

İkinci parça PCB' nin üst kısmındaki ışına düzlemidir. Alt kısımdan kuplaj olan akım ışına düzleri üzerinden havaya aktarılır. Akımın büyük çoğunluğu ışına düzlemi üzerindeki üstel eğrileri takip eder. Bu proje kapsamında eş-düzlemlili Vivaldi antenin ışına düzlemine bazı yarıklar açarak bu akımların daha fazlasının üstel eğriler

üzerinden geçmesi amaçlanmıştır. Akımın üstel eğrilerin üzerinden akmasının bir sonucu olarak, ışıma düzleminin dış kısımlarındaki akımlar azaltılarak ışıma desenindeki yan kulakçık seviyeleri azaltılmıştır.

Bu çalışmanın ana hedefi çok geniş bantlı eş-düzlemli Vivaldi antenin kazancının değişmeden yataydaki ışıma hızmesini arttırmaktır. Klasik eş-düzlemli Vivaldi antenler ile  $30^{\circ} - 35^{\circ}$  yatayda hızme sağlanabiliyorken geliştirilen yarıklı eş-düzlemsel Vivaldi anten ile kazanç değişmeden  $60^{\circ}$  lik yatayda hızme genişliği elde edilmiştir. Düşeydeki hızmede bir değişim gözlemlenmemiştir.



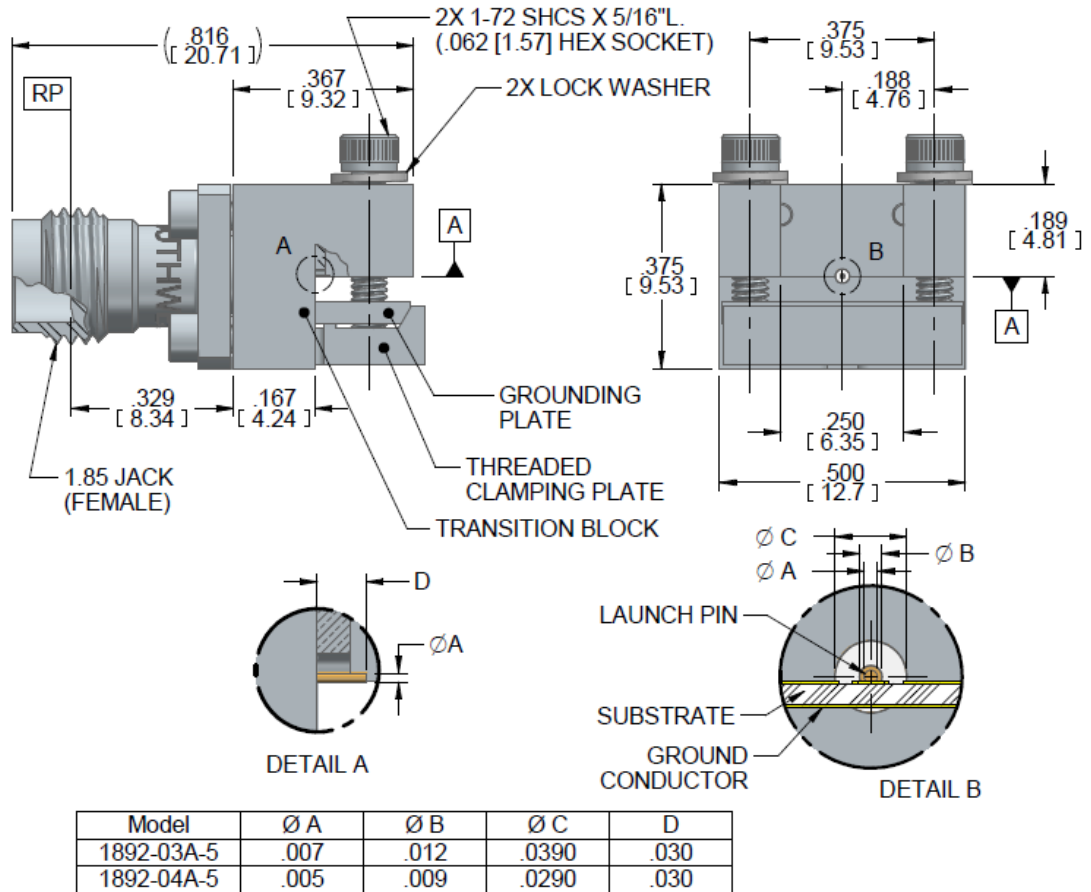
Şekil 5. 2 Eş-düzlemli Vivaldi Anten Parametreleri

### 5.3 Eş-Düzlemli Vivaldi Anten Lehimsiz Konektörü

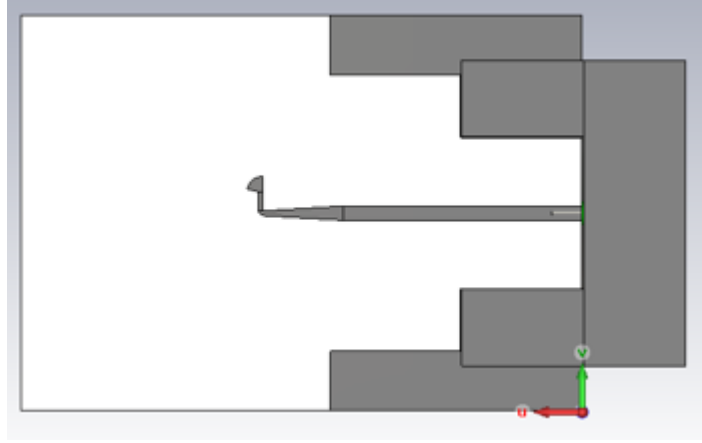
Milimetre dalga frekanslarında, yansıma ve kayıp çok önemli etkenlerdir. Bu parametreler üretim veya ölçüm kaynaklı olabilir. Bu tür durumlar ürün performansını çok etkilemektedir. Üretimi yapılan antenin ölçümü için özel konektörler kullanılmıştır. Bu konektör Şekil 5. 3' te gösterilmiştir. Bu konektörün en önemli özelliği lehim olmaksızın antene entegre edilebilmesidir. Konektörün üzerinde bulunan karşılıklı iki vida ile sıkıştırılmaktadır.

Canlı uç kısmında standart 1.85 mm' lik konektör kullanılmaktadır. 1.85 mm' lik konektörler 67GHz' e kadar kullanılabilir. 67GHz' in üstündeki frekanslarda 1 mm' lik konektörler kullanılmaktadır.

Anten tasarımı yapılırken simülasyonlarda bu konektörün birebir modeli kullanılmıştır. Konektörün 3 boyutlu katı modeli üreticiden tedarik edilmiştir (Şekil 5. 4).



Şekil 5. 3 Lehimsiz Milimetre Dalga Konektör



Şekil 5. 4 Anten ve Konektörün 3 Boyutlu Gösterimi

#### 5.4 Eş-Düzlemlı Vivaldi Anten Simülasyon Sonuçları

Bu bölümde üç boyutlu elektromanyetik analiz yapabilen bir program olan CST Microwave Studio yardımı ile anten simülasyonları yapılmıştır. Bu simülasyonlarda elde edilen sonuçlara göre anten üretimine gidilmiştir.

RF tabanlı tasarımlarda genellikle ilk bakılması gereken S11 parametresidir. Bu parametre, kaynaktan aktarılan sinyalinin ne kadarının geriye döndüğünü göstermektedir. Çalışma bandı boyunca bu değerin düşük olması sistem için istenilen bir durumdur. Genellikle anten uygulamaları için -10 dB yeterli kabul edilir. -10 dB sisteme aktarılan gücün %10' unun geriye döndüğünü göstermektedir. S11 parametresi sistemin empedans uyumluluğunu göstermektedir. Anten uygulamalarında düşük bir S11 değeri beklenmektedir. Bu yüzden antenin giriş kısmından çıkışına kadar iyi bir biçimde empedansının uydurulması gerekmektedir.

Eş-düzlemlı Vivaldi anteler için özellikle giriş ve çıkış empedansı çok önemlidir. Eş-düzlemlı Vivaldi anten çeşitli yöntemler ile besleme yapılmaktadır. Bu beslemenin yapıldığı kısım olan giriş empedansı çok iyi uydurulmalıdır. Piyasada satılan birçok konektör 50  $\Omega$  a göre uydurulmaktadır. Antenin giriş kısmının da 50  $\Omega$  yapılması gerekmektedir. Eş-düzlemlı Vivaldi antenin giriş katı standart mikroşerit hat olduğu için klasik empedans hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Antenin çıkış kısmında hava ortamı bulunmaktadır. Havanın empedansının 377  $\Omega$  olduğunu için antenin çıkış kısmının bu empedansa uydurulması gerekmektedir. Çıkış katının empedansı

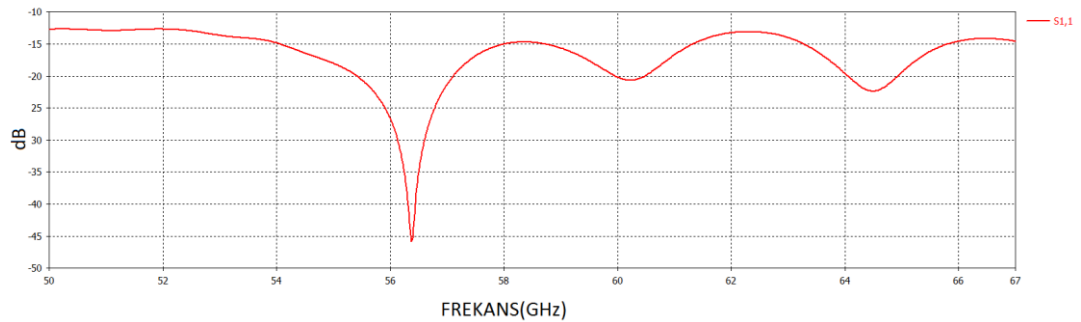
simülasyon programı yardımı ile hesaplanmıştır. Giriş ve çıkış katı arasındaki empedans uydurma işlemi için birçok parametre kullanılabilir. Bu parametreler aşağıda gösterilmektedir;

Bu parametreler aşağıda gösterilmektedir;

- Antenin ışınma düzlemi üzerinde bulunan eğrilerin kavisini
- Sinyalin mikroşerit hattın ışınma düzlemine aktarıldığı yamanın konumu ve boyutları
- Sinyalin mikroşerit hattın ışınma düzlemine aktarıldığı bölgedeki slot' un çapı
- Antenin ağız açıklığının genişliği
- Giriş ve çıkış empedansı

Eş-düzlemlili Vivaldi antenlerin ışınma yüzeyi taper yapısına sahiptir. Taper yapısı empedans geçişlerine yumuşak bir biçimde sağlamaktadır. Sonuç olarak, Vivaldi antenin giriş ve çıkış empedanslarının iyi bir biçimde uydurulduğu durumlarda beklenen S11 parametresi kolayca elde edilebilmektedir.

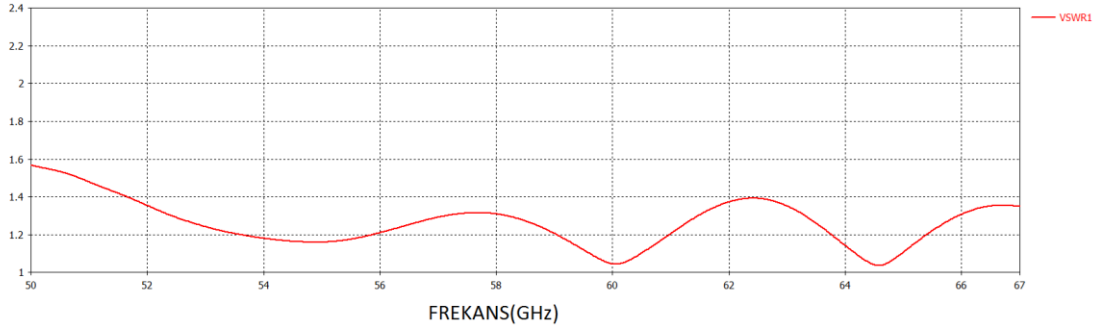
Eş-düzlemlili Vivaldi antenin geniş bantlı empedans uydurması yapılmaktadır. Tasarımı gerçekleştirilen Vivaldi antenin 50GHz' den 67GHz' e kadar bir çalışma bandı bulunmaktadır (Şekil 5. 5). Elde edilen S11 parametresi konektör ile birlikte alınmıştır.



Şekil 5. 5 Antenin S11 simülasyon Grafiği

VSWR değeri, S11 parametresi gibi geri dönüş kaybı ile alakalı bilgi vermektedir. Literatürde VSWR değeri de kullanılmaktadır. S11 grafiğindeki -10 dB, VSWR grafiğinde 2' ye denk gelmektedir (Şekil 5. 6). İki parametre (5.1) nolu denklem ile birbirine dönüşebilmektedir.

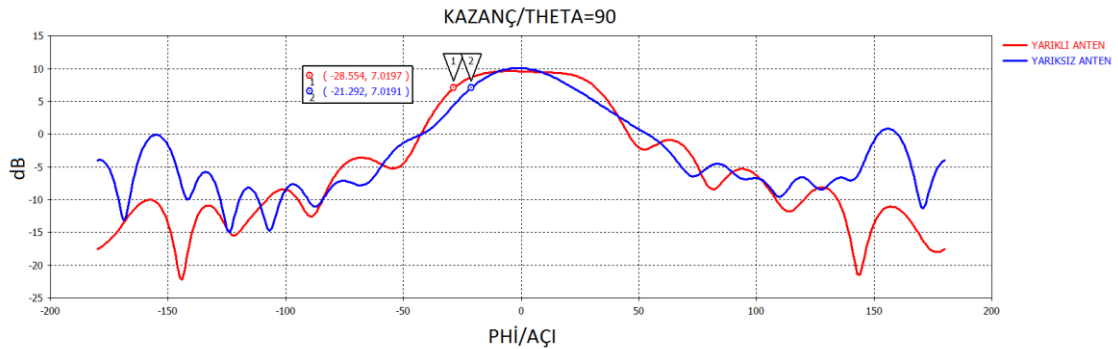
$$RL = -20 \log \left[ \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right] \quad (5.1)$$



Şekil 5. 6 Antenin VSWR Simülasyon Grafiği

Bu tez kapsamında amaçlanan, geliştirilen eş-düzlemlı vivaldi anten ile klasik eş-düzlemlı vivaldi anten arasındaki yatay hüzme performansı farkının incelenmesidir. Klasik eş-düzlemlı vivaldi anten yarıksız anten, geliştirilen vivaldi anten ise yarıklı anten diye isimlendirilmiştir.

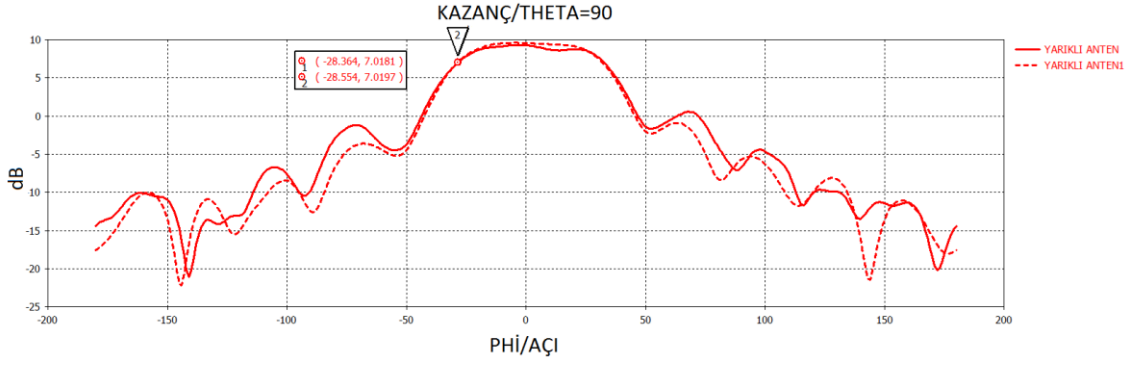
Simülasyon sonuçlarından elde edilen sonuçlarda, beklenildiği gibi anten üzerindeki yarıklı yapılar sayesinde akım yoğunluğunun büyük bir kısmı ana huzmede toplanmıştır. Bu sayede yan kulakçık oluşturan akımlar azaltılmış oldu. Yan kulakçıkların azalması ile birlikte yarı güç hüzme genişliğinde  $15^\circ$  'lik artış görülmüştür (Şekil 5. 7).



Şekil 5. 7 Yarıklı Vivaldi Anten ile Yarıksız Vivaldi Anten Işıma Desenleri

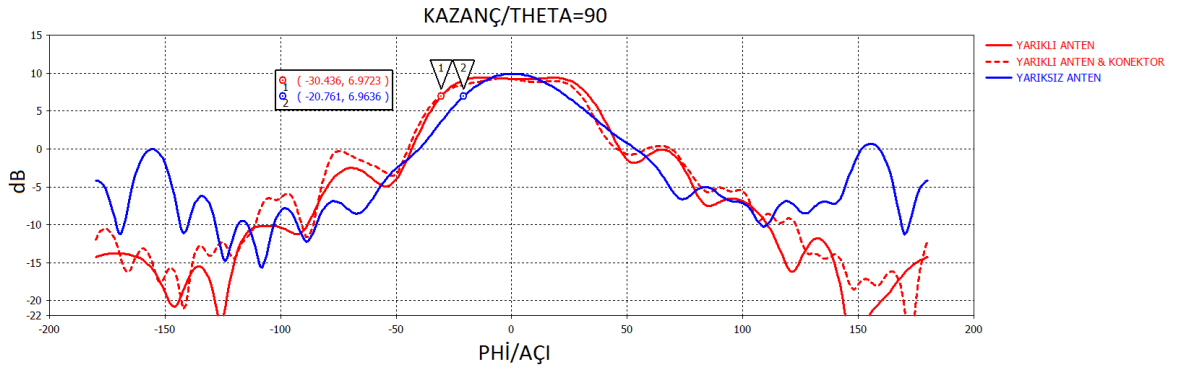
Geliştirilen antenin simülasyon ortamında iki farklı ölçümü alınmıştır. Şekil 5. 8' de gösterilen kesikli eğri, konektör modeli eklenmemiş anten ölçümünü göstermektedir. Düz çizgi ile gösterilen eğri ise konektör modelinin eklendiği ölçümdür. İki ölçüm

arasında çok bir farkın olmadığı gözlemlenmiştir. Bu durumda konektör ile birlikte tasarlanan geçiş kısmı antene çok etkisinin olmadığı gösterilmiştir.



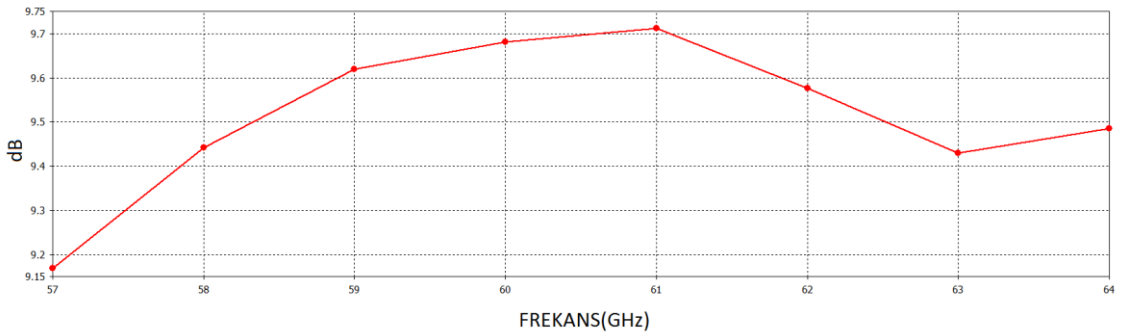
Şekil 5. 8 Yarıklı Vivaldi Antenin Konektörlü ve Konektörsüz Işıma Desenleri

Şekil 5. 9’ da alınan 3 farklı sonuç üst üste gösterilmektedir.



Şekil 5. 9 Yarıklı ve Yarıksız Vivaldi Antenlerin Işıma Desenleri

Farklı frekans değerlerindeki ana hüzme kazancı Şekil 5. 10’ da gösterilmektedir.

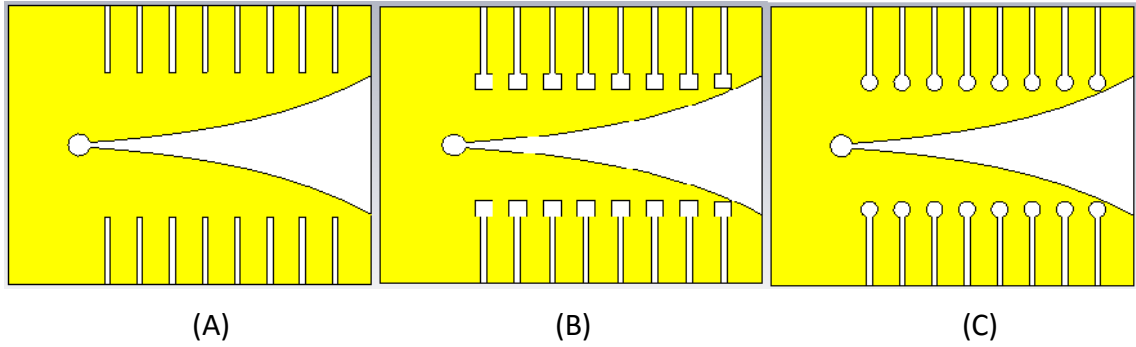


Şekil 5. 10 Frekans Bandı Boyunca Ana Hüzme Kazancı

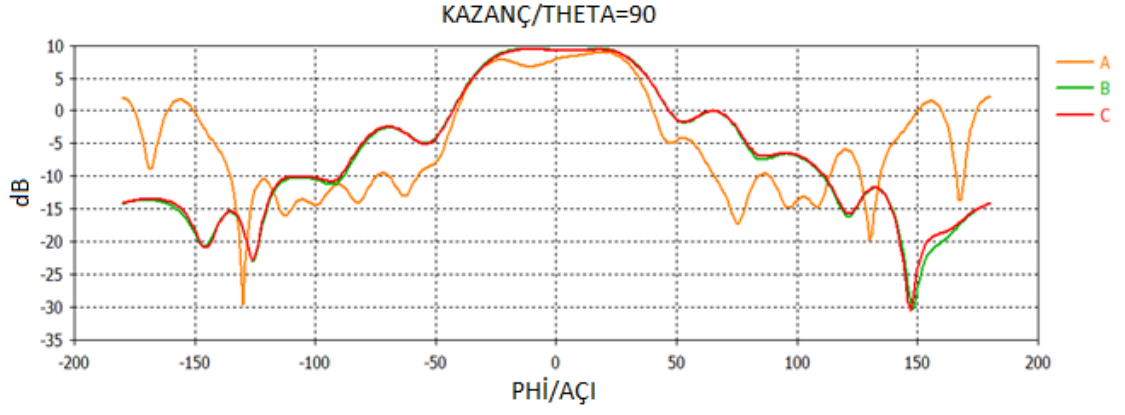
Tezin bu kısmında geliştirilen vivaldi anten üzerindeki yarıkların farklı modellemesi yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları karşılaştırmalı olarak eklenmiştir. Eş-düzlemli Vivaldi antenin ışınma düzlemine açılan yarıklar iki parçadan oluşmaktadır. Bunlar, düz çubuk şeklindeki ve kare veya yuvarlak şekilli olan yarıklardır. Üç farklı anten modelinde sadece düz yarıkların devamındaki yarıkların şekilleri farklılık göstermektedir (Şekil 5. 11).

Farklı tasarımlara sahip 3 modelin performansları karşılaştırılmıştır. Öncelikle S11 parametresi incelenmiştir (Şekil 5. 12). Düz yarıklara ilave olarak kare yarıklar (B) ve yuvarlak yarıkların (C) olduğu antenlerin performanslarının iyi olduğu gözlemlenmiştir. Ancak sadece düz yarıklara sahip olan (A) vivaldi antenin diğer iki antene göre daha kötü bir empedans uydurmasının olduğu gözlemlenmiştir.

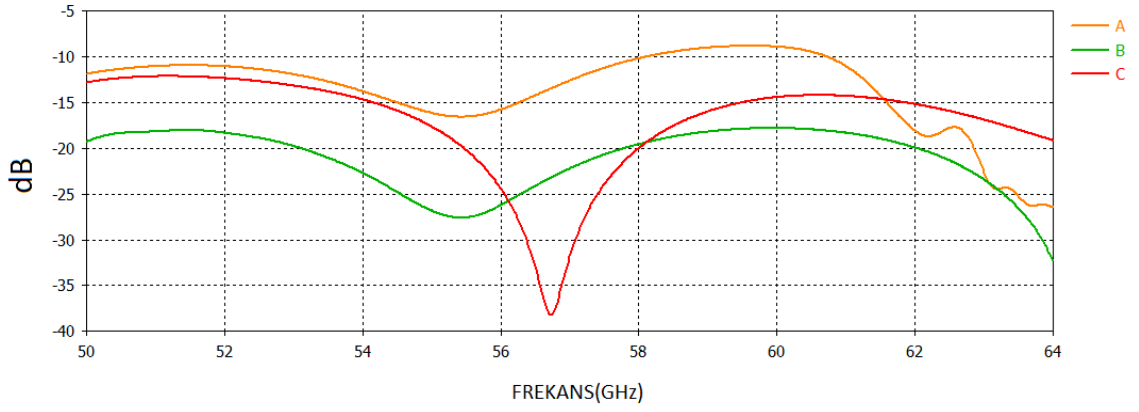
İkinci olarak ışınma desenleri incelenmiştir (Şekil 5. 13). S11 performansında olduğu gibi, düz yarıklara ilave olarak kare yarıklar (B) ve yuvarlak yarıkların (C) olduğu antenlerin birbirine çok yakın performanslarının olduğu gözlemlenmiştir. Ancak sadece düz yarıklara sahip olan (A) vivaldi antenin diğer iki antene göre HPBW içerisinde kazançta azalma ve yan lob seviyesinin artması gibi sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5. 11 Eş-Düzlemli Vivaldi Anten Üzerinde Farklı Yarık Modelleri



Şekil 5. 12 Eş-Düzlemlili Vivaldi Anten Farklı Yarık Modellerinin Işıma Deseni



Şekil 5. 13 Eş-Düzlemlili Vivaldi Anten Farklı Yarık Modellerinin S11 Grafiği

### EŞ DÜZLEMLİ VIVALDİ ANTEN ÖLÇÜM SONUÇLARI

Millimetre dalga frekanslarında iki farklı Eş-düzlemlı Vivaldi anten üretimi ve ölçümleri yapılmıştır. İki antenin çalışma frekansları aynıdır. Eş-düzlemlı Vivaldi anten üzerine belli açılan geometriler ile açılan yarıklar sayesinde hüzme performansında iyileştirme sağlanmıştır. Eş-düzlemlı Vivaldi anten üzerindeki bu iyileştirmenin amacı kazancın düşmesine engel olarak antenin yatay hüzme genişliğinin arttırmaktır.

Millimetre dalga frekansı olan 60 GHz lisansız çalışma bandı birçok uygulamayı barındırmaktadır. Günümüzde bir çok yarı iletken entegre eleman üreten firma millimetre dalga frekanslarında ürün çıkarmaktadır. Bunlar içerisinde en güncel olanları 60 GHz ve 80 GHz frekanslarındaki transceiver entegre elemanlardır. Bu ürünler için en güncel uygulama alanlarından bir tanesi kısa mesafedeki baz istasyonlarının bir biri ile haberleşmesini sağlayan yüksek hızlı radyo linklerdir.

Güncel olarak baz istasyonlarının haberleşmesi iki şekilde yapılmaktadır. Bunlar fiber optik kablo ve radyo linklerdir. Fiber optik kabloların uygulamalardaki zorluklarından dolayı bazı yerleşim bölgelerinde kablosuz çözüm sunan radyo linkler tercih edilmektedir. Bu uygulama için yüksek kazançlı ve dar hüzmeli antenler kullanılmaktadır.

Baz istasyonlarının yanı sıra millimetre dalga çalışma frekans bandı indoor uygulamalar içinde kullanılmaktadır. 3 metreye kadar olan yakın mesafeler için çok yüksek veri hızına sahip modemler güncel ürün olarak piyasada yer almış durumdadır. Yakın mesafe uygulaması için en kritik özelliklerden bir tanesi modemin küçük ve kompakt

olmasıdır. Ayrıca üzerindeki antenin hüzme genişliğinin radyo linklerdekine aksine geniş olması gerekmektedir. Bunun nedeni radyo linklerin noktadan noktaya haberleşen sabit modemler olmasıdır. Indoor modemler ise sabit modemler değildir. Bu yüzden hüzmesinin çok dar olmaması gerekmektedir.

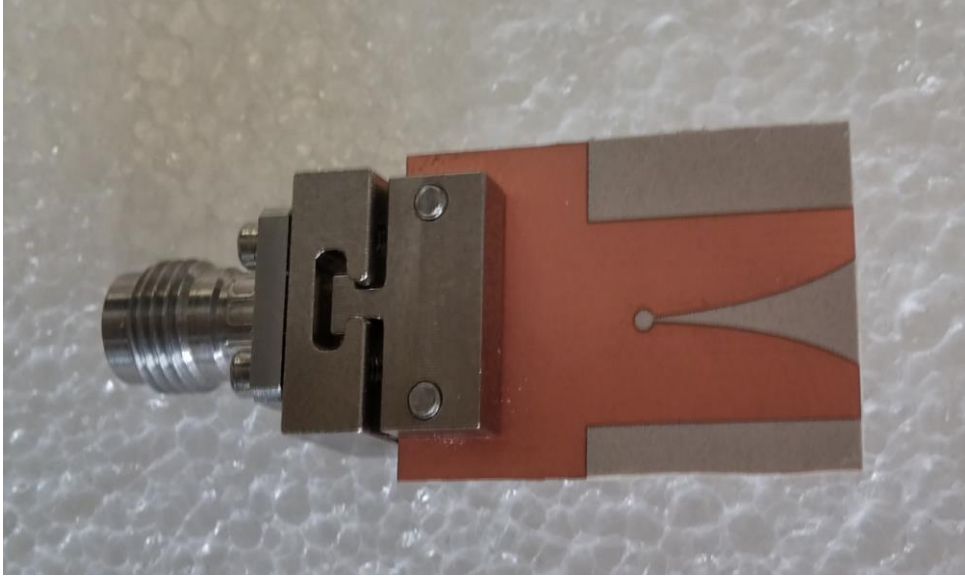
60 GHz frekansının en belirgin özelliğinin kayıplarının çok yüksek olduğundan bahsetmiştik. Kayıplarının yüksek olması bazı avantajları yanında getirmektedir. Sinyalin çok çabuk zayıflamasından ötürü etrafından neredeyse hiç yansıma almamaktadır. Bu sayede geniş hüzmeli ve indoor olarak kullanılmasına engel olmamaktadır.

Kayıpların çok fazla olduğu milimetre dalga frekanslarında haberleşmenin sağlıklı bir biçimde sağlanabilmesi için anten kazanç değeri önem kazanmaktadır. Bu tez kapsamında tasarımı yapılan eş-düzlemlili Vivaldi antenin temel amacı kazancın sabit kalması sağlanarak, yatay hüzme genişliğinin artırılmasını sağlamaktır. Güncel eş-düzlemlili Vivaldi antenlerin yatay hüzme genişlikleri  $30^\circ$  ve  $40^\circ$  arasında değişmektedir. Bu hüzme genişliklerinde 10 dBi'lik kazanç sunmaktadır. Geliştirilmiş eş-düzlemlili Vivaldi anten ile  $60^\circ$  yatay hüzme genişliği sağlanmıştır. Bunun yanında kazanç değeri 10 dBi olarak kalmıştır. Simülasyon sonuçları ve ölçüm sonuçları ile bunu desteklemiş bulunmaktayız.

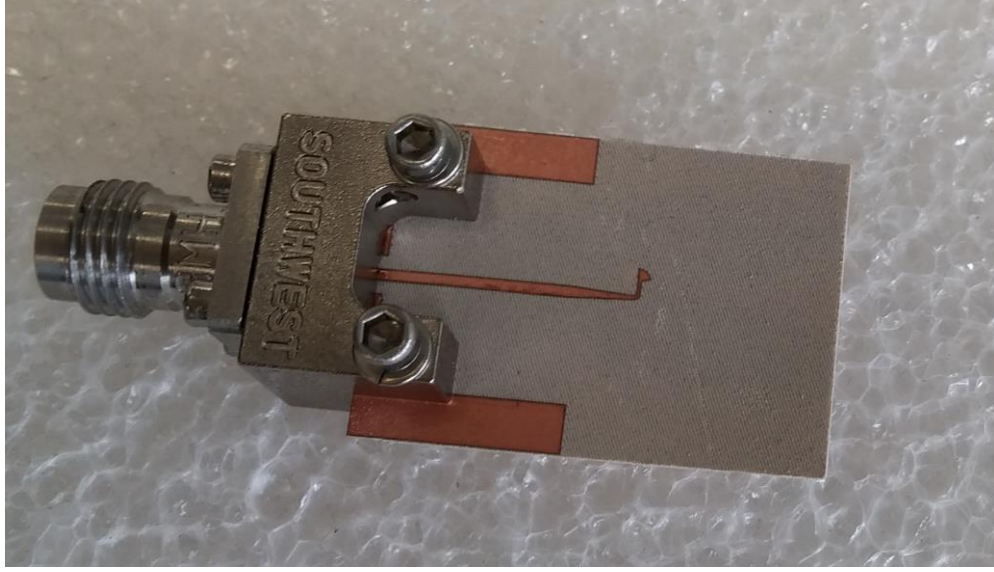
### **6.1 Eş-Düzlemlili Vivaldi Anten Tasarımı**

Anten, toplam boyutları 10 mm x 13 mm olarak tasarlanmıştır. Empedans uyumluluğu ve anten performansı en az etkilenecek şekilde ölçüm alabilmek için anten boyutları sabit kalacak biçimde bir geçiş bölgesi ilave edilmiştir. Anten boyutunun konektöre göre küçük olduğu gerçeği göz önünde bulundurularak, konektörün bağlanması durumunda antenin çalışma performansının değişebileceği öngörülebilir. Bu amaçla, üretim veya ölçüm hatalarını en aza indirmek için kullanılan konektörün antene etkisi simülasyon ortamında 3 boyutlu modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Eş-düzlemlili Vivaldi anten üç temel kısımdan oluşmaktadır. Şekil 6. 1' de üretilen eş-düzlemlili Vivaldi antenin resmi gösterilmiştir. Anteni, sinyalin taşındığı mikroşerit hat, mikroşerit hattan boşluklu hatta geçiş kısmı ve ışımının yapıldığı üstel eğriler diye üçe ayırabiliriz. Işıma

eğrilerinin üstel olması sayesinde, giriş empedansının çıkış empedansına uydurulması oldukça kolay gerçekleşmektedir. Ayrıca bu özelliği sayesinde çok geniş bantlı empedans uydurma imkânı sağlanmaktadır. Eş-düzlemlili Vivaldi anten için, ağız açıklık kısmı, üstel eğrilerin kavisi ve mikroşerit hattın boşluklu hatta geçiş kısmı en önemli tasarım parametreleridir. Eş-düzlemlili Vivaldi antenin iletim hattı Şekil 6. 2' de yer almaktadır. Eş düzlemlili Vivaldi antenin ışınma düzlemlerinin artırılması ile kazanç artırılabilir. Buna karşılık S parametresinin kötüleştiği ve ana hüzmenin ortasında kazancın azaldığı gözlenmiştir. S parametresini etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesi de mikroşerit hattın boşluklu bölgeye geçiş kısmıdır. Çember şeklindeki boşluklu yapının çapı ve konumunun çok iyi optimize edilmesi gerekmektedir. Antenin sonundaki ağız açıklığı genişliğinin S parametresine ve ışınma desenine etkisi vardır. Ağız açıklığının  $\lambda/2$ 'nin katları seçilerek yapılan tasarımların daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

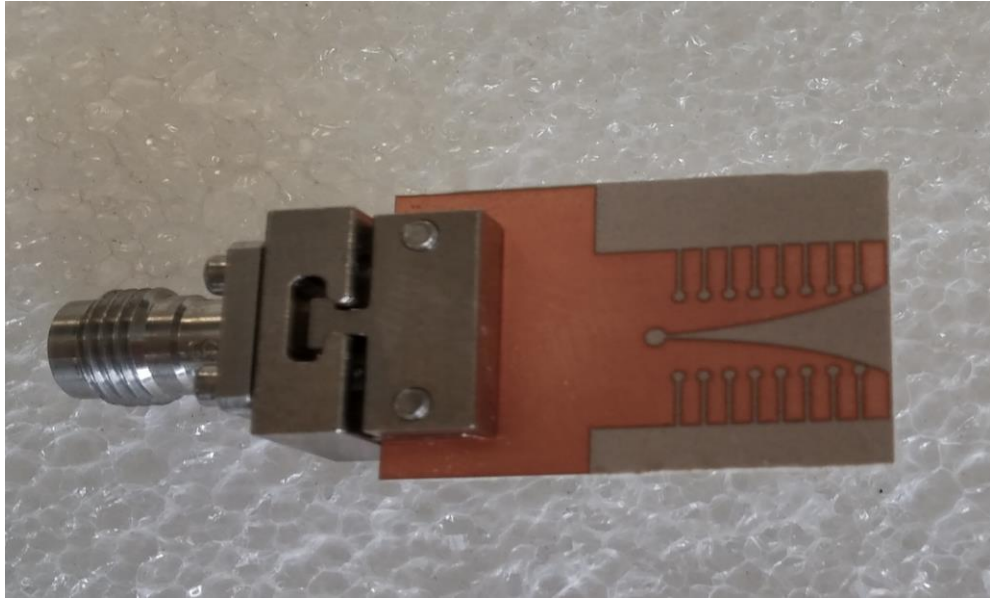


Şekil 6. 1 Eş-Düzlemlili Vivaldi Anteninin Işınma Düzlemi



Şekil 6. 2 Eş-Düzlemlı Vivaldi Antenın Besleme Hattı

Eş-düzlemlı Vivaldi anten üzerine açılan yarıklar ile anten performansındaki etkisine önceki kısımlarda değınılmışti. Geliştirilmiş eş-düzlemlı Vivaldi anten Şekil 6. 3' te yer almaktadır.



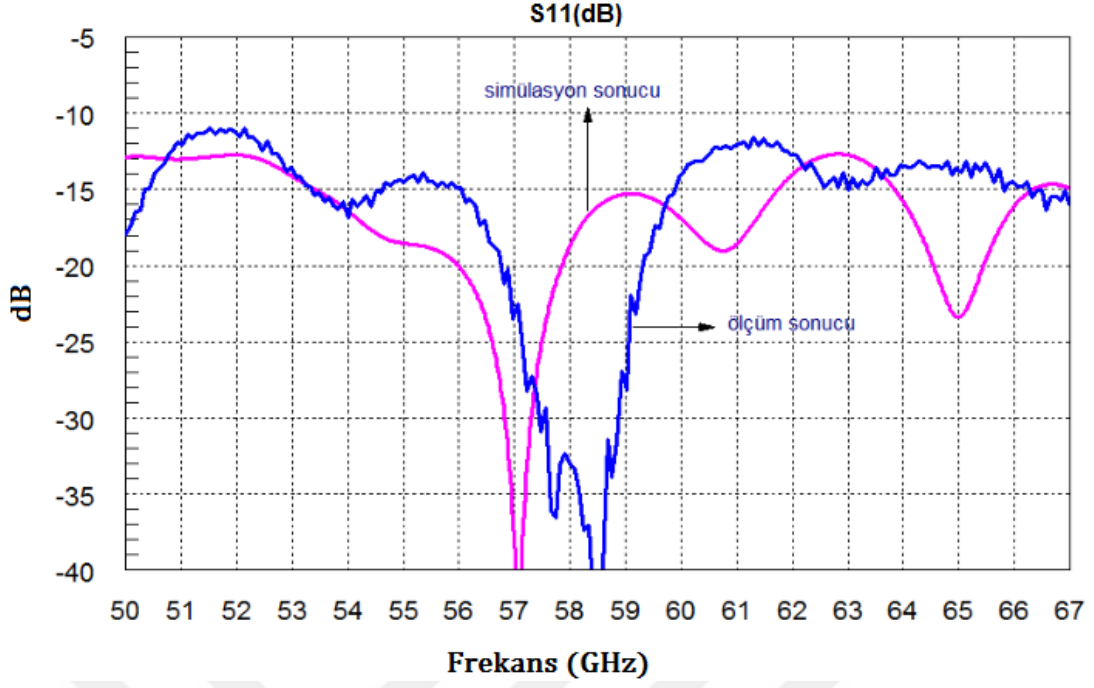
Şekil 6. 3 Geliştirilen Eş-Düzlemlı Vivaldi Antenın Işıma Düzlemi

Geliştirilen Vivaldi antende en büyük hedeflerden bir tanesi yataydaki hüzmeye genişliğinin artırılmasıdır. Bu amaçla yapılan çalışma neticesinde, eş-düzlemlili Vivaldi antene göre daha geniş bir yatay hüzmeye sağlanırken geri yansımaların da azaldığı gözlemlenmiştir.

Vivaldi antenin ışınım yüzeyine karşılıklı simetrik olacak şekilde eklenen boşluklar sayesinde yan kulak seviyeleri azaltılıp bu antenin ana hüzmeye kazancı aynı kalacak şekilde yatay hüzmeye genişletilmiştir. Işınım yüzeyine açılan yarıklar sayesinde, yüzey akımlarının üstel eğriler üzerinde yoğunlaşması sağlanmıştır. Bu sayede yan kulakların etkisi azaltılmıştır. Işınım yüzeyine açılan yarıkların başlangıç konumu, boyutları ve sayısı ışınım desenini etkilemektedir. Yarıkların sayısı artırılarak yan kulak seviyesi düşürülebilir ancak bu ışınım deseninde bölgesel bozulmalara neden olmaktadır. Yarıkların boyutu küçüldükçe daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Üretim toleransları nedeniyle bu kısımda 0.2 mm'den daha küçük yarıklar açılmamıştır.

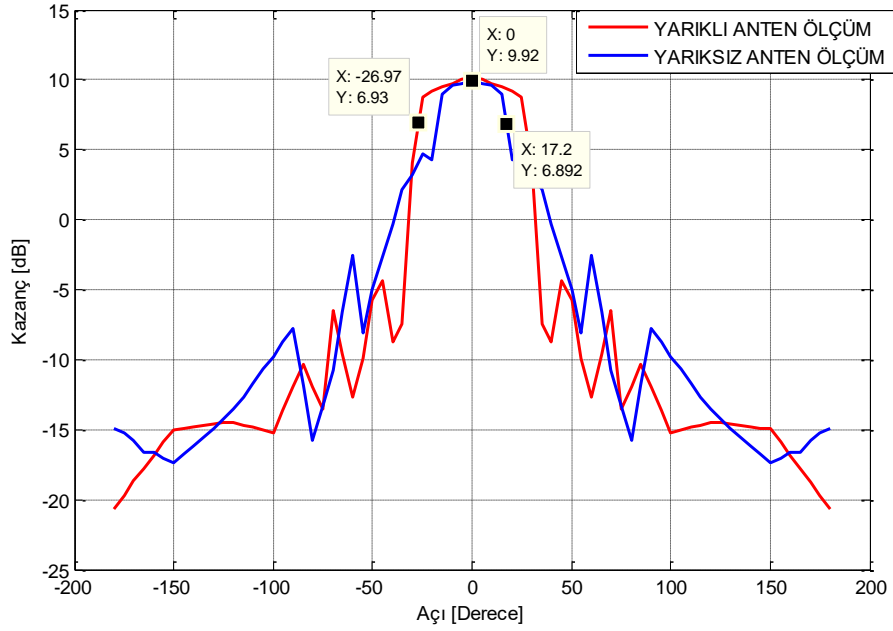
## **6.2 Eş-Düzlemlili Vivaldi Anten Ölçüm Sonuçları**

Vivaldi antenler, çok geniş bantlı empedans uyumluluğunu kolaylıkla sağlayabildikleri için özellikle mikrodalga ve milimetre dalga frekans bölgesindeki uygulamalarda oldukça kullanışlıdır. Geliştirilmiş Vivaldi antenin S11 sonuçları Şekil 6. 4' te yer almaktadır. Simülasyon sonuçları 3 boyutlu elektromanyetik analiz programı olan CST yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Şekilde simülasyon sonuçları ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçları 50 GHz ile 67 GHz arasında alınmıştır ve S11 değerinin tüm bant boyunca -12 dB' nin altında olduğu görülmektedir.



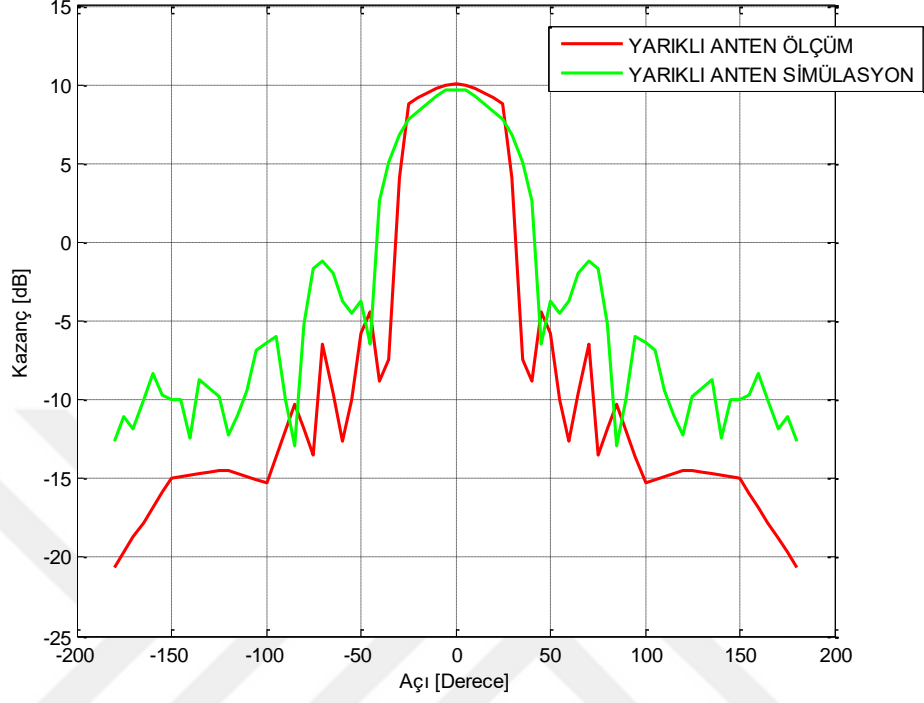
Şekil 6. 4 S11 Ölçüm Sonucu ve Simülasyon Sonucunun Karşılaştırılması

Bu tez kapsamında tasarımı, üretimi ve ölçüleri yapılan eş-düzlemlı vivaldi antenin temel amacı yataydaki hüzmeye genişliğinin artırılmasıydı. Kasık eş-düzlemlı vivaldi antene göre kazanç değişmeden  $15^\circ$  daha fazla hüzmeye genişliği elde edilmiştir (Şekil 6. 5).



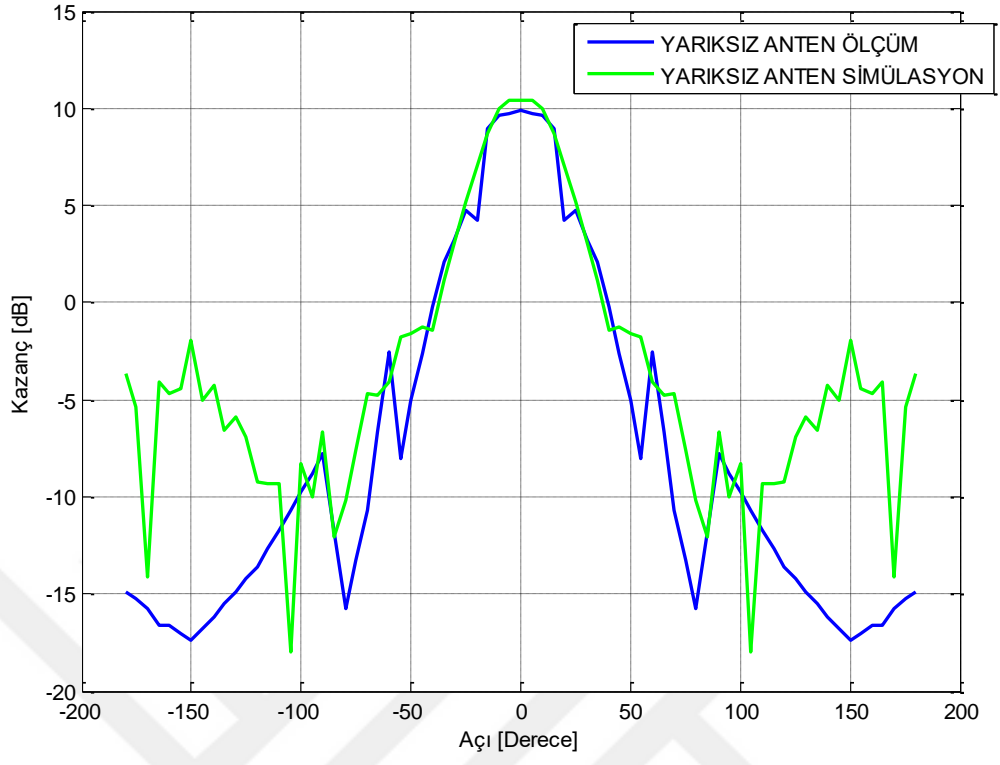
Şekil 6. 5 Yarıklı ve Yarıksız Eş-Düzlemlı Vivaldi Antenin Işıma Deseni Ölçüm Sonucu

Şekil 6. 6' da Yarıkli Vivaldi antenin ışıma deseninin simülasyon ve ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. 6 Yarıkli Eş-Düzlemlı Vivaldi Antenin Ölçüm ve Simülasyon Sonucunun Karşılaştırılması

Şekil 6. 7' de Yariksız Vivaldi antenin ışıma deseninin simülasyon ve ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. 7 Yarıksız Eş-Düzlemlı Vivaldi Antenın Ölçüm ve Sımülasyon Sonucunun Karşılaştırılması

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde, kablosuz haberleşmeye ve geniş bant kullanımına olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Yeni oluşturulan standartlar ile birlikte mikrodalga ve milimetre dalga frekanslarında geniş bant kullanımına müsaade edilmektedir. Bu standartlar geniş bant kullanımı nedeniyle yüksek veri hızlarını desteklemektedir. Antenler bir modem sisteminin alt parçalarından bir tanesidir. Geniş bantlı modemler için bantın tamamında çalışabilen anten tasarlanmak gerekmektedir. Bu tez çalışmasının amacı milimetre dalga frekanslarındaki modem uygulamalarını destekleyecek geniş bantlı bir anten tasarımıdır.

Çok geniş bantlı olarak geliştirilen Vivaldi anten, milimetre dalga boyu kablosuz haberleşme uygulamaları için etkin bir çözüm sunmaktadır. Boyutların küçük ve üretimin ucuz olması nedeniyle kompakt sistemler için elverişlidir. Bu tezde, Vivaldi antenin yataydaki hüzme genişletme çalışmasından bahsedilmiştir. Antenin ışıma düzlemine karşılıklı olarak açılan yarıklar sayesinde yüzey akımlarının ışıma eğrileri üzerine yoğunlaşması sağlanmıştır ve bu sayede yan lob seviyeleri azaltılıp yatay hüzme genişliği arttırılmıştır. Eş-düzlemlili Vivaldi ile geliştirilen Vivaldi anten arasındaki yatay hüzme genişliği farkı simülasyon sonuçları ile gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında geri dönüş kaybı ve yataydaki ışıma deseni ölçümü yapıp, simülasyon sonuçları ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Theodore S. Rappaport, Robert W. Heath Jr., Robert C. Daniels ve James N. Murdock, (2014). "Millimeter Wave Wireless Communications", Prentice hall, 3.
- [2] IEEE 802.11ad, (2014). Telecommunications and information exchange between systems, IEEE, Part 11
- [3] Sang-Gyu Kim ve Kai Chang, (2004). "A low cross-polarized antipodal Vivaldi antenna array for wideband operation", Antennas and Propagation Society International Symposium, 2269-2272.
- [4] P.J. Gibson, (1979). "The Vivaldi aerial", Proceedings of the 9th European Microwave Conference, 101–105.
- [5] G. K. Pandey, H. S. Singh, P. K. Bharti, A. Pandey ve M. K. Meshram, (2015). "High gain Vivaldi antenna for radar and microwave imaging application", International Journal of Signal Processing Systems.
- [6] E. Gazit, (1988). "Improved design of the Vivaldi antenna", IEE Proceedings H Microwaves, 89.
- [7] J. D. S. Langley, P. S. Hall, ve P. Newham, (1996). "Balanced antipodal Vivaldi antenna for wide bandwidth phased arrays", IEE Proceedings H Microwaves, 97.
- [8] David M. Pozar, (1998). Microwave Engineering, Fourth Edition, John Wiley and Sons, New Jersey.

- [9] Özer, C., (2014). Yüzey Arkası Görüntüleme Radarı İçin Çok Geniş Bantlı Yansıtıcı Anten Tasarımı, Bitirme Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [10] Constantine A. Balanis, (2005). Antenna Theory, Third Edition, John Wiley ve Sons, New Jersey.
- [11] Microwave Journal, The 5G mmWave Radio Revolution, <http://www.microwavejournal.com/articles/27056-the-5g-mmwave-radio-revolution>, 5 Ekim 2016.
- [12] Erdoğan, Y., (2009). Patametric Study and Design Of Vivaldi Antennas and Arrays, Yüksek Lisans Bitirme Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- [13] Radar Tutorial, Phased Array Antenna, <http://www.radartutorial.eu/06.antennas/Phased%20Array%20Antenna.en.html>, 22 Eylül 2016.
- [14] KARAAĞAÇ, F. ve AKÇAM, N., (2006). "Faz Kaymalı Doğrusal Dizi Antenlerde Sıfır Noktalarının Kaydırılması Ve Örüntünün Şekillendirilmesi", URSİ, 6-8 Eylül 2006, Ankara.
- [15] J.F. Zurcher ve F.E. Gardiol, (1995). "Broadband Patch Antennas", Artech House.
- [16] George E. Ponchak ve Alan N. Downey, (1986). "A New Model for Broadband Waveguide to Microstrip Transition Design", Lewis Reseach Center, NASA.
- [17] Rogers Corporation, RO3003 Laminates, <https://www.rogerscorp.com/acs/products/42/RO3003-Laminates.aspx>, 22 Eylül 2016.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Tahir DURMUŞOĞLU  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 09.01.1991 – RİZE  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : [tahirdurmusoglu@gmail.com](mailto:tahirdurmusoglu@gmail.com)

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece    | Alan                          | Okul/Üniversite              | Mezuniyet Yılı |
|-----------|-------------------------------|------------------------------|----------------|
| Y. Lisans |                               |                              |                |
| Lisans    | Elek. ve Hab.<br>Mühendisliği | Yıldız Teknik Üniversitesi   | 2015           |
| Lise      | Sayısal                       | Rize Anadolu Öğretmen Lisesi | 2010           |

### İŞ TECRÜBESİ

| Yıl      | Firma/Kurum                  | Görevi          |
|----------|------------------------------|-----------------|
| 2015-... | C2TECH Bilişim Teknolojileri | RF Donanım Müh. |
| 2014     | ASELSAN                      | Stajyer         |
| 2013     | TÜBİTAK                      | Stajyer         |

## **YAYINLARI**

### **Bildiri**

1. Durmusoglu, T., Torpi, H. ve Erkut, H.H., (2016). "Çok Geniş Bandlı Vivaldi Anten Tasarımı", VIII. URSI, 1-3 Eylül 2016, Ankara.

### **Proje**

1. TÜBİTAK – TEYDEB 1511 "Milimetre Dalga Boyunda Kısa Mesafede Yüksek Veri İletimi Sağlayan Radyolinklerin Geliştirilmesi " Projesi