



**T.C.  
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİZİ YAMA ANTEN TASARIMINDA  
YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANARAK ANTEN  
PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI**

**Özgür DÜNDAR**

**DOKTORA TEZİ**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Aralık 2017**

**KONYA**

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Özgür Dündar tarafından hazırlanan “Dizi Yama Anten Tasarımında Yapay Sinir Ağları Kullanarak Anten Parametrelerinin Hesaplanması” adlı tez çalışması 27/12/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Muciz ÖZCAN



#### Danışman

Yrd. Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN



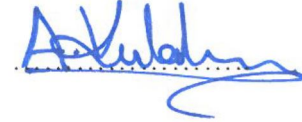
#### Üye

Doç. Dr. Ercan YALDIZ



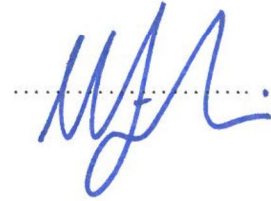
#### Üye

Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ



#### Üye

Yrd. Doç. Dr. Muhammed Fahri ÜNLERŞEN



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 10101029 nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

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

## DECLARATION PAGE

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



Özgür DÜNDAR

27/12/2017

**ÖZET**

**DOKTORA TEZİ**

**DİZİ YAMA ANTEN TASARIMINDA YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANARAK  
ANTEN PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI**

**Özgür DÜNDAR**

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Seyfettin Sinan Gültekin**

**2017, 114 Sayfa**

**Jüri**

**Doç. Dr. Muciz ÖZCAN**

**Doç. Dr. Ercan YALDIZ**

**Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ**

**Yrd. Doç. Dr. Muhammed Fahri ÜNLERŞEN**

**Yrd. Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN**

Günümüzde mobil haberleşme sistemleri, mekanlardan bağımsız olması, kullanıcıların özgürce hareket edebilmesi ve özellikle yüksek performans gerektiren tıp, radar, uydu, uçak ve füze haberleşme uygulamaları gibi pek çok sahada sıklıkla tercih edilmektedir. Mobil haberleşme sistemlerinin her geçen gün gelişmesiyle de beraberinde, yüksek performans ve band genişliği ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, mobil cihazların aynı anda ve hareketli ortamlarda kullanılmasının tercih edilmesi, taşınabilir boyutlarda tasarlanmalarına ve uzun süre dayanacak güç kaynaklarına ihtiyaç duymalarına neden olmuştur. Bu sebeple mobil cihazlarda kullanılan elemanların da özellikle antenlerin, düşük güç tüketimine sahip, küçük boyutlu ve yüksek bant ihtiyacını karşılayabilecek özelliklerde olmaları arzu edilmektedir.

Tek elemanlı bir antenin ışıma örüntüsü nispeten geniştir ama buna karşın tek bir elemanın kazancı düşük değerlerde olacaktır. Uzak mesafeli haberleşmenin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla çoğu uygulamalarda yüksek kazançlı antenlerin tasarlanması gerekmektedir. Bu sebeple, daha yüksek

performans gerektiren durumlarda dizi antenler tercih edilmektedir. Dizi antenlerde gerekli parametrelerde iyileştirmeler yapılmak suretiyle istenilen ışına örüntüsü elde edilebilir. Böylelikle hem kazanç, hem yönlendiricilik ve hem de band genişliği artırılmış olacaktır. Bu tez çalışmasında ise tek elemanlı antenlerle çok elemanlı antenlerin performansları birlikte değerlendirilmiştir. Bu amaçla tek elemanlı çalışmaların yanında 1x2, 1x3, 1x4 gibi mikroşerit dizi yama yapılar tasarlanmış, geri dönüş kaybı, band genişliği, kazanç, yönlendiricilik ve ışına verimi gibi elektriksel parametreleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Simülasyonları yapılarak elde edilen antenlerin en iyi performanslı yapıları üretilmiş ve deneysel sonuçları değerlendirilmiştir.

Tez çalışmada ilk olarak kablosuz hızlı internet erişimi WiMax için 2500 MHz frekansında çalışan dikdörtgen kesitli 1x4 mikroşerit dizi anten tasarlanarak üretimi yapılmıştır. Sonrasında, VSAT (Very Small Aperture Terminal), radyometrik yer bazlı yangın algılama, mikro elektromekanik sistemler, hafif radarlar gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ve bir Ku band uygulaması olan 16 GHz frekansında 1x4 mikroşerit dizi anten tasarlanarak üretimi yapılmıştır. Son olarak, GPS, bluetooth, doğrudan sayısal yayın, uydu haberleşmesi, modern kablosuz el cihazları, hücresel ses ve veri, Wi-Fi, GPS gibi kablosuz haberleşme ve akıllı telefonlar gibi birden fazla frekansta çalışabilen, üçlü band genişliğine sahip, 2500-3000-5000 MHz frekanslı 1x3 bir dizi mikroşerit anten tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca simülasyonları ve üretimleri yapılan mikroşerit yapıların fiziksel ve elektriksel performanslarını iyileştirme amaçlı yapay sinir ağları (YSA) kullanılmış, sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmalarda elektromanyetik yapıları sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan HFSS (High Frequency Structural Simulator) yazılımsal simülasyon programı kullanılmıştır. Ölçümler ise deney düzenekleri hazırlanmış bir laboratuvar ortamında Network Analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarda tasarımları ve üretimleri yapılan antenlerin en iyi elektriksel parametrelerinin performanslarını belirleyebilmek için mümkün olabilecek çok sayıda anten simüle edilmiştir. Ayrıca Ku band 16 GHz üretiminde, boyut küçültülmesi çalışması yapılarak literatürdeki benzer çalışmaya göre çok iyi sonuçlar alınmıştır. Üç band 2500-3000-5000 MHz rezonans frekanslı 1x3 mikroşerit dizi anten çalışması ise literatüre yeni kazandırılmış bir çalışmadır. Elektriksel sonuçları ve fiziksel boyutları itibarıyla de endüstriyel sahada kullanılabilecek başarılı bir ürün ortaya çıkarılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Mikroşerit Yama Antenler, Mikro Şerit Dizi Yama Antenler, Yapay Sinir Ağları, Farklı Yama dizi Antenler, HFSS

# **ABSTRACT**

## **Ph.D THESIS**

### **DETERMINATION OF DESIGN PARAMETERS OF PATCH ANTENNA ARRAY USING NEUREL NETWORKS**

**Özgür DÜNDAR**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
SELÇUK UNIVERSITY**

**THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY  
IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN**

**2017, 114 Pages**

**Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Muciz ÖZCAN**

**Assoc. Prof. Dr. Ercan YALDIZ**

**Assoc. Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ**

**Asst. Prof. Dr. Muhammed Fahri ÜNLERŞEN**

**Asst. Prof. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN**

Today, mobile communication systems are often preferred in many fields, such as being independent of the space, allowing users to move freely, and especially in applications such as medicine, radar, satellite, airplane and missile communication applications which require high performance. With the ever-evolving mobile communication systems, the need for high performance and bandwidth has emerged. Nevertheless, the preference for mobile devices to be used in the same and moving environments has led to the need for portable size designs and long-lasting power supplies. For this reason, it is desirable that the elements used in mobile devices, especially antennas, should be capable of meeting the small size and high bandwidth requirement with low power consumption.

The radiation pattern of a single element antenna is relatively broad, but the gain of a single element is low. In order to meet the needs of long distance messengers, many applications require high gain antennas to be designed. For this reason, array antennas are preferred in situations where higher performance is required. The desired radiation pattern can be obtained by making improvements to the required parameters in array antennas. In this way, both gain and directivity and bandwidth will be increased. In this thesis study, the performances of single element antennas and multi element antennas are

evaluated together. For this purpose, microstrip array patches such as 1x2, 1x3, 1x4 have been designed besides single element works and electrical parameters such as loss of return, band width, gain, directivity and radiation efficiency have been tried to be improved. The best performance of the antennas obtained by simulations was produced and the experimental results were evaluated.

In the thesis study, firstly, a rectangle sectioned 1x4 microstrip array antennas operating at a frequency of 2500 MHz for wireless high speed internet access WiMax was designed and manufactured. Subsequently, a 16 GHz frequency 1x4 microstrip array antennas, which is widely used in applications such as VSAT (Very Small Aperture Terminal), radiometric ground based fire detection, micro electromechanical systems, light radars, was designed and manufactured. Finally, we have developed a triple-band, 2500-3000-band wireless communication system that can operate on multiple frequencies, such as GPS, Bluetooth, direct digital transmission, satellite communications, modern wireless handsets, cellular voice and data, wireless communications such as Wi-Fi series of 1x3 microstrip antennas with a frequency of 5000 MHz were designed and fabricated. In addition, artificial neural networks (YSA) were used to improve the physical and electrical performances of the microstrip structures constructed and simulated, and the results were evaluated. In the study, HFSS (High Frequency Structural Simulator) software simulation program which solves the electromagnetic structures with the finite element method is used. Measurements were made using a Network Analyser in a laboratory environment with experimental setups.

Numerous antennas have been simulated in studies that may be possible to determine the performances of the best electrical parameters of designs and manufactured antennas. In addition, in Ku-band 16 GHz production, size reduction work was carried out and very good results were obtained according to similar studies in the literature. The study of triple band 1x3 microstrip array antenna with frequency of 2500-3000-5000 MHz is a newly acquired work in the literature. A successful product was obtained that can be used in the industrial field due to its electrical results and physical dimensions.

**Keywords:** Micro Strip Antennas, Micro Strip Array Patch Antennas, Artificial Neural Networks, Different Patch Array Antennas, HFSS

## ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında sonsuz sabrı ve anlayışı, engin tecrübesi ile hayatımın her aşamasında beni cesaretlendiren ve desteğini esirgemeyen, akademik yol gösteren, çok değerli hocam, danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. S. Sinan GÜLTEKİN ve ilk tez danışmanım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet BAYRAK hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Akademik olarak yol göstermeleri ve tez çalışmamı en güzel şekilde yönlendirmelerinden ötürü Tez İzleme Komitesi Üyelerim Sayın Doç. Dr. Ercan YALDIZ ve Sayın Doç. Dr. A. Afşin KULAKSIZ' a ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında Laboratuvarlarını açarak ölçüm yapmamızı sağlayan TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Ulusal Metroloji Enstitüsü Yetkililerine ve Medipol Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Mustafa ASLAN hocama teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde çok emek harcayan ve haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim rahmetli babam Hasan Hüseyin DÜNDAR'a ve canım annem Ayşe DÜNDAR'a, akademik hayatım boyunca bana güvenen ve manevi desteklerini her an hissettiğim kardeşim Öğr. Gör. Dr. Abdullah Oktay DÜNDAR'a ve Doç. Dr. Zerrin Defne DÜNDAR'a, dualarını hiçbir zaman eksik etmeyen ablam Huriye ŞENYİL'a, Safiye Sevinç ERDOĞAN ve Hasan ERDOĞAN'a gönülden teşekkür ederim.

Bu zor süreçte en büyük destekçim olan, beni yüreklendiren ve her daim yanımda olan canım eşim Tülay DÜNDAR'a ve varlıklarıyla huzur bulduğum canlarım, sevgili yavrularım Hasan Berkant, Beyza, Ömer Berk ve Zahit Esat'a şükranlarımı sunarım.

Özgür DÜNDAR

KONYA-2017



# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Literatür Taraması .....	4
<b>2. MİKROŞERİT YAMA ANTENLER</b> .....	<b>9</b>
2.1. Dielektrik Taban.....	10
2.2. Mikroşerit Antende Besleme Tipi.....	11
2.2.1. Mikroşerit Hat Besleme .....	12
2.2.2. Koaksiyel Hat Besleme.....	13
2.3. Mikroşerit Anten Yama Tipleri.....	14
2.3. 1. Dikdörtgen Kesitli Mikroşerit Yama Anten Tasarımı.....	15
2.4. Dizi Antenler .....	19
2.5. Anten Parametreleri.....	23
2.5.1. Antenin Geri Dönüş Kaybı .....	23
2.5.2. Antenin Band Genişliği (BW).....	23
2.5.3. Antenin Yönlendiriciliği .....	24
2.5.4. Antenin Kazancı .....	24
2.5.5. Antenin Verimliliği .....	24
2.6. Yapay Sinir Ağları (YSA) .....	25
2.6.1. Öğrenme.....	25
2.6.2. Genelleme .....	25
2.6.3. Özetleme .....	25
2.6.4. Biyolojik Yapı.....	26

2.6.5. Yapay Nöron .....	27
2.6.6. Tek Katmanlı YSA.....	28
2.6.7. Çok Katmanlı YSA.....	29
2.6.7.1. Çok Katmanlı Perseptron (ÇKP) YSA Yapısı .....	30
2.6.8. YSA Öğrenme Algoritmaları .....	31
2.6.8.1. Delta-Bar-Delta (DBD).....	31
2.6.8.2. Genişletilmiş Delta-Bar-Delta (GDBD) .....	32
2.6.8.3. Levenberg-Marquardt (LM).....	33
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>35</b>
3.1. HFSS (High Frequency Structural Simulator).....	35
3.2. Network Analizör .....	39
3.3 Metot.....	41
<b>4. DİZİ YAMA ANTEN TASARIMI VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ANTEN PARAMETRELERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ.....</b>	<b>43</b>
4.1. 2500 MHz Frekansında 1x4 Dikdörtgen Kesitli Mikroşerit Yama Anten Tasarımı	43
4.1.1. 2500 MHz Frekansında 1x4 Dikdörtgen Kesitli Mikroşerit Yama Antenin Geri Dönüş Cevabı, Frekansı ve Bant Genişliğinin YSA Kullanarak Hesaplanması.....	51
4.2. 16 GHz 1X4 Dikdörtgen Kesitli Mikroşerit Yama Anten Tasarımı .....	54
4.2.1. 16 GHz Frekansında 1x4 Dikdörtgen Kesitli Mikroşerit Yama Antenin Geri Dönüş Cevabı, Frekansı ve Bant Genişliğinin YSA Kullanarak Hesaplanması.....	65
4.3. Üç Rezonanslı 1x3 Farklı Yama Mikroşerit Anten Tasarımı .....	70
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>84</b>
5.1 Sonuçlar .....	84
5.2 Öneriler .....	89
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>91</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>97</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\kappa$	: Artma faktörü (YSA)
$\theta$	: Konveks ağırlık faktörü (YSA)
$\varphi$	: Azaltma faktörünü (YSA)
$Q$	: Kalite Faktörü (Quality Factor)
$\delta(\kappa)$	: Eğim bileşeninin ağırlıklı ortalaması (YSA)
$\mu(\kappa)$	: Momentum katsayısı (YSA)
$\alpha(\kappa)$	: Öğrenme katsayısı (YSA)
$\alpha(\kappa)$	: Öğrenme katsayısı (YSA)
$Z_0$	: Karakteristik Empedans
$e_0$	: Anten verimliliği
$\epsilon_e$	: Etkin dielektrik sabiti
$\epsilon_{eff}$	: Efektif dielektrik sabiti
$\Delta l$	: Saçak alan uzunluğu (hat genişlemesi)
$c$	: Işık Hızı
$f_0$	: Çalışma Frekansı
$f_1$	: Alt frekans değeri (dönüş kaybı grafiği)
$f_2$	: Üst frekans değeri (dönüş kaybı grafiği)
$f_r$	: Rezonans frekansı
$h$	: Dielektrik taban kalınlığı
$K(\theta, \phi)$	: Işıma yoğunluğu
$L$	: Yama uzunluğu
$L_{gnd}$	: Toprak düzlemi uzunluğu
$L_h$	: Mikroşerit hat uzunluğu
$L_i$	: Açıklık uzunluğu
$L_s$	: 1x4 Tasarım dizi antenin besleme hattı uzunluğu
$T$	: YSA'da Matris transpozese
$\tan\delta$	: Kayıp tanjant
$W$	: Ağırlıklar kümesi toplamı (YSA)

$W$	: Yama genişliği
$w_1, w_2, \dots, w_n$	: Ağırlık değeri (YSA)
$W_{gnd}$	: Toprak düzlemi genişliği
$W_h$	: Mikroşerit hat genişliği
$W_i$	: Açıklık genişliği
$W_S$	: 1x4 Tasarım dizi antenin besleme hattı kalınlığı
$X$	: Giriş (YSA)
$x_1, x_2, \dots, x_n$	: Giriş seti (YSA)
$\epsilon_r$	: Tabanın dielektrik sabiti
$\lambda_0$	: Boşluk dalga boyu
$D(\theta, \phi)$	: Anten yönlendiriciliği
$G(\theta, \phi)$	: Anten kazancı
$R_L$	: Anten geri dönüş kaybı
$VSWR$	: Gerilim duran dalga oranı
$f_{max}$	: Maksimum frekans
$f_{min}$	: Minimum frekans
$t$	: Mikroşerit hat kalınlığı
$E(\theta)$	: Anten dizilerinde toplam elektrik alanı
$E_1(\theta), E_2(\theta)$	: Anten dizilerinde her bir antenin uzak alan ışınma örüntüleri
$r, r_1$	: Dizi antenlerde anten ile belirli bir uzaklıktaki bir nokta arasındaki mesafedir.
$d^l$	: Dizi antenlerde ışınma yapılan yollar arasındaki fark
$d$	: Dizi antenlerde antenler arası mesafe
$\alpha_1$	: Diz antenlerdeki sürülen i. elemanın genliği
$\beta_1$	: Diz antenlerdeki sürülen i. elemanın fazı
$N$	: Dizi antenlerde eleman sayısı
$D(\theta, \phi)$	: Antenin yönlendiriciliği
$K(\theta, \phi)$	: Antenin ışınma yoğunluğu
$K_{ort}$	: Antenin ortalama ışınma yoğunluğu
$P_r$	: Antende toplam ışınan güç
$P_d$	: Antende alınan toplam ışınma gücü
$G(\theta, \phi)$	: Anten kazancı
$\rho(\theta, \phi)$	: Antenin belirlenmiş bir yöndeki ışınma güç yoğunluğu
$e_0$	: Anten verimi

$e_c$	: İletim verimi
$e_r$	: Yansıma verimi
$e_d$	: Dielektrik verimidir
$J$	: Jakobiyen matrisi (YSA)
$H$	: Hessian matrisi (YSA)
$\Delta W(k)$	: $k$ anındaki, düzeltme miktarı (YSA)

### **Kısaltmalar**

3D	: Üç Boyut
BAP	: Bilimsel Araştırma Projeleri
BMSDUA	: Bulanık Mantık Sistemine Dayalı Uyarlanırlı Ağ Yönetimi
BW	: Band Genişliği
ÇKP	: Çok katmanlı Perseptron
DBD	: Belta-Bar-Delta öğrenme algoritması
FDTD	: Sonlu Fark Zaman Domeni Metodu
FEM	: Sonlu Eleman Metodu
GDBD	: Genişletilmiş Belta-Bar-Delta öğrenme algoritması
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
GSM	: Mobil Haberleşme için Küresel Sistem (Global System for Mobile Communication)
HFSS	: Yüksek Frekans Yapısal Simulatörü (High Frequency Structural Simulator)
IC	: Tümlleşik Devre (Integrated Circuit)
LAN	: Yerel İnternet Ağı (Local Area Network)
LM	: Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması
MEMs	: Mikromekanik Elektronik Makineler (Micromechanic Electronic Machines)
MMIC	: Tasarımlarla Uyumlu ve Düzenli İletkenli Yapı
MoM	: Momentler Metodu
MŞA	: Mikro Şerit Anten
NA	: Network Analizör
PCB	: Baskı Devre Kartı (Printed Circuit Board)
RF	: Radyo Frekansı (Radio Frequency)

RFID	: Radyo Frekanslı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification)
S <sub>11</sub>	: Geri Dönüş Kaybı
SMA	: A Tipi Konnektör (Konnekt or Sub-Miniature versiyon A)
SNA	: Skaler Network Analizör
S-par	: Saçılma Parametreleri (Scattering Parameters)
UHF	: Ultra yüksek Frekans (Ultra High Frequency)
UME	: Ulusal Metroloji Enstitüsü
VNA	: Vektörel Network Analizör
VSAT	: Çok küçük açıklık terminali (Very Small Aperture Terminal)
VSWR	: Gerilim Duran Dalga Oranı (Voltage Standing Wave Ratio)
WIMAX	: Mikrodalga Erişim için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik (Worldwide Interoperability for Microwave Access)
Wi-Fi	: Kuvvetlendirilmiş Kablosuz İnternet Erişimi
WLAN	: Kablosuz Yerel Alan Ağı (Wireless Local Area Network)
YSA	: Yapay Sinir Ağları

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilginin, bir noktadan diğer bir noktaya hatasız ve doğru bir şekilde, düşük maliyetle ve uygun iletim ortamı seçilerek iletilmesi çok büyük önem kazanmıştır. Bilginin iletiminde oldukça önemli olan anten ise, elektriksel işaretleri elektromanyetik dalgalara dönüştürüp iletim ortamına aktaran ya da iletim ortamından gelen elektromanyetik dalgaları alan ve elektriksel işaretlere dönüştüren bir devre elemanıdır. Mikroşerit antenin (MŞA) ise bu dönüşümleri mikrodalga frekanslarında sağlayan bir eleman olduğu söylenebilir.

Mikroşerit yama antenler, alt yüzeyine toprak düzlem denilen ve metalle kaplı bir dielektrik taban üzerinde ışına yapabilen, iletken bir metal yamadan meydana gelen bir geometrik yapıdır (Garg R., Bhartia P., Bahl I. and Ittipiboon A., 1995). Mikroşerit yama antenler, basit geometrik yapılı, kolay şekilde ve düşük maliyetle üretilebilirken, hafif olması ve montaj kolaylığı bakımından günümüzde en popüler anten tiplerindedir. Mikroşerit yama antenler geniş bir frekans aralığında çok çeşitli uygulama potansiyeline sahiptir. Mikroşerit yama antenlerin endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılması haberleşmenin hemen hemen her alanında kullanılması anlamına da gelmektedir ve maliyet anlamında sektöre önemli katkılar getirmiştir.

Mikroşerit yapıların ışına yapan yayıcı bir eleman olduğu görüşü 1953 yılında Deschamps tarafından ortaya atılmıştır (Deschamps, 1953). 1955 yılında ise Fransız bilim adamları Gutton ve Baissinot tarafından mikroşerit anten patenti alınmıştır (Gutton H., Baissinot G., 1955). Daha sonra Amerikalı Kaloï bir takım çalışmalar yapsa da literatüre geçmemiştir. İlk pratik mikroşerit anten imalatı 1970'li yıllarda Howel ve Munson tarafından gerçekleştirilmiştir. Howel ve Munson uzay araçları ve füzeler için ince ve yüzeye montaj yapılabilen yama anten üretmişlerdir (Sainati, 1996). Bu yıllarda mikroşerit antenlerin hafif olması, düşük maliyetlerde imal edilebilirlikleri küçük hacimli olması vb. avantajlarının ortaya çıkmasıyla bu konuda çalışmalara hız verilmiştir. (Bahl, Bhartia 1980; Sainati, 1996; Gonca 2004).

Mikroşerit antenler hakkındaki ilk uluslararası toplantı Ekim 1979'da New Mexico State Üniversitesinde, Amerika Birleşik Devletleri Askeri Araştırma Ofisi ve New Mexico State Üniversitesi Fizik Laboratuvarı desteğinde düzenlenmiştir. Bu toplantıda mikroşerit antenlerin malzemesi, pratik tasarımları, düzen

konfigürasyonları ve teorik modelleri hakkında konular tartışılmıştır (Proceeding Workshop 1979; Carvel ve Mink 1981).

Mikroşerit antenler tasarlanırken ilk çalışma matematiksel olarak modellenmesi işlemi Munson ve Derneryd tarafından iletim hatlarıyla benzerlik göstermesi nedeniyle, dikdörtgensel mikroşerit antenleri iletim hatları olarak modelleme şeklinde olmuştur (Munson, 1974; Derneryd 1975).

Günümüzde özellikle mobil haberleşme sistemlerinde geniş bantlı ve yüksek veri hızlı haberleşmeye ihtiyaç giderek artmaktadır. UHF bandı ise uydu haberleşme teknolojisinin bir bölümünü kapsamaktadır. UHF trasponder ismi de verilen aktarıcı bulunduran uyduların sayılarının az olması ve devre kiralama maliyetinin yüksek olması gibi nedenlerden dolayı yeni nesil ufuk ötesi haberleşme sistemlerinde X/Ku/Ka band teknolojilerinin kullanılabilceği değerlendirilmektedir (Uğurlu, 2016).

Özellikle mikrodalga teknolojisindeki gelişmeler, ilgili cihazlarda kullanılacak antenlerin büyük band genişlikli olması, olabildiğince küçük olmaları ve kolay üretilmeleri gibi avantajları ile olmuştur. Günümüzde anten tasarımcıları bu faktörleri göz önüne alarak çalışmalarına yön vermektedir.

Mikroşerit yama antenin band genişliğini etkileyen faktörler; genel olarak yamanın şekli, besleme metodu, taban ve ışılan yamalarla parazitik elemanların yerleşimi gibi faktörlerdir. Literatürde yıllardır bu faktörlere yönelik çok çeşitli band genişliği artırma yöntemleri kullanılmıştır. Bir mikroşerit yama antenin band genişliği, düşük Q kalite faktörü değerine ve iyi şekilde uyarılan çoklu rezonans modlarına bağlı olarak artırılabilir. Başka bir band genişliği artırma yöntemi de, düşük dielektrik sabitine sahip kalın bir taban seçimidir. Parazitik yama kullanımı diğer bir band genişliği artırma yöntemidir (Panayi ve arkadaşları 1999). Yığın elemanı kullanımı da başka bir band genişliği artırma yöntemidir (Tong ve arkadaşları 2000). Son olarak toprak düzlemi boyutları değiştirilmesi de band genişliği artırma yöntemi olarak karşımıza çıkar (Huynh ve Stutzman 2003, Dilek Uzer 2016)

Mikroşerit antenler üzerinde yapılan çalışmalar arttıkça çeşitli geometrik yapılardaki anten çalışmaları da artmıştır. Günümüzde Mikroşerit antenler yama geometrisine göre isimlendirilmektedirler. Literatürde önemli bir bilgi kaynağı olarak



nitelendirilen dikdörtgen kesitli mikroşerit yama antenler hakkındaki çalışma, Howell tarafından yapılmıştır (Howell, 1972). Dikdörtgen yamalar ilk ve en çok kullanılan mikroşerit yama anten geometrisidir. Boyut olarak diğer yama geometrilerden büyük olması nedeni ile de daha büyük band genişliğine sahiptir.

Tek elemanlı bir antenin ışına örüntüsü nispeten geniştir ama tek eleman düşük değerlerde kazanç sağlar. Uzak mesafeli haberleşmenin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla çoğu uygulamalarda yüksek kazançlı anten tasarlamak gerekir (Roy G.G., Chakraborty P.N. 2011). Antenin elektriksel boyutu büyütülerek antenin kazancı artırılabilir. Ancak buna gerek olmadan ışına elemanını belirli bir elektriksel ve geometrik düzende yerleştirilerek de anten kazancı artırılabilir. Birden fazla ışına elemanından oluşan bu yapı anten dizisi olarak isimlendirilir. Dizi anten uygulaması ilk olarak, Sanford tarafından L Band uygulamalarında kullanılmak üzere yüzeye uyumlu dizi antenler olarak tasarlanmıştır (Sanford, 1974). Mikroşerit antenlerin dizi antenler olarak kullanılması ise oldukça yaygındır (Balanis 1982). Anten dizileri tek elemanla elde edilemeyen gerekli örüntüyü sentezlemek, yönlülüğü artırmak, anten hüzme taraması yapabilmek ve tek elemanla zor olabilecek diğer fonksiyonları uygulamak için kullanılmaktadır.

Tezin 1. bölümünde, mikroşerit yama antenlerin tarihi gelişimine göz atılmış ve kısa bir literatür taraması yapılmıştır.

Tezin 2. bölümünün ilk kısmında, mikroşerit antenlerin yapısı hakkında geniş bilgi verilmiş, ikinci kısımda dikdörtgen kesitli mikroşerit yama anten tasarımına geniş bir şekilde değinilmiş, üçüncü kısmında dizi antenler anlatılmış ve dördüncü kısımda ise anten parametreleri hakkında bilgi verilmiştir. Tezin 2. bölümünün son kısmında ise yapay sinir ağları hakkında bilgi verilmiştir.

Tezin 3. bölümünde meteryal ve yöntemler verilmiştir. Bu bölümün ilk kısmında HFSS Simülasyon programı, ikinci kısımda ise Network Analizörler (NA) hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmalarda üretilen anten ölçümlerinin gerçekleştirildiği Vektörel Network Analizör (VNA) tanıtılmıştır.

Tezin 4. bölümünde tasarlanan ve üretilen dizi antenler elde edilen elektriksel parametrelerinin sonuçları ile birlikte detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu bölümün ilk kısmında tasarımları yapılan 2500 MHz rezonans frekansında 1x4 mikroşerit dizi yama antenin çalışmaları verilmiştir. İkinci kısmında, Ku bant 16 GHz rezonans

frekansında 1x4 mikroşerit dizi yama antenin sonuçları verilmiştir. Ayrıca bu bölümde anten boyutlarında yapılan küçültme çalışması ve sonuçları verilmiştir. 4. Bölüm üçüncü kısımda, tasarımı yapılan 3 rezonans frekanslı, fiziksel boyutları farklı ve 3 yamadan oluşan 1x3 yama antenin simülasyon ve deneysel sonuçları verilmiştir. 4. bölümde ek olarak 2500 MHz ve 16 GHz çalışmalarında elde edilen elektriksel parametreler YSA'da eğitilerek frekans, geri dönüş kaybı ve bantgenişliği parametrelerinin hesaplamaları yapılmıştır.

Tezin 5. bölümünde ise sonuçlar ve değerlendirmeler yapılarak tez sonuçlandırılmıştır.

### 1.1. Literatür Taraması

**Haeng Sook Noh, Jae Seung Yun, Jong Myen Kim, Soon-Ik Jeon (2004);** Çalışmada Ku band için çift yönlü yüksek kazançlı ve geniş bantlı 1x8 dikdörtgen kesitli mikroşerit yama anten tasarımı gerçekleştirilmiş ve çift yönlü iletişim için Rx/Tx beslemeler oluşturulmuştur. Sonuçta Rx beslemede band genişliğinin %10 ve Tx beslemede %11 artışı görülmüştür.

**Dowon Kim, Moonil Kim, Tanaka M., Matsugatani K. (2006);** Çalışmada band genişliğini artırmak için köşeleri düzeltilmiş altıgen şeklinde 12 yamalı bir dizi anten tasarlanmıştır. 6.8 GHz'de kalınlığı 1.27 mm olan ve 9.8 dielektrik sabitli malzeme kullanılmış, sonuçlar ölçülen değerlere göre her bir yama için bant genişliğinin % 1.7 arttığı görülmüştür.

**Shah, Suaidi, Aziz, Rose, Kadir, Ja'afar, Sidek, Rahim M.K.A., (2008);** Bu çalışmada üç adet (1x2, 1x4, 2x2 ) dizi anten tasarlanmıştır. Önce -45 ve +45 derece eğimli anten tasarlanmış, daha sonra aynı anten 2 kere yan yana birleştirilerekmiş ve üçüncü tasarımda ise 1x2 anten alt alta birleştirilerek tasarım yapılmıştır. Tasarımda dielektrik sabiti ( $\epsilon$ ) 4 ve h yüksekliği 1,6 olan FR4 malzemesi kullanılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda 1x2 dizi antenin kazancı 9,5 dB iken 1x4 ve 2x2 dizi antenlerin kazancının yaklaşık 20 dB olduğu görülmüştür. Sonuç olarak anten birleştirmelerinin kazancı arttıracığı görülmüştür.

**Ang Yu, Xuexia Zhang (2002);** Bu çalışmada öncelikle 2x1 ebadında dikdörtgen kesitli yama anten tasarlanmıştır. Sonrasında 4x(2x1) yama anten birleştirilerek 1x8 birleşik yama anten oluşturulmuştur. Daha sonra 1x8 dizi antenin

ön tarafına aynı yama büyüklüğünde 8 adet parazit yamalar oluşturulmuştur. Oluşturulan yama antenle parazitik yama anten karşılaştırılmıştır. 2.4 GHz rezonans frekansında çalışan antende 2.58 dielektrik sabitine sahip ve 2 mm kalınlığında dielektrik malzeme kullanılmıştır. Sonuç olarak parazitik yamalı 1x8 antenin 1x8 yama antene göre kazancının 2.13 dB artığı görülmüştür. Böyle bir anten kablosuz LAN ağları için tavsiye edilmiştir.

**Abbak, M., Tekin, I., (2008);** Bu çalışmada UHF bandında RFID okuyucu aralığını genişletmek için 2x2 mikroşerit yama anten dizisi; 867 MHz frekansında Avrupa standartları Gen2 protokolüne uygun çalışma şartlarında tasarlanmıştır. Tasarımda 34x45 cm ebadında 4 adet yama dikdörtgen anten tasarlanmıştır. Tasarımda aynı yüzey üzerinde 3 adet Wilkinson güç bölücü ve iletim hattı faz kaydırıcı kullanılmıştır. Sonuç olarak yapılan ölçümlerde 9.5 dB'lik bir kazanç elde edilmiştir.

**Çakır G. (2004);** Bu çalışmada gezgin haberleşme sistemlerinde baz istasyonu anteni olarak kullanılabilecek, düşük maliyetli, düşük güçlü ve huzme yönlendirilmeli mikroşerit yama anten dizi tasarımları gerçekleştirilmiştir. Dizi anten özellikleri belirlendikten sonra, 1.8 GHz çalışma frekansında sırayla 20 ve 35 derecelik demet genişlikli, 60 ve 80 derecelik elektronik tarama yapabilen 3x3 ve 3x5 boyutlarında iki yeni yama anten dizisi tasarlanmış, M-PATCH ile bilgisayar benzetimleri yapılmış ve laboratuvar ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, tasarlanan dizi antenlerin istenilen performansları başarıyla gerçekleştirdiğini göstermiştir.

**Sarıkaya N., Güney K. (2008) ;** Bu çalışmada, bulanık mantık sistemine dayalı uyarlanabilir ağ (BMSDUA) yöntemi, eşkenar üçgen mikroşerit antenlerin rezonans frekansını hesaplamak için sunulmuştur. BMSDUA'yı eğitime ve test işleminde, literatürde mevcut on beş farklı eşkenar üçgen mikroşerit antene ait rezonans frekansı ölçme verileri kullanılmıştır. BMSDUA yöntemi ile elde edilen sonuçların, literatürde mevcut yöntemlerden elde edilen sonuçlardan daha iyi deneysel sonuçlarla uyumluluk içerisinde olduğu gösterilmiştir.

**Yağcı B., Palamutcuoğlu O., Paker S. (2006);** Bu çalışmada, Ku bandında uydu yayınlarını izlemek için kullanılabilecek ucuz, kolay kullanılabilen, küçük ve verimli bir alıcı sistemi tasarımı yapılmıştır. Sistem, belirli bir boylam farkında yerleştirilmiş bulunan yer sabit yörüngeli uydulardan işaret alışı yapabilmek için

elektronik denetimle ışın demeti kaydırımı yaparak, alıcı sisteme ilgili TV/Data işaretleri aktarabilecek özellikte olmaktadır. Elektronik olarak kontrol edilecek bir anten sisteminin 50 dereceye yakın bir yataydaki açısız bölgede değişim gösterebilmesi ve 4 derece aralığında sabit düşey demetinin olması gerektiği belirtilmiştir. Bu değerler minimum 32x8 elemanlı dizi ile gerçekleştirilebilmektedir. Yatay ve düşey dizilerinde birbirinden bağımsız besleme yapıları seçilmiştir. Yatay dizilerinin her birine yerleştirilmiş olan Network Analizör ve evre kaydırıcılar ile yatay ışınım demetinin evresi denetlenebilmekte ve belirli bir bölge içinde farklı konumlarda (boylamlarda) bulunan yer sabit yörüngeli uydulara ayarlanabilmektedir.

**Gültekin S.S. (2002);** Bu çalışma doktora tezi olarak yapılmış ve dikdörtgen, daire ve üçgen biçimli mikroşerit anten parametrelerinin YSA ile hesaplanması ve literatür sonuçları ile karşılaştırılması söz konusudur. Bu çalışmada ayrıca dikdörtgen, daire ve üçgen geometrik biçimler tek bir geometrik biçimde değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. YSA'da on bir farklı eğitime algoritması kullanılmıştır.

**Kaya A., Yüksel Y. (2004);** Bu çalışmada negatif kapasitans devresi kullanarak geniş bantlı radyasyon yapan aktif mikroşerit anten yapılabileceği gösterilmiştir. Performans sonuçları Moment yöntemini kullanan Microwave Office simülasyon programı ile elde edilmiştir. Uyumlandırma sonucunda empedans değişimiyle bant genişliğinin %5.76 dan %8.19 a değiştiği görülmüştür. Aktif verici alıcı antenlerde bu konfigürasyonun yayılım paterninde olumlu değişikliklere neden olduğundan ve sistemin performansını arttırdığından literatürdeki diğer tekniklere göre daha avantajlı olduğu önerilmiştir.

**Genç A., Çağlar MF. (2014);** Bu çalışmada tek elemanlı, 1x2 ve 1x4 elemanlı olmak üzere üç farklı mikroşerit anten dizileri tasarlanmış ve birbirleri arasındaki farklılıklar karşılaştırılmıştır. Çalışma X bandında 10 GHz merkez frekansında gerçekleştirilmiş ve çalışmada kalınlığı 0.762 mm sabiti 3 olan Rogers 3003 taban malzemesi kullanılmıştır. Tasarlanan antenlerin yansıma kaybı, duran dalga oranları, bant genişliği, yönlülük, ışınım verimliliği, kazanç, E düzlem örüntüleri ve uzak alan örüntüleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçta 10 GHz'de çalışan dizi antenlerin boyutlarının değişimi ile performanslarının nasıl değiştiği incelenmiş ve kısaca yama sayısı arttıkça bant genişliği, ışınım kalitesi ve yönlülüğü

artarken dielektrik kayıplar ve yansıma kaybı da buna paralel olarak arttığı kanaatine varılmıştır.

**Türkmen M., Yıldız C., Sağiroğlu Ş. (2003);** Bu çalışmada sonsuz uzunluktaki dielektrik tabana sahip eş düzlemlı dalga kılavuzlarının karakteristik empedans ve efektif dielektrik sabiti tek bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli ile hesaplanmıştır. YSA Yapısı beş farklı öğrenme algoritması kullanılarak eğitilmiş ve algoritma performansları kendi aralarında değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların literatürdeki mevcut sonuçlarla son derece uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Sunulan YSA modelinden elde edilen sonuçların literatürdeki bu tür yapıların analizinde kullanılan Konform Dönüşüm Tekniği ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmalarından ortaya çıkan uyumluluğun YSA'ların bu tür problemlerin çözümünde yeni bir alternatif olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

**Ataş İ., Kurt MB., Ataş M. (2013);** Bu çalışmada 1 GHz ile 3.5 GHz frekans değerleri için YSA modeline dayalı Açık Kuplajlı Mikro Şerit Yama Anten tasarımı yapılmıştır. Geometrik yapıları farklı 500 adet yama anten Finite Element Metot yöntemini kullanan Elektromanyetik Alan Simülatorü yazılımı ile tasarlanmış ve her bir antenin rezonans frekans değeri tasarlanmıştır. Levenberg Marquard öğrenme algoritması temelinde geliştirilen YSA modeli Elektromanyetik Alan Simülatorü ile gerçekleştirilen örnekler ile eğitilmiş ve eğitim süresince görmediği test veri seti kullanılarak doğruluğu ölçülmüştür. Geliştirilen YSA modelinin başarısının ölçülmesinde 5 kat çaprazlama doğruluk yöntemi kullanılmıştır. Sonuçta zaman verimliliği açısından bakıldığında önerilen yöntemin Elektromanyetik Alan Simülatorü yazılımına göre en az 100 kat daha hızlı çalıştığı tespit edilmiştir.

**Khan O. M., Ahmad Z., Islam Q. (2007);** Bu çalışmada tek yama, 1x2 yama, 1x4 yama ve 2x2 dikdörtgen mikroşerit yama antenler teorik ve HFSS Simülasyon programı ile tasarlanmıştır. 16 GHz frekansında Ku Band için yüksekliği 0.254 mm olan 2.2 dielektrik sabitine sahip Duroid 5880 malzemesi kullanılarak yamanın kazancı ve yönlendiriciliği HFSS ile nasıl değiştiği gösterilmektedir. Sonuçta karşılaştırılan yama antenlerde yama sayısı arttıkça kazanç ve yönlendiriciliğin arttığı gösterilmiştir.

**Wahab N.A., Maslan Z.A., Muhamad W.N., Hamzah N. (2010);** Bu çalışmada Wimax uygulamaları için 2500 MHz frekansında tek yamalı ve 1x4

dikdörtgen mikroşerit yama anten teorik olarak tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Tasarımda 1.6 mm kalınlığında 4.9 dielektrik sabitine sahip FR 4 malzemesi kullanılmıştır. Mikroşerit hat beslemesinde empedans uyumu için çeyrek dalga dönüştürücü tekniği kullanılmış olup antenlerin geri dönüş kaybı, duran dalga oranı, band genişliği, yönlendiriciliği ölçülerek antenin performansları değerlendirilmiştir. Sonuçta performansları ölçülmüş, 1x4 dizi antenin tek yama antene göre yönlendiricilik, band genişliği ve kazanç bakımından daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

**Paul L.C., Mowla M., Rasid M.U., Morshed M. (2016);** Bu çalışmada kesme beslemeli dikdörtgen mikro şerit yama antenin besleyici uzunluğu ve genişliğindeki değişimlerin rezonans frekansı, kazanç, yönlülük, band genişliği, geri dönüş kaybı, verimlilik, eksenel oran vb. gibi performans parametreleri üzerindeki etkisi 3B Planar Elektromanyetik Simulator kullanılarak araştırılmıştır. Tasarım 2400 MHz rezonans frekansında ve dielektrik katsayısı 2.2, kalınlığı 2.5 mm olan RT Duroid 5880 kullanılmıştır. Sonuç olarak rezonans frekansı, tasarlanan mikro şerit yama antenin besleyicisinin uzunluğunu ve genişliğini artırarak arttığı sonucuna varılmıştır.

## 2. MİKROŞERİT YAMA ANTENLER

Pek çok kablosuz sistem gereksinimlerini yerine getiren mikroşerit yama antenler el tipi mobil cihazlarda ve kablosuz haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu antenler sağladıkları avantajlara göre mobil ve uydu haberleşmelerinde daha geniş uygulama alanları bulmaktadır.

Mikroşerit yama antenlerin avantajları; hafif profilli olmaları, düşük saçılma arakesitine sahip olmaları, besleme konumundaki küçük değişikliklerle doğrusal ve dairesel kutuplanmış ışına yapabilmeleri, iki veya daha fazla frekans antenlerinin kolaylıkla yapılabilir olması, boşluk desteği gerektirmemeleri, düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere uygun montaj olmaları, modern baskı devre teknolojisi kullanarak basit ve ucuz üretilebilmeleri, katı yüzeylere montaj yapıldıkları zaman mekanik olarak kuvvetli olmaları, MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit Desing) tasarımlarla uyumlu ve düzenli iletkenli yapılar olmaları, osilatör, yükselteç, değişken zayıflatıcılar, anahtarlar, modülatörler, karıştırıcılar, faz değiştiricileri v.s. gibi katı hal araçlarının mikroşerit antenlerin alt taşına ilave edilmesi ile bileşik sistemler geliştirilebilmesi, besleyici hatları ve uyumlandırma devrelerinin antenle birlikte aynı zamanda üretilebilir biçimde olması, modlar seçildiğinde; rezonans frekansı, polarizasyonu, patern ve empedansı çok yönlü olması şeklinde sıralanabilir.

Aynı zamanda; yama anten ve yer zemini arasında çeşitli rezonans frekansları, empedansları, polarizasyonları ve paternleri dizayn edebilmek için kısa devre ve varikap diyotlar gibi yüklemeler yapılabilir.

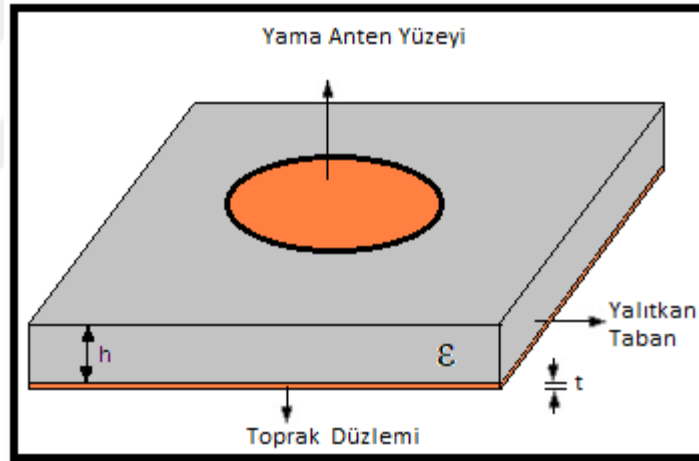
Bunların yanı sıra mikroşerit yama antenlerin önemli dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar ise; oldukça dar band genişliği, düşük verimlilik ve düşük güç, yüksek Q (bazen yüzden fazla), yetersiz polarizasyon saflığı, yetersiz saçılma performansı, sahte besleme radyasyonu, düşük frekanslardaki tasarımların fiziksel boyutlarının büyük olması şeklinde sıralanabilir.

Devlet güvenlik sistemleri gibi bazı uygulamalar için dar bant genişliği tercih edilir. Bununla birlikte verimliliği ve bandgenişliğini (yaklaşık olarak %35 den fazla) arttırmak için kullanılan metotlar mevcuttur. Bu metotlardan biri alttaşın yüksekliğini arttırmaktır. Fakat yüksekliğin artırılması yüzey dalgalarının oluşmasına neden olur ki bu genellikle istenmeyen bir durumdur.

Mikroşerit antenler boyut ve çalışma performansı açısından pek çok avantaj sağlayan yaygın kullanım alanına sahip antenler olmasına karşılık, elektriksel parametreleri anten boyutlarına ve antenin fiziksel parametrelerine bağlıdır.

Mikroşerit yama antenlerin kullanım yerleri; kablosuz sistemler, uydu haberleşmesi, savunma sanayi sistemleri, biyomedikal sistemler, çevresel enstrümantasyon ve uzaktan algılama sistemleri, mobil haberleşme, doppler ve radarlar, güdümlü füzeler şeklinde sıralanabilir.

Fiziksel olarak bir mikroşerit yama anten en basit haliyle; Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, tabanı toprak düzlemi adı verilen metalle kaplı bir dielektrik taban üzerinde ışına yapan metal bir yamadan meydana gelir. Metal kısımlar genellikle bakır, altın gibi iyi bir iletken metalden seçilir. Toprak ve yamanın kalınlığı ( $t$ ) 50  $\mu\text{m}$  ile 200  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir. Dielektrik yapının kalınlığı  $h$  ise 0,25 mm ile 25 mm arasında değişmektedir.



Şekil 2.1. Mikroşerit yama antenin yapısı

### 2.1. Dielektrik Taban

Mikroşerit anten tasarımında ilk adım uygun bir dielektrik taban seçimidir. Fiziksel olarak mikroşerit antende en büyük hacmi kaplayan dielektrik tabanın boyutları ve elektriksel özellikleri, anten performansı açısından oldukça önemlidir. Dielektrik taban; mikroşerit antenler üzerinde devre elemanlarının montaj kolaylığını sağlayarak mekanik olarak bu elemanlara destek veren bir iletim hattının parçası olarak işlev görür. Dielektrik geçirgenliği ve kalınlığı itibariyle de antenin rezonans



frekansı, rezonans direnci ve diğer elektriksel özelliklerini belirler (Sainati, 1996). Araştırmacılar mikroşerit antenin performansını etkileyen en önemli parametrelerin dielektrik malzemenin dielektrik sabiti ve üretici firmaların bu dielektrik için belirlediği tolerans değerleri olduğunu görmüşlerdir. Bu yüzden tasarımlarda dielektrik sabiti kesin olarak bilinen malzemeler tercih edilir.

Piyasada kullanılan çok sayıda taban malzemesi vardır. Bunların dielektrik sabiti 1,7 ila 25 arasında değişmektedir (Traut, 1980; Olyphant Jr ve Nowicki, 1980). Ancak anten performansının yüksek olabilmesi için dielektrik sabiti  $\epsilon_r$ 'nin 3'den küçük seçilmesi istenir (Balanis 1982). Kayıp tanjant ( $\tan\delta$ ) değeri ise 0.0001 ile 0.004 aralığındadır (Traut, 1980). En yaygın olarak kullanılan taban malzemesi Politetrafloretillen (PTFE)'dir. Alternatif taban malzemesi olarak yeni gelişen taban malzemeleri de kullanılmaktadır. Tasarımlarda yüksek dielektrik sabiti kullanma gereksinimi duyulması halinde ise dielektrik sabiti 9.7 ila 10.3 arasında değişen alümina seramik tabanlı malzemeler tercih edilmektedir. Ticari bir malzeme olarak yaygın biçimde kullanılan K\_6098 Teflon/Cam kompositi ( $\epsilon_r = 2.5$ ), RT/Duroid 5880 PTFE ( $\epsilon_r = 2.2$ ) ve Epsilam-10 Seramik dolgulu Teflondur.

Bir mikroşerit antende taban malzemesi, ışına yapan yamaya mekanik olarak destek sağlaması ve toprak düzlemi ile yama arasında gereken boşluğu oluşturması temel görevidir. Yüksek  $\epsilon_r$  değerine sahip taban malzemesiyle, yükleme etkisine bağlı olarak ışına yapan yama boyutu da küçülebilir. Fakat küçülen anten hacmiyle birlikte bant genişliği de küçülecektir. Genel olarak taban kalınlığını yüksek seçmek bant genişliğini artırmak içindir.

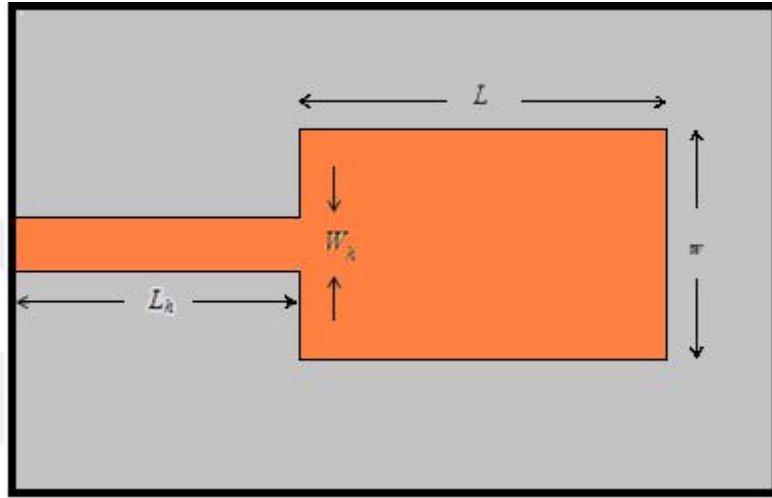
Mikroşerit anten için taban malzemesi seçilirken istenilen yama boyutu, band genişliği, ilave kayıplar, ısı kararlılık, maliyet vs. etmenlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Balanis 1982).

## 2.2. Mikroşerit Antende Besleme Tipi

Mikroşerit yama antenlerin beslemesinde kullanılan en yaygın teknikler; mikroşerit hat besleme ve koaksiyel hat beslemedir. Empedans uyumu mikroşerit antenlerde maksimum güç aktarılması için dikkat edilmesi gereken en önemli etkendir. Besleme hattı empedansı sabittir ve  $50 \Omega$ 'dur. Anten empedansı farklı olması durumunda, empedans uyumunu sağlamak için besleme hattı ve anten arasına uyumlandırıcı konulması gerekir.

### 2.2.1. Mikroşerit Hat Besleme

Mikroşerit yama anten için orijinal uyartım tekniklerinden biri de kenar besleme ya da diğer bir adıyla mikroşerit hat besleme tekniğidir (Munson 1974). Şekil 2.2’de görüldüğü gibi,  $L_h$  uzunluğu ve  $W_h$  genişliğindeki bir mikroşerit hat doğrudan  $L$  ve  $W$  boyutlarındaki dikdörtgen yama iletkenine baskı devre yöntemiyle bağlanmıştır.

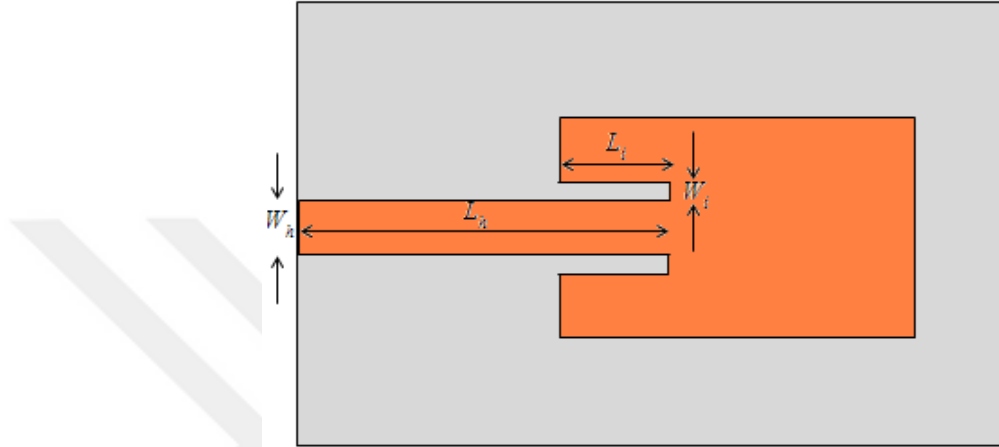


Şekil 2.2: Kenar beslemeli mikroşerit yama anten gösterimi

Genel olarak mikroşerit hat besleme yamanın ışıyan kenarı ( $W$ ) boyunca gerçekleşir ve iyi bir kutuplamaya sahiptir. Bu beslemede mikroşerit hat yamanın ışıyan kenarlarından birine bağlanırken, mikroşerit hattın yamanın ışımayan kenarı boyunca çeşitli konumlarda yerleştirildiği durumlar da mevcuttur. Beslemenin konumu uyarılan modu da belirler. Antenin konumu göz önüne alınarak tam merkezden ortalı olarak besleniyorsa merkezi besleme, kenarlara biraz kaydırılmış ise merkez dışı besleme olarak isimlendirilir. Besleyici hat empedansı ile anten empedansı arasında uyumlandırma yapmak için araya uyumlandırıcı konulabildiği gibi, antende sadece ana mod ışması yapılması durumunda besleyici hat merkezden kaydırılarak iyi bir uyumlandırma sağlanabilir.

Besleme hattının konumunun değişmesiyle rezonans frekansında hafif bir kayma gözlenir. Ancak ışma diyagramı bu değişiklikten etkilenmez. Rezonans frekansındaki bu kayma antenin ya da üstteki iletken parçanın boyutlarını değiştirerek önlenir (Çakır G., 2004).

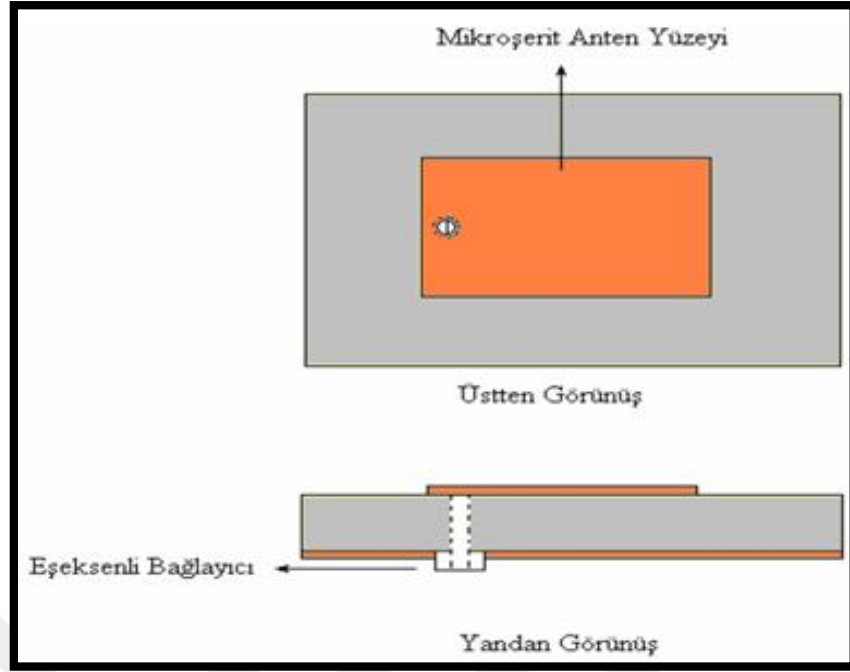
Besleyici hattın merkezde olması durumunda anten ile yama arasındaki empedans uyumu sağlayan bir diğer uyumlandırma mikroşerit gömme beslemesidir. Bu beslemede direnç, yama uzunluğu boyunca  $\text{Cos}^2\beta z$ 'nin bir fonksiyonu olarak değişir ve yama kenarından belli bir uzaklıkta mikroşerit hat empedansı olan  $50 \Omega$  değeri bulunabilir (Carver ve Mink 1981). Şekil 2.3' de gösterildiği gibi  $L_i$  mesafesi gömme mesafesidir.



Şekil 2.3: Mikroşerit hat gömme beslemeli mikroşerit anten

### 2.2.2. Koaksiyel Hat Besleme

Mikroşerit yama anteni eş eksenli bağlayıcı ile beslemek 1970'li yıllarda önerilen bir diğer orijinal uyartım tekniği biçimidir. Gücün bir eş eksenli bir bağlayıcı üzerinden kuplajlanması mikrodalga güç transferi için en temel mekanizmalardan biridir. Eş eksenli bağlayıcı olarak genellikle prob kullanılır. Şekil 2.4'de eş eksenli bağlayıcı ile beslenmiş bir koaksiyel hat besleme şeması görülmektedir.



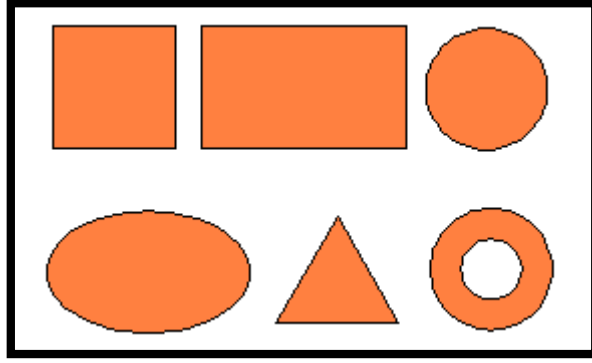
Şekil 2.4: Koaksiyel hat beslemeli mikroşerit anten

Eş eksenli besleme pini genellikle koaksiyel bir hattın iç iletkenidir. Bundan dolayı proba besleme, koaksiyel besleme olarak da bilinir. Koaksiyel iletken yama antenin toprak kısmından bağlanmıştır ve koaksiyelin merkez iletkeni tabanı geçtikten sonra yama metaline lehimlenir.

Prob konumu, kenar beslemeyi yama içine gömme benzeri bir mantıkla empedans kontrolü sağlar (Uzer D., 2015). Koaksiyel hat beslemeli antenler besleme noktasının konumuna göre de isimlendirilirler. Eğer besleme noktası üst iletkenin kenarında ve simetriyi bozmayacak bir konumda ise merkezi beslemeli, simetriyi bozuyorsa merkez dışı beslemeli, eğer üst iletkenin iç kısmında ise değişik beslemeli olarak isimlendirilir (Çakır G., 2004).

### 2.3. Mikroşerit Anten Yama Tipleri

Mikroşerit antenlerde ışınım yapan kısım yama, değişik geometrik şekilde ve boyutlarda olabilir. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi kare, dikdörtgen, daire, üçgen vb. şekillerde tasarlanmış yama antenler mevcuttur.



**Şekil 2.5:** MŞA'da kullanılan yaygın yama şekilleri

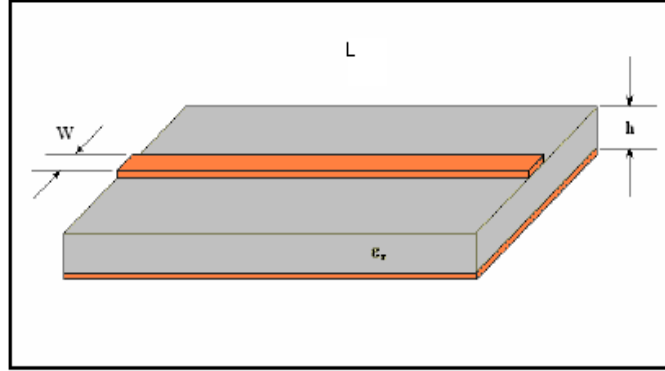
Mikroşerit yama antenlerde, yama hacmi ile band genişliğinin doğru orantılı olduğu yapılan çalışmalarda ortaya çıkmıştır. Yani yama boyutları artırılarak band genişliği de artırılabilir. Ancak bu durum bazı dezavantajları da ortaya çıkartabilir. Örneğin, yama uzunluğu, tasarlanan frekansın dalga boyuyla ilişkili olduğundan tabanın dielektrik katsayısı küçültülerek boyutta artışa gidilebilir. Bu durumda besleme hattının daha çok enerji yayacağı düşünülürse, ışımda çapraz kutuplama ve yan demet seviyelerine dikkat edilmelidir. Ayrıca yama genişliğinin artırılmasının boşlukta yüksek dereceden modların uyarılmasına yol açabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Taban kalınlığının artırılması durumunda ise, yüzey dalgaları ve yüzeyde oluşacak kayıplar artmaktadır. Bu sebeplerden dolayı yama genişliğinin artırılmasından ziyade taban üzerine parazitik elemanların ilavesi tercih edilmektedir (Yazgan 2006).

MŞA'de kullanılan kare yamalar dairesel ışıma şekli oluşturmak için tasarlanırlar. Band genişlikleri de kısmen yüksektir. Dikdörtgen yamalar ise hacim yönünden daha büyük olduğu için daha büyük band genişliğine sahiptirler. Hemen hemen ilk kullanılan yama tipleri ve büyük band genişliği olması hasebiyle bu iki yama tipi oldukça yaygın kullanılmaktadır. Diğer yama tipleri hacim bakımından dikdörtgen yamaya göre daha küçük olduklarından daha dar band genişliğine ve daha küçük kazançla sahiptirler.

### **2.3.1. Dikdörtgen Kesitli Mikroşerit Yama Anten Tasarımı**

Dikdörtgen mikroşerit yama anten, en basit mikroşerit yama yapısıdır. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, temel anten elemanı, arka yüzü toprak düzlemiyle kaplı, h

kalınlığında ve  $\epsilon_r$  dielektrik sabitine sahip bir taban üzerine (LxW) boyutlarında iletken bir şerittir ve iletim hattının uzantısıdır.



Şekil 2.6: MŞA'da kullanılan temel mikroşerit yama yapısı

W Yama genişliği aşağıdaki formülle bulunabilir (James 1989).

$$W = \frac{c}{2f_r} \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

Formülde c ışığın boşluktaki yayılma hızı,  $\epsilon_r$  malzemenin dielektrik sabiti,  $f_r$  ise çalışma frekansdır.

L Yama uzunluğu yarım dalga boyu uzunluğundan saçak alan uzunluğunun ( $\Delta$ ) çıkarılması ile elde edilir.

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l \quad (2.2)$$

Formülde  $\epsilon_e$  etkin dielektrik sabitidir ve  $(w/h) > 1$  için;

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + \frac{12t}{W} \right] \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanır (Schneider, 1969). Denklemden yer alan t değeri mikroşerit hat kalınlığıdır.

Hat genişlemesi  $\Delta l$  ise;

$$\Delta l = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir (Hammerstad, Bekkadal 1975).

Mikroşerit hatlarda karakteristik empedans hattın genişliğine ve dielektrik tabanın kalınlığına bağlıdır. Aşağıdaki denklemlerde efektif dielektrik katsayısı ve karakteristik empedansının hesabına ilişkin formüller verilmiştir.

$$\epsilon_{eff} = \begin{cases} \frac{\epsilon_r + 1}{2 \left( 1 - \frac{B}{C} \right)^2} & \frac{W}{h} < 1.3 \\ \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left( \frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \left( 1 + \frac{10h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} & \frac{W}{h} \geq 1.3 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$Z_0 = \begin{cases} A(C - B) & \frac{W}{h} < 3.3 \\ \frac{D}{E} & \frac{W}{h} \geq 3.3 \end{cases} \quad (2.6)$$

$$A = \frac{120}{\sqrt{2(\epsilon_t + 1)}} \quad (2.7)$$

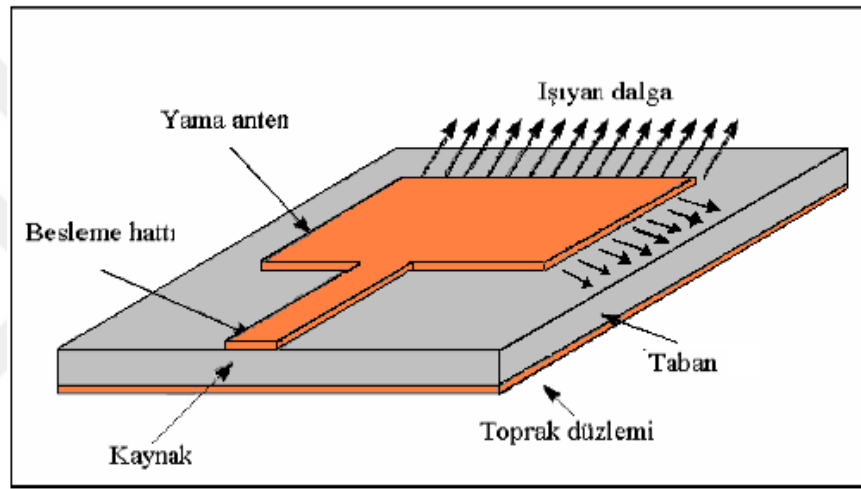
$$B = \frac{1}{2} \left[ \frac{\epsilon_t - 1}{\epsilon_t + 1} \right] \cdot \left[ \ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_t} \ln \frac{4}{\pi} \right] \quad (2.8)$$

$$C = \ln \frac{8h}{W} + \frac{1}{32} \left[ \frac{W}{h} \right]^2 \quad (2.9)$$

$$D = \frac{60\pi}{\sqrt{\epsilon_t}} \quad (2.10)$$

$$E = \frac{W}{2h} + 0.4413 + 0.08226 \left[ \frac{\epsilon_t - 1}{\epsilon_t^2} \right] + \frac{\epsilon_t + 1}{2\pi\epsilon_t} \left[ 1.542 + \ln \left( \frac{W}{2h} + 0.94 \right) \right] \quad (2.11)$$

Işıma yapılabilmesi için mikroşerit yamanın uygun bir geometriyle şekil verilmesi gerekir. Şekil 2.7’de verilen dikdörtgen mikroşerit yama anten, mikroşerit yapının en basit anten tipidir. Dikdörtgen yama anten bir besleme ile uyarıldığında yama metalinin alt kısmında ve toprak düzleminde bir akım dağılımı oluşur. Belli bir zaman aralığında yamanın alt kısmı pozitif, toprak düzlemi ise negatif olarak yüklenir. Bu iki zıt yük dizileri arasındaki çekim gücü yükün büyük bir kısmını iki yüzey arasında tutmaya meyillidir. Ancak yine de yama üzerindeki pozitif yüklerin bir kısmı kenara doğru itilir ve bu durumda yama kenarında bir akım yoğunluğu meydana gelir.



Şekil 2.7: Dikdörtgen mikroşerit yama anten (Buchanan,1996)(Çakır, 2004)

Genellikle yama anten tasarımlarında, toprak düzlemi boyutları taban malzemesi boyutlarıyla aynı seçilir. Toprak düzlemi boyutları seçilmesi, uygulaması gerçekleştirilen antenin birlikte çalışacağı cihaz ve anten performansı açısından oldukça önemlidir. Mikroşerit yama antenlerin tasarımında ve analizinde toprak düzlemi boyutunun gerçekte sonlu bir düzlem olmasına rağmen teoride sonsuz boyutlarda olduğu kabul edilir. İletim hattı modeli sadece sonsuz toprak düzlemlerine uygulanabilir. Yine de, pratikte, sonlu boyutlara sahip, uygulaması gerçekleştirilebilen bir toprak düzlemi gereklidir. Toprak boyutunun makul tasarlanabilen boyutlarda olması da bakır kayıplarını önleyecektir.

Eğer toprak düzleminin boyutları tüm çevre boyunca yama boyutlarından yaklaşık olarak taban kalınlığının altı katı kadar büyükse, sonlu ve sonsuz toprak düzlemleri için benzer sonuçların elde edildiği gösterilmiştir (Ray ve Kumar 2003).



$$\begin{aligned} L_{\text{gnd}} &= 6h+L \\ W_{\text{gnd}} &= 6h+W \end{aligned} \quad (2.12)$$

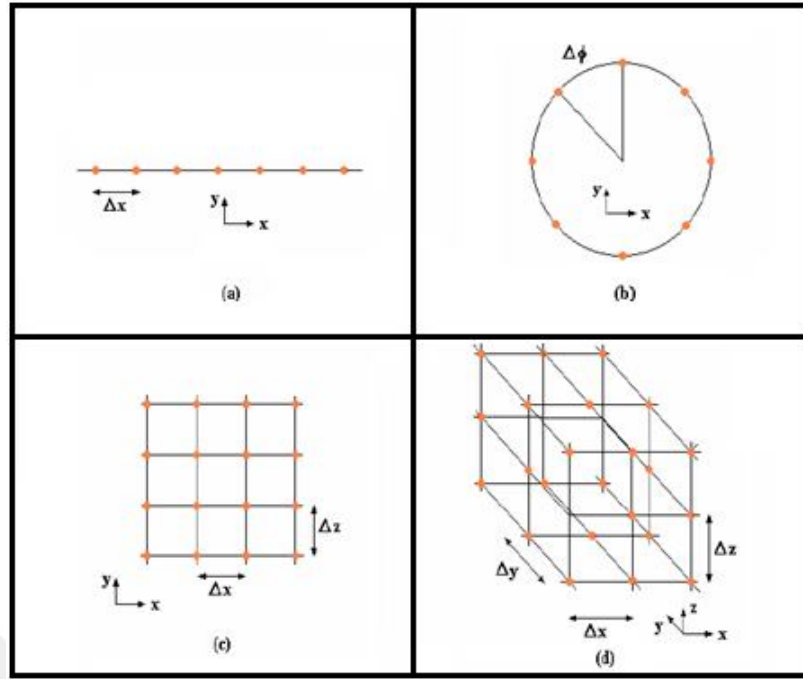
Formülde  $L_{\text{gnd}}$  toprak boyutu uzunluğu,  $W_{\text{gnd}}$  ise toprak boyutu genişliğidir.

Sonlu bir toprak düzlemi, geriye doğru olan saçılma ışınmasına yol açabileceği gibi toprak düzlemi boyutlarının artması da ana desendeki dalgalanmaları azaltır. Toprak düzlemi boyutlarının değiştirilmesiyle de band genişliği arttırılabilir (Huang 1983; Dundar ve ark 2011).

#### 2.4. Dizi Antenler

Tek elemanlı bir antenin ışınma örüntüsü nispeten geniştir ama tek eleman düşük değerde kazanç sağlar. Uzak mesafeli haberleşmenin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla çoğu uygulamalarda yüksek kazançlı anten tasarlamak gerekir. Antenin elektriksel boyutu büyütülerek antenin kazancı artırılabilir. Ancak buna gerek olmadan ışınma elemanını belirli bir elektriksel ve geometrik düzende yerleştirilerek de anten kazancı artırılabilir. Birden fazla ışınma elemanından oluşan bu yapı anten dizisi olarak isimlendirilir. Özdeş anten elemanlarından oluşan bir dizi antenin ışınma diyagramı, dizi antenin geometrik şekline (lineer, dairesel, küresel vs.), dizi elemanları arasındaki uzaklığa, dizi elemanlarının beslemesinin genliğine ve fazına ve dizi elemanlarının tek başına ışınma diyagramına bağlıdır (Balanis C. A., 1997)

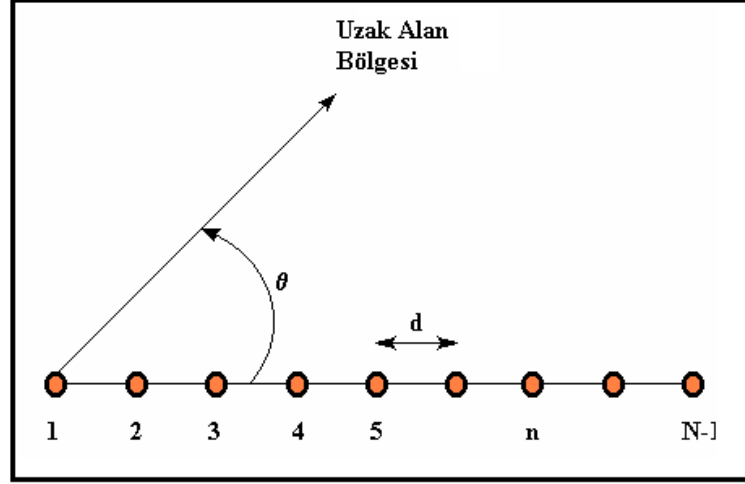
Mikroşerit anten dizileri, ışınmanın istendiği uzay boyutlarına bağlı olarak tek boyutlu, iki boyutlu ya da üç boyutlu tasarlanabilir. Şekil 2.8'de dizi anten geometrileri gösterilmiştir.



**Şekil 2.8:** Mikroşerit dizi anten geometrileri, a) Tek boyutlu düzgün lineer dizi, b) Dairesel boyutlu dizi, c) İki boyutlu dizi, d) Üç boyutlu dizi

Şekil 2.8.a'da gösterilen yapı, sadece yatay düzlemde azimut açısı ile huzme biçimlendirme için kullanılan tek boyutlu düzgün lineer dizi geometrisidir. Bu diziler azimut açısında huzme biçimlendirmede kullanılan en temel yapılardır. Şekil 2.8.b'de gösterilen yapı da yine sadece yatay düzlemde azimut açısı ile huzme biçimlendirme için kullanılan dairesel boyutlu dizi geometrisi gösterimidir. Şekil 2.8.c'de hem azimut hem de yükseltme açılarında biçimlendirme yapabilen iki boyutlu dizi anten geometrisi görülmektedir. Şekil 2.8.d'de yine hem azimut hem de yükseltme açılarında biçimlendirme yapabilen üç boyutlu dizi anten geometrisi gösterilmiştir. İki ve üç boyutlu dizi anten geometrileri genellikle nüfusun yoğun olduğu ve iç ortamlarda tercih edilir (Çakır G., 2004).

Dizi antenlerde yapılan analiz ve sentez işlemlerinin daha kolay olması için düzgün geometriler tercih edilir. En basit geometri şekli tek boyutta eşit mesafedeki lineer diziler olup bu dizilerde antenler Şekil 2.9'daki gibi aralarında eşit uzaklıkta tek bir hat üzerinde yer alırlar.



Şekil 2.9: Eşit mesafedeki lineer doğrusal dizilerin geometrisi

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi dizi antenlerin karakteristiklerini çıkarmak için; koordinat sisteminde x eksenini üzerinde birbirlerine  $d$  kadar uzaklıkta, aynı genlik ve fazda işaretlenmiş iki anten olduğunu düşünelim. Yeterince uzak bir mesafede iki antenden yayılan toplam alan, Maxwell denklemleri doğrusal olduğu için her bir antenin alanları toplamına eşit olacaktır. Toplam alan  $E(\theta)$  ile gösterilirse;

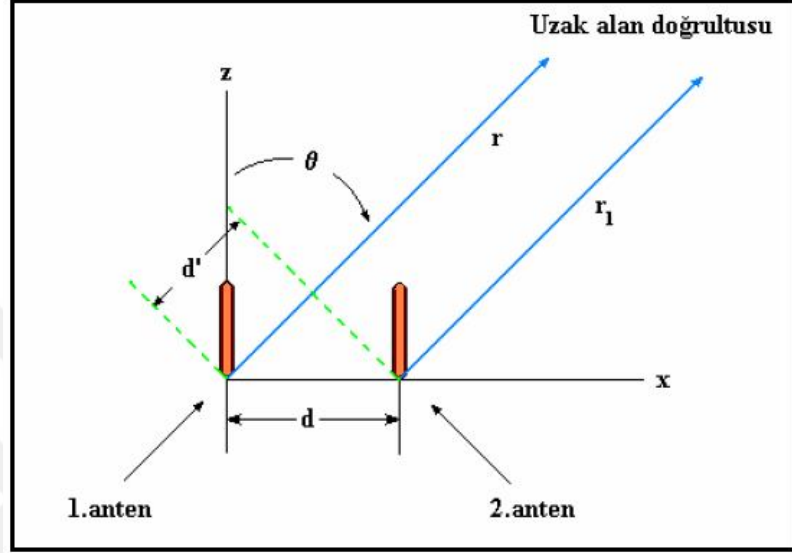
$$E(\theta) = E_1(\theta) \frac{e^{-jkr}}{r} + E_2(\theta) \frac{e^{-jkr_1}}{r_1} \quad (2.13)$$

formülü ile ifade edilebilir. Burada  $E_1(\theta)$  ve  $E_2(\theta)$  her bir antenin uzak alan ışınma örüntüleri,  $k=2\pi/\lambda_0$ ,  $r$  ve  $r_1$  anten ile belirli bir uzaklıktaki bir nokta arasındaki mesafedir ve bu nokta yeteri kadar uzak seçilirse  $r$  ve  $r_1$  birbirlerine Şekil 2.10'da görüldüğü gibi paralel olacaktır. Gözlem noktası yeteri kadar uzak seçilebilirse  $r$  ve  $r_1$  birbirlerine eşit olabilir. Dolayısıyla  $E_1(\theta)$  ve  $E_2(\theta)$  arasındaki genlik farkı ihmal edilebilecek düzeyde küçük olur. O halde  $E_1(\theta) \approx E_2(\theta)$  kabul edilir. Ancak üslü terimlerdeki farklılıklar ihmal edilemez. Yollar birbirine yaklaşık paralel olduğu için aralarındaki mesafe farkı  $d^l = r - r_1 \approx d \sin \theta$  olur. Böylece toplam alan şiddeti;

$$E(\theta) = E_1(\theta) \frac{e^{-jkr}}{r} [1 + e^{jk d \sin(\theta)}] \quad (2.14)$$

olur. Denkleminde çarpım halinde üç ifade bulunmaktadır. İlk ifade elemanın örüntüsüdür. İkinci terim alanın uzaklığa bağlı olarak uzaydaki yayılımının etkisini

gösterir. Üçüncü terim ise diziye bağlı olan etkileri ifade eder ve dizi faktörü olarak isimlendirilir. Bu denklemle oluşturulan model dizi elemanlarının eşdeğer olduğu ve karşılıklı etkileşimin göz ardı edilebildiği antenlerden oluşan dizi hesaplamalarında yaygın olarak kullanılır (Çakır G., 2004).



Şekil 2.10: Eşit mesafedeki lineer doğrusal dizilerin geometrisi

Anten dizilerinin özelliklerini ve yeteneğini artırmak için her bir anten farklı genlik ve fazlarda sürülebilirler. Anten elemanının orijin noktasında olduğunu varsaydığımızda fazı da sıfır olacaktır. Dizideki sürülen i. elemanın genliği  $\alpha_1$ , fazı ise  $\beta_1$  olduğu kabul edilirse denklem (2.14) aşağıdaki hale dönüşür.

$$E(\theta) = E_1(\theta) \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} [\alpha_1 + \alpha_2 e^{-j(\beta_2 - kd \sin(\theta))}] \quad (2.15)$$

Dizide elemanların yarım dalga boyu uzaklıklarda sabitlendiği,  $\alpha_1 = \alpha_2$  ve  $\beta_2 = 0$  olduğu düşünülürse  $\theta$ 'nin 0 ve 180 derece açılarında r ve  $r_1$  yol uzaklıkları yaklaşık birbirlerine eşittir. Bu varsayım faz sürülmesinde iki antenin ışımalarının maksimum olduğu durum üzerine yapılmaktadır. Bu denklem genellenip N elemanlı bir dizi kurgusu oluşturulursa uzak alan ışınması tüm alanların toplamına eşit olur.

$$E(\theta) = E_e(\theta) \sum_{n=1}^N \alpha_n e^{j(n-1)[kd \sin(\theta) - \beta] - \frac{e^{-jkr}}{r}} \quad (2.16)$$

Bu denklem, elemanlar arasında eşit mesafe bulunan N elemanlı ve elemanlar arası faz kaymasının sabit olduğu bir dizi içindir. Eğer her bir elemanın eşit genlikte beslendiği düşünülürse, dizi özellikleri üzerine analiz yapmak için aşağıdaki denkleme indirgenir.

$$E(\theta) = \frac{1 \sin[N(kd \sin(\theta) - \beta)/2]}{N \sin[(kd \sin(\theta) - \beta)/2]} E_e(\theta) \quad (2.17)$$

## 2.5. Anten Parametreleri

Mikroşerit yama antenlerin karakteristiği tartışılırken, tüm anten yapılarında olduğu gibi belli başlı karakteristiklerden söz edilir. Geri dönüş kaybı (RL), band genişliği, yönlendiricilik, güç kazancı, verimlilik ve ışın diyagramı bunlardan bazılarıdır. Ancak burada herhangi bir parametrede iyileştirme yapmak diğer parametrelerde bozulmalara sebep olabilmektedir.

### 2.5.1. Antenin Geri Dönüş Kaybı (RL)

Antenlere gelen sinyaller genellikle çok küçük değerlerde olduğu için geri dönüş kaybı oldukça önemlidir. Birimi logaritmik ölçekte gösterildiği için dB'dir. Duran dalga oranının 2'den küçük olması, geri dönüş kaybının da -9,5'den küçük olması anlamına gelir ki o da bu antenin rezonans frekansında çalışabildiği anlamını taşır. Geri dönüş kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır ( Pozar, D.M., 2005).

$$RL = -20 * \log \left( \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right) \quad (2.18)$$

### 2.5.2. Antenin Band Genişliği (BW)

Antenin etkili olarak çalışabildiği bölge olarak, geri dönüş kaybının -10 dB'den daha düşük olduğu frekans aralığı kabul edilir. Band genişliği, etkili çalışılan frekans aralığının merkez frekansa oranı olarak yüzdesel biçimde ifade edilebilir.

$$BW = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_0} \times 100 \quad (2.19)$$

### 2.5.3. Antenin Yönlendiriciliği

Yönlendiricilik (directivity); antenin belirlenmiş bir yöndeki ışımaya yoğunluğunun, diğer tüm yönlerde yapılan ışımaya yoğunluğu ortalamasına oranıdır. Ortalama ışımaya yoğunluğu ise yapılan toplam ışımaya gücünün  $4\pi r^2$ 'ye bölünmesiyle bulunur. Anten yönlendiriciliği aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$D(\theta, \phi) = \frac{K(\theta, \phi)}{K_{ort}} \quad (2.20)$$

$$D(\theta, \phi) = \frac{\rho(\theta, \phi)}{\frac{Pr}{4\pi r^2}} \quad (2.21)$$

### 2.5.4. Antenin Kazancı

Antenin kazancı, performansını tanımlamaya yarayan en önemli parametrelerden biridir. Kazanç, antenin belirlenmiş bir yöndeki ışımaya yoğunluğunun, diğer tüm yönlerden alınan ışımaya yoğunluğunun ortalamasına oranıdır. Anten kazancı, uzaydaki elektrik alanlardan anten uçlarına ne kadar güç aktarıldığı bilgisi kullanılarak hesaplanır.

$$G(\theta, \phi) = \frac{\rho(\theta, \phi)}{\frac{Pd}{4\pi r^2}} = \frac{Pr}{Pd} \times \frac{\rho(\theta, \phi)}{\frac{Pr}{4\pi r^2}} = \eta D(\theta, \phi) \quad (2.22)$$

### 2.5.5. Antenin Verimliliği

Antenin verimi, ışımaya gücünün kaynaktan çekilen güce oranı olarak tanımlanabilir. Kaynaktan çekilen gücün bir kısmı anten içerisinde ısı kayıpları olarak harcanır. Isıl kayıpları ise yansıma kayıpları, omik kayıplar ve antenin yapısından kaynaklanan kayıplar oluşturur. Kayıpların fazla olması anten verimliliğini düşürür. Anten verimliliği 0 ile 1 arasında tanımlanır ve 1'e yakın olması istenir. Formülde  $e_0$  anten verimi,  $e_c$  iletim verimi,  $e_r$  yansıma verimi,  $e_d$  ise dielektrik verimdir.

$$e_0 = e_c e_r e_d \quad (2.23)$$

## 2.6. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları, insan sinir sisteminin biyolojik yapısından esinlenmiş bir teorik yapıya sahiptir. Yani, yapay sinir ağları, insan sinir sistemindeki sinir hücresi olan nöronların fonksiyonunu gören temel elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanlar insan beyninin anatomisine benzer şekilde organize edilmişlerdir. Bu büyük benzeşmenin yanı sıra, yapay sinir ağları insan beyninin şaşırtıcı derecede birçok özelliklerini de taşırlar. Bugün bu alanda gelinen nokta, insan zekasının derinlemesine bir incelemesinin, yapay sinir ağları alanında devrim niteliğinde uygulamaları da beraberinde getireceğini göstermektedir.

### 2.6.1. Öğrenme

Yapay sinir ağları çevreden aldıkları girdilere göre çıkışlarındaki davranışlarını değiştirebilirler. Öğrenme işleminde ağ'a belli bir girdi verildiği zaman, ağ tutarlı cevaplar üretebilmek için kendi üzerinde değişiklik yapmak durumundadır. Yapay sinir ağlarını eğitebilmek için çeşitli öğrenme algoritmaları geliştirilmiştir. Bu algoritmaların her birinin kendine göre zayıf ve güçlü olduğu noktalar vardır.

### 2.6.2. Genelleme

Öğretme işlemi tamamlanmış bir ağ, bir dereceye kadar ona verilen girdilerdeki ufak değişikliklere karşı duyarsız olabilir. Yani sürekli aynı tepkiyi gösterir. Bu yetenek, gerçek dünyadaki, çevreden gelen faktörlerle ufak bozulmalara uğramış girdileri fark edebilmek açısından önemlidir. Bu, bilgisayarlarda kullanılan mantığı aşarak; içinde yaşadığımız mükemmel olmayan dünyayı anlayabilmek için geliştirmiş bir sistemdir. YSA genelleme işini kendi yapılarından dolayı otomatik olarak yaparlar.

### 2.6.3. Özetleme

Bazı yapay sinir ağları, girilen belli bir giriş bilgi dizisinin esasını, özünü ayıklama, çıkarma yeteneğine sahiptir. Örneğin, bir ağ'a bilgi olarak 'A' harfinin çeşitli bozuk şekilleri verilebilir. Yeterli öğretmeden sonra, girilen bozuk bir 'A' harfine cevap olarak ağ düzgün bir 'A' harfini verebilecektir. Yani bir anlamda ağ daha önce görmediği, öğrenmediği bir şeyi üretmeyi öğrenmiş olacaktır. Burada,

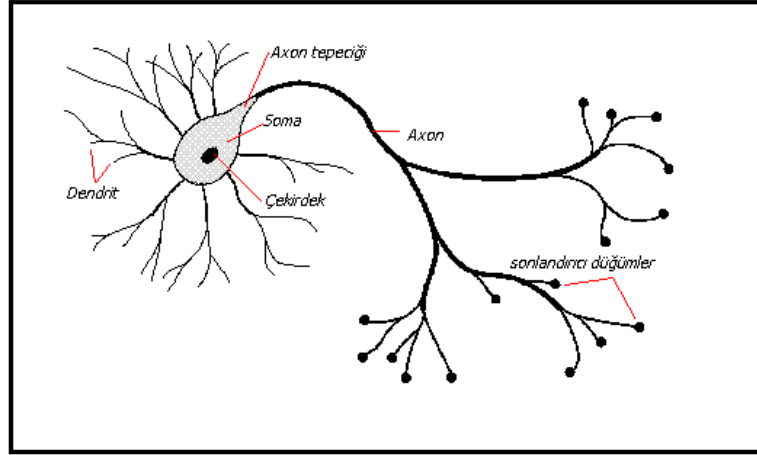
ideal prototipler çıkarabilmek yeteneği insanoğlunun önemli ve yararlı bir özelliğidir. Bugün bu özelliğin YSA'da kullanılması gündeme gelmiştir. YSA'ları, elbette, bilgisayarların yapmakta olduğu maaş bordrosu hesaplamak gibi işler için uygun değildir. Fakat, bugün geleneksel bilgisayarların yapmakta zorlandığı veya çok sınırlı yapabildiği model-tanım, algılama (pattern-recognition) alanında, yapay sinir ağlarının geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Burr D.J., 1987).

#### **2.6.4. Biyolojik Yapı**

Yapay sinir ağları biyolojik nöronlardan esinlenerek düşünölmüş olup araştırmacılar ağ şeklini ve algoritmasını düşünürken beynin organizasyonunu incelemişlerdir. Ancak beynin çalışma sistemi ile ilgili bilgiler çok sınırlıdır. Bu konuda çalışanlara yol gösterme olanağı çok da kısıtlıdır. Bu bakımdan ağ tasarlayıcı bilim adamları mevcut biyolojik bilgiden daha ileriye gitmeye, yararlı fonksiyon bulmaya yardımcı olacak kavramlar aramaya mecbur kalmışlardır. Birçok durumda bu önemli değişim biyolojik gerçekleri göz ardı eder, beyin sanal olur, ağlar beyin anatomisi ve fonksiyonları hakkında organik olarak uygulanamaz.

Bu inceliğe rağmen, biyolojik olarak çok benzemese de, YSA'ları ile beyin arasında yapılan karşılaştırmalarda benzerlikler ortaya konulabilmektedir. YSA fonksiyonları, insanoğlunun algılamasını anımsatır. Bu sebeple benzetme yapmaktan kaçınmak çok zordur. Beyinde olduğu tahmin edilen 100 milyar nöronun yaklaşık 1 katrilyon bağlayıcısı vardır. Her nöron vücuttaki diğer hücreler ile birlikte ortak birçok karakteristikler paylaşır. Fakat beynin haberleşme sistemini oluşturan nöronların görevi sinyal alma, işlem yapma ve elektrokimyasal sinyallerin sinir ağları içinde iletimini sağlamaktır.



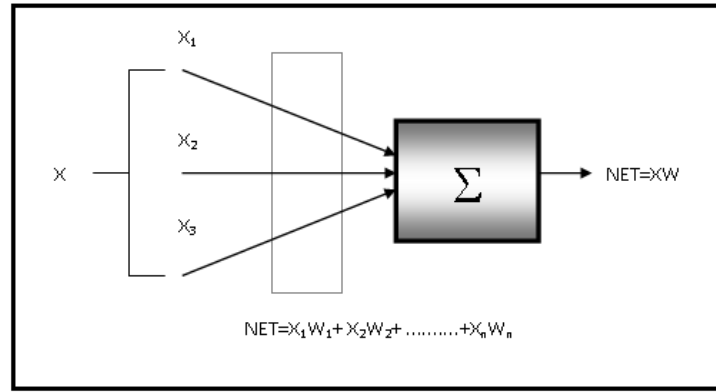


**Şekil 2.11:** Tipik biyolojik nöron çiftinin yapısını

Şekil 2.11 tipik biyolojik nöron çiftinin yapısını göstermektedir. Dendrit sinyalleri hücre vücudundan sinaps diye adlandırılan birleşme noktasında alır. Sinapsların alıcı olan kısımları ile hücre vücudu irtibat halindedir. Burada toplandıklarında bazı girdiler hücreyi etkileme eğilimi gösterir, diğerleri de eğilimlerin uyarılmasını engeller. Hücre, beden içinde kümülâtif uyarma eşliğini aştığı zaman hücre uyarılır ve aksondan diğer nöronlara sinyal gönderir. Bu basit fonksiyonel çıkış birçok karmaşıklığı ve kabulleri kapsar. Ancak yine de çoğu yapay sinir ağları bu tür basit karakteristikleri kendisine model alır.

### 2.6.5. Yapay Nöron

Yapay nöron, biyolojik nöronun giriş, işlem ve çıkış karakteristiğini taklit etmek için tasarlanmıştır. Burada her bir giriş kendi ağırlığı ile çarpılmakta ve bu çarpımların hepsi toplanmaktadır. Bu toplam sinaptik kuvvete benzetilebilir. Bu toplam, nöronun aktivasyon seviyesini belirlemek için kullanılır. Şekil 2.12 bu modeli göstermektedir.



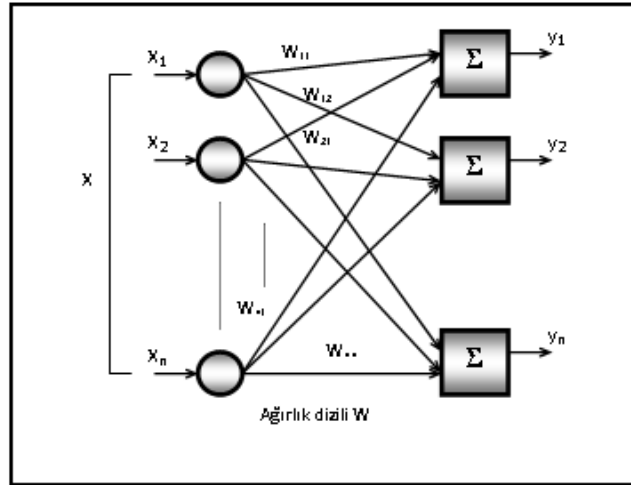
Şekil 2.12: Yapay nöron

Ağ dizileri çok çeşitli olmasına rağmen çoğunluğu Şekil 2.12'deki gösterime dayanır. Burada giriş seti  $x_1, x_2, \dots, x_n$  olarak gösterilip yapay sinire uygulanmıştır. Bu girişler toplanarak  $X$  vektörünü oluşturur ve biyolojik sinaplara sinyal olarak gönderilir. Her sinyal bağlı olduğu ağırlık değeri  $w_1, w_2, \dots, w_n$  ile çarpılarak  $\Sigma$  işareti ile gösterilen bloğa aktarılır. Her ağırlık tek bir biyolojik sinaptik bağlantının gücünü temsil eder. Burada ağırlıklar kümesinin toplamı  $W$  adı verilen vektörü oluşturur.

Toplam blok kabaca biyolojik hücrenin yapısını gösterir. Ağırlıklı girdilerin cebirsel toplamı  $NET$  adı verilen bir çıkış meydana getirir. Bu olay vektör notasyonunda  $NET = XW$  şekilde gösterilir.

### 2.6.6. Tek Katmanlı YSA

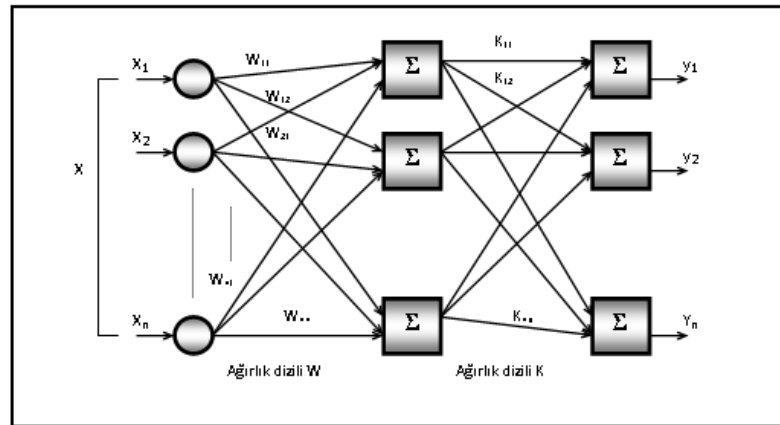
Yapay bir nöron ve nöronların birbirine bağlanmasından oluşan YSA'nın gücü ve başarısı gerçek bir sinir sistemininki kadar mükemmel olmayacaktır. En basit ağ yapısı Şekil 2.13'de görüldüğü gibidir. Yuvarlak gösterimler sadece girişlerin nörona dağılmasını sağlar ve herhangi bir çözümleme yapmaz. Bu nedenle girişleri nöronlardan farklı olarak ifade edebilmek için yuvarlak olarak göstermek gerekir. Burada girdilerin kümesi olan  $X$ 'in her elemanı bir ağırlık değeriyle YSA'ya bağlanır. Oluşturulmuş ilk YSA'lar bu kadar karmaşık değildi ve her nöron basit bir hesaplamayla girişlerin ağırlıklı toplamını ağ'a veriyordu. Yapay ve biyolojik sinir ağlarının bazı bağlantıları silinmiş olabilir ama YSA'nın yapısını genelleştirebilmek için eksiksiz bağlantılar tercih edilir. Burada  $W$  ağırlık matrisi,  $m$  girdi sayısı,  $n$  ise nöron sayısıdır. Mesela 3. girişten 2. nörona bağlantı yapan ağırlık  $W_{32}$  olarak ifade edilir ve  $NET$  hesabı ise  $NET = XW$  olur.



Şekil 2.13: Tek Katmanlı Sinir Ağları

### 2.6.7. Çok Katmanlı YSA

Daha geniş ve daha karmaşık ağların hesaplama kapasitelerinin de daha fazla olması gerekir. YSA'lar beynin bir parçasını yansıtacak şekilde inşa edilmiştir. Çok katmanlı ağların tek katmanlı ağlara oranla daha iyi oldukları ispatlanmıştır ve tüm çalışmalar bu ağlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Çok katmanlı ağlar, tek katmanlı ağların bir araya gelmesinden oluşur. Şekil 2.14 çok katmanlı ağ yapısını göstermektedir.



Şekil 2.14: Çift katmanlı Sinir Ağları

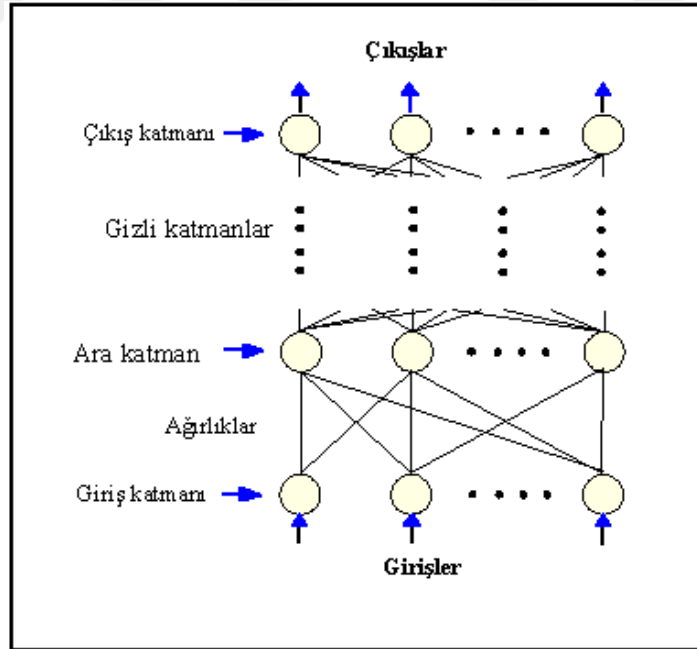
Çok katmanlı ağlarda eğer doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonu kullanılıyorsa bu ağların hesaplama gücü mükemmel olmayacaktır. Eğer aktivasyon fonksiyonu doğrusal ise  $X$  giriş vektörü olmak üzere  $W_1$  birinci ağırlık matrisi,  $W_2$

ikinci ağırlık matrisi olmak üzere çıktı,  $(XW_1)W_2$  şeklinde hesaplanabilir. Matris çarpımı birleşene kadar terimler tekrar gruplandırılır ve  $X(W_1W_2)$  biçiminde yazılır.

Burada iki katmanlı doğrusal ağ, tek katmanlı ve iki ağırlık vektörünün çarpımını ağırlık vektörü olarak alan bir ağ ile eşit durumdadır ve tek katmanlı ağların ve doğrusal aktivasyon fonksiyonlarının hesaplama güçlerinin sınırlı olduğu söylenebilir.

### 2.6.7.1. Çok Katmanlı Perseptron (ÇKP) YSA Yapısı

ÇKP Şekil 2.15’de gösterildiği gibi, bir giriş katmanı, bir veya birden fazla ara katman ve bir çıkış katmanından oluşan ileri beslemeli bir YSA tipidir. Giriş katmanındaki işlemci elemanlar, giriş sinyallerini ara katmandaki işlemci elemanlara dağıtır. Ara katmandaki işlemci elemanlar, giriş katmanından gelen girişler bağlantı ağırlıklarıyla çarpıldıktan sonra toplanır ve bir transfer fonksiyonundan geçirilerek çıkış katmanına aktarılır. Çıkış katmanındaki işlemci elemanlar ara katman elemanları gibi davranarak ağ çıkış değerini hesaplar.



Şekil 2.15: Genel bir ÇKP yapısı.

İleri beslemeli sinir ağı modeli olarak adlandırılan yapıda bilgi akışı, ileri doğrudur ve geri besleme yoktur. Giriş katmanındaki işlem elemanı sayısı,

uygulanan problemin giriş sayısına bağlıdır. Ara katman sayısı ve ara katmanlardaki işlem elemanı sayısı ise, deneme-yanılma yolu ile bulunur. Çıkış katmanındaki eleman sayısı ise yine uygulanan probleme göre değişebilir (Sağiroğlu Ş., 1994, 1996).

Kullanılan eğitime algoritmasına göre, ağın çıkışı ile arzu edilen çıkış arasındaki hata tekrar geriye doğru yayılarak hata minimuma düşünceye kadar ağın ağırlıkları değiştirilir.

### **2.6.8. YSA Öğrenme Algoritmaları**

Literatürde çok sayıda öğrenme algoritması mevcuttur. Bu algoritmalar YSA yapılarına göre değişmektedir. Bunlardan bazıları; Delta-Bar-Delta (DBD), Genişletilmiş Delta-Bar-Delta (GDBD) ve Levenberg-Marquardt (LM) öğrenme algoritmalarıdır.

#### **2.6.8.1. Delta-Bar-Delta (DBD)**

Delta-Bar-Delta eğitime algoritması Jacobs (1988) tarafından geliştirilmiş ÇKP öğrenme algoritması olan, ağırlıklarının yakınsama hızını arttırmak için kullanılan sezgisel bir yaklaşımdır. Hata yüzeyleri açısından ağırlık uzayının her bir boyutunun çok farklı olabileceğini yapılan deneysel çalışmalar göstermiştir. Hata yüzeylerindeki bu farklılıkları belirlemek için, ağın her bir ağırlığının kendi öğrenme katsayısına sahip olması gerekir (Jacobs 1988). Fakat bu yaklaşımda, oluşturulan öğrenme katsayısının tek bir ağırlık için uygun olmasına karşın, bütün ağırlıklar için uygun olmayabilir. Ancak, her bir ağırlığa bir öğrenme katsayısı atanması ve bu öğrenme katsayısının zamanla değişmesine izin verilmesi de ağın yakınsama süresini azaltmak için daha fazla serbestlik derecesi sağlayacaktır.

DBD öğrenme algoritmasında, ağın her bir bağlantısına atanan öğrenme katsayılarının en uygun değerlerinin belirlenmesi çok zor ve zaman alıcı olabilir. Bu algoritmada, bir bağlantıya ait ağırlık değişim işaretinin ardışık birkaç adımı sırayla değiştiği zaman öğrenme oranı azaltılmalı, aynı kaldığı zaman ise öğrenme oranı arttırılmalıdır. Bu değişimi sağlayabilmek için ağırlıklar, hatanın derecesine göre olan kısmi türevlerine ve ağırlık değeri noktasının çevresindeki hata yüzeyinin eğrilik ölçüsüne göre güncellenir. Bu güncelleme

$$w(k+1) = w(k) + \alpha(k) \delta(k) \quad (2.24)$$

ile gerçekleştirilir.  $\alpha(k)$  öğrenme katsayısı her bir ağırlık için farklı atanır. Her bir ağırlığın öğrenme hızının azalması ve artması için,  $\delta(k)$  eğim bileşeninin ağırlıklı ortalaması kullanılarak bulunur ve ağırlıklı ortalama

$$\bar{\delta}(k) = (1 - \theta)\delta(k) + \theta \delta(k-1) \quad (2.25)$$

şekilde düzenlenebilir. Burada,  $\theta$  konveks ağırlık faktörüdür.

Üstel olarak artan önceki eğim bileşeni ve mevcut eğim bileşeni aynı işaretli ise öğrenme katsayısı,  $\kappa$  sabiti ile artırılan ağırlıkla birleştirilir. Mevcut eğim bileşeni üstel ortalamadan farklı işaretli ise, öğrenme katsayısı mevcut değeri ile orantılı olarak azalır. Bu öğrenme oranının güncelleştirilmesi ise aşağıdaki eşitlikle verilir,

$$\Delta\alpha(k) = \begin{cases} \kappa & \bar{\delta}(k-1) \delta(k) > 0 \\ -\varphi\alpha(k) & \bar{\delta}(k-1) \delta(k) < 0 \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad 2.26$$

Eşitlikte,  $\alpha(k)$ ,  $k$  anındaki öğrenme katsayısını,  $\kappa$  artma faktörünü,  $\varphi$  ise azaltma faktörünü göstermektedir. Bu eşitliğe göre DBD algoritması, öğrenme katsayılarını lineer olarak artırmakta ancak geometrik olarak azaltmaktadır (NeuralWare 1996).

### 2.6.8.2. Genişletilmiş Delta-Bar-Delta (GDBD)

GDBD algoritması (Minai ve Williams 1990), DBD algoritmasının (Jacobs 1988) geliştirilmiş halidir ve ÇKP'lerin eğitme zamanını azaltma esasına dayanmaktadır. GDBD algoritmasının DBD algoritmasından farkı, sezgisel momentum kullanması, ağırlık uzayında büyük atlamaları ortadan kaldırması ve geometrik azaltmanın amacı aşan büyük atlamaları engellemede hızlı olmasıdır. GDBD algoritmasında, ağırlıklardaki değişimler,

$$\Delta w(k+1) = \alpha(k)\delta(k) + \mu(k)\Delta w(k) \quad 2.27$$

ile hesaplanır. Burada,  $\delta(k)$  ağırlık değişiminin gradyant bileşeni,  $\alpha(k)$  ve  $\mu(k)$  sırasıyla öğrenme ve momentum katsayılarıdır. Ağırlıklar aşağıdaki şekilde bulunur.

$$w(k+1) = w(k) + \Delta w(k+1) \quad 2.28$$

Öğrenme katsayısı değişimi ise aşağıdaki gibi verilir.

$$\Delta\alpha(k) = \begin{cases} \kappa_\alpha \exp(-\gamma_\alpha |\delta(k)|) & \text{ise } \bar{\delta}(k-1) \delta(k) > 0 \\ -\phi_\alpha \alpha(k) & \text{ise } \bar{\delta}(k-1) \delta(k) < 0 \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad 2.29$$

Burada  $\kappa_\alpha$  öğrenme katsayısını derecelendirme sabiti,  $\exp$  üstel fonksiyonu,  $\phi_\alpha$  öğrenme katsayısını azaltma sabiti ve  $\gamma_\alpha$  öğrenme katsayısını üstel olarak arttırma sabitini ifade eder. Momentum katsayısı değişimi ise,

$$\Delta\mu(k) = \begin{cases} \kappa_\mu \exp(-\gamma_\mu |\delta(k)|) & \text{ise } \bar{\delta}(k-1) \delta(k) > 0 \\ -\phi_\mu \mu(k) & \text{ise } \bar{\delta}(k-1) \delta(k) < 0 \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad 2.30$$

olarak verilir. Burada,  $\kappa_\mu$  momentum katsayısı derecelendirme sabiti,  $\phi_\mu$  momentum katsayısı azaltma sabitini ve  $\gamma_\mu$  momentum katsayısını üstel olarak arttırma sabitini ifade eder. Ağırlık uzayında osilasyonları ve aşırı atlamaları engellemede tüm bağlantılar için  $\alpha(k) \leq \alpha_{\max}$  ve  $\mu(k) \leq \mu_{\max}$  ile sağlanmalıdır. Burada,  $\alpha_{\max}$ , öğrenme katsayısının üst sınırını ve  $\mu_{\max}$ , momentum katsayısının üst sınırını gösterir.

### 2.6.8.3. Levenberg-Marquardt (LM)

Oldukça başarılı bir optimizasyon metodu olan Levenberg-Marquardt (LM) öğrenme algoritması, öğrenmede kullanılan geri yayılım algoritmasının farklı öğrenme tekniklerinden biridir. Çok sayıda komşuluk fikri üzerine dayanan LM algoritması, en küçük kareler yaklaşımı (least square estimation) metodudur (Levenberg 1944; Marquardt 1963). Gauss-Newton ve Steepest Descent metodlarının

en önemli özelliklerinin bir birleşimi olup, birinci dereceden türev (Hessian matris) yaklaşımı üzerine dayanan oldukça hassas bir tekniktir. LM'nin en önemli avantajlarından biri, hızlı yakınsama özelliğidir. Gauss-Newton metoduna daha iyi bir yaklaşım getirmiştir. Çünkü Gauss-Newton metodu, sayısal güçlüklerle sebep olan dezavantajlara sahiptir. Örneğin hata değer fonksiyonunun (optimum dizayn problemlerinde, değişkenlerin bir fonksiyonu olarak elde edilebilen sayısal değerlerin skaler bir fonksiyonu olan objektif fonksiyonun küçültülmüş halidir.) Hessian (H) pozitif değilse, Hessian matrisinde (objektif fonksiyonun ikinci dereceden türevi) tanımlanan doğrultu hata değer fonksiyonu için iniş fonksiyonu olamaz. Bu durumda adım, doğrultu boyunca uygulanamaz. Marquardt ise, Steepest Descent (Gradient) ve Gauss-Newton metodunun arzu edilen özelliklerine sahip bir metot oluşturmuş ve doğrultuyu değiştirmeyi önermiştir. Buna göre Hessian matrisi

$$H = J^T J \quad 2.31$$

ile tahmin edilir ve gradyent ise

$$g = J^T e \quad 2.32$$

olarak hesaplanabilir. Burada J ağda yer alan ağırlık ve biaslara ait hataların ilk türevlerini içeren Jakobiyen matrisi, 'e' ağ hata vektörüdür ve T matris transpozisini temsil eder. Bu metot ile performans fonksiyonu algoritmanın her iterasyonunda azalan bir eğim gösterir ve J matrisini (Hessian matrisi yerine) kullanır. Buna göre,

$$X_{k+1} = X_k - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad 2.33$$

şeklinde ifade edilir. Eğer  $\mu$  büyükse, minimum yaklaşım adımı küçük olur. Bu yüzden, her başarılı adımda  $\mu$  değeri azaltılmalıdır. Eğer performans fonksiyonu artıyorsa  $\mu$  arttırılmalıdır.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

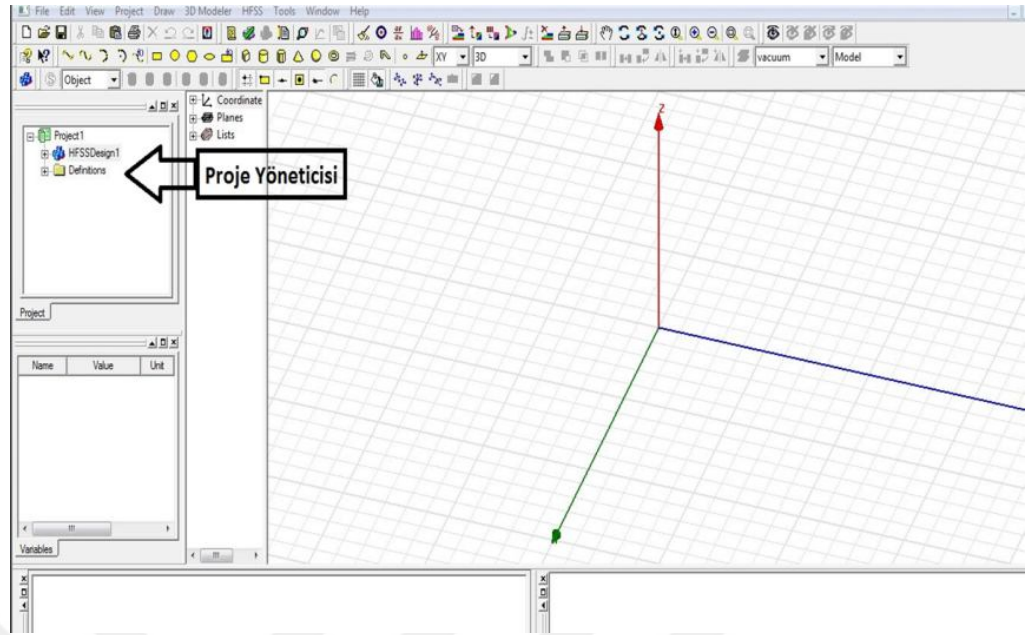
Mikro elektronik alanındaki baş döndürücü gelişmeler günümüzde en çok bilgisayar sektörüne yansımıştır. Bilgisayarlar artık daha hızlı, büyük kapasiteli ve matematiksel işleme yönünden de yüksek verimlidirler. Bu gelişme bilgisayarın mühendislikte tasarım ve imalat alanında çok yaygın kullanımını artırmıştır. Donanımsal alanda gerçekleşen bu gelişme yazılımsal alanlara da yansımış ve mühendislikte tasarım ve imalatta kullanılabilecek pek çok yazılımlar üretilmiştir. Bunların başında simülasyon programları gelmektedir. Simülasyonlar tasarım ve imalatta mühendislere yüksek doğrulukta, hızlı, düşük maliyetli en optimum çözümden yardımcı olmaktadır. Bu özellikleriyle mühendisler açısından vazgeçilmez unsur haline gelmiştir.

Mikrodalga ve anten tasarımlarında simülasyon programları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu simülasyon programlarından bazıları HFSS, IE3D, AWL, Supermec, Antenna Magus vb yazılım programlarıdır. Bu tez çalışmasında HFSS (High Frequency Structural Simulator) elektromanyetik yapıları sonlu elemanlar yöntemi ile çözen yazılımsal bir simülasyon programı kullanılmıştır.

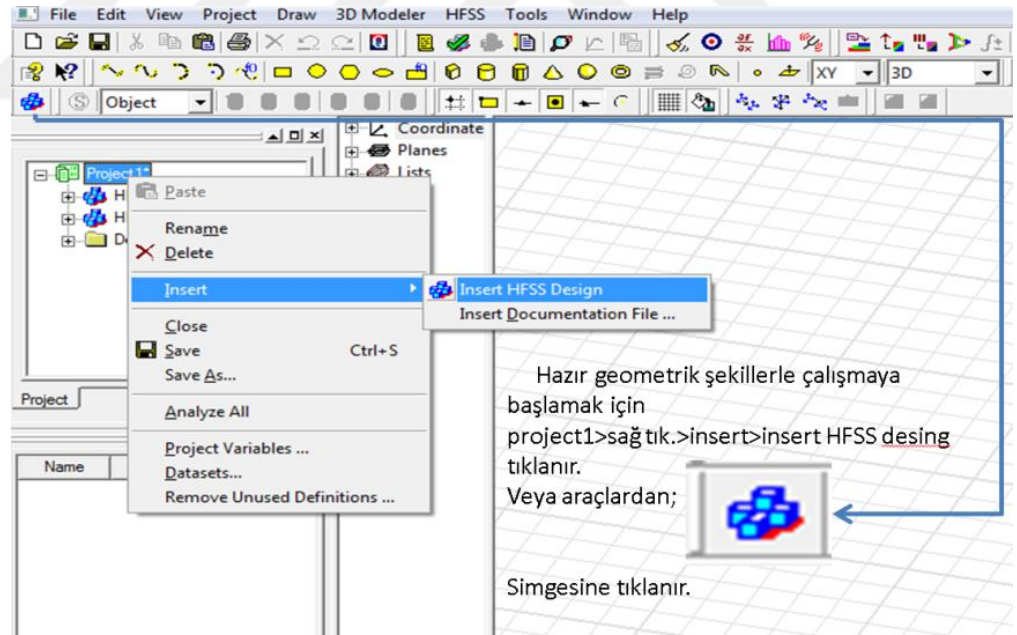
#### 3.1. HFSS (High Frequency Structural Simulator)

HFSS, “High Frequency Structural Simulator” yazılımının kısaltması olup, elektromanyetik yapıları sonlu elemanlar yöntemi ile çözen yazılımsal bir simülasyon programıdır. Üreticisi Ansys Corporation'dır. HFSS, endüstriyel standartlarda üç boyutlu tam dalga elektromanyetik alan simülasyonu içeren kapsamlı bir yazılım programıdır. HFSS; elektrik ve manyetik alanları, akımları, S-parametreleri ile uzak ve yakın alan ışınım sonuçlarını verebilir. Antenlerin, filtre içeren karmaşık RF devrelerinin, iletim hatlarının tasarımında en yaygın kullanılan birkaç ticari yazılımdan biridir (www.ansys.com/HFSS 2015, www.figes.com 2015).

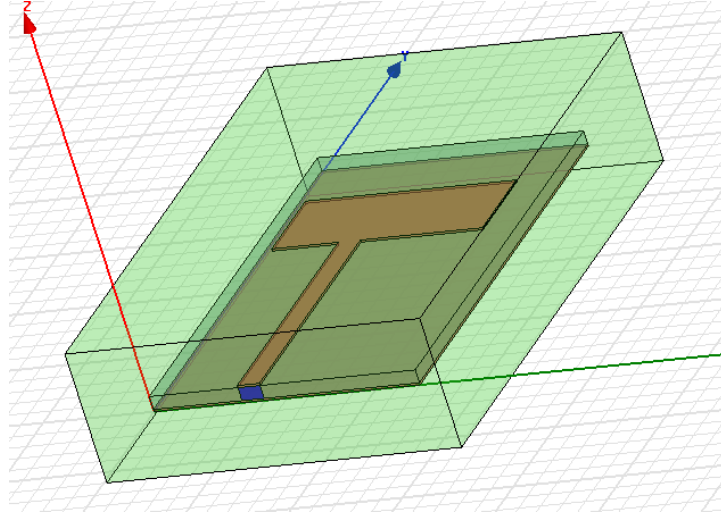
HFSS yazılım simülatörü ilk açıldığı zaman Şekil 3.1'deki gibi bir ekran ile karşılaşılır. Bu ekranda Şekil 3.2'deki gibi yeni bir proje oluşturulması gerekmektedir. Proje oluşumunun ardından kütüphaneye geçilerek kullanılacak malzemenin özellikleri seçilir. Eğer malzeme kütüphanede mevcut değil ise manuel olarak sisteme tanımlanabilir. Bu aşamadan sonra antenin konumu belirlenir. Artık daha önce geometrik yapısı ve fiziksel özellikleri belirlenen antenin çizimi gerçekleştirilir. Şekil 3.3'de örnek olarak tasarlanmış bir mikro şerit yama anten verilmiştir.



Şekil 3.1: HFSS açılış ekranı

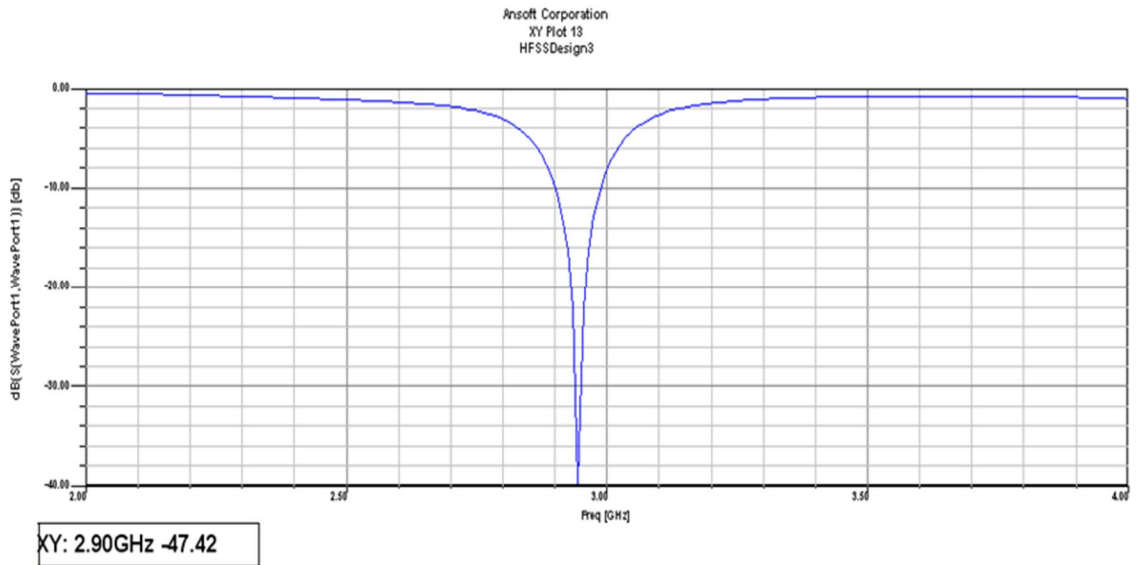


Şekil 3.2: HFSS proje oluşturma ekranı

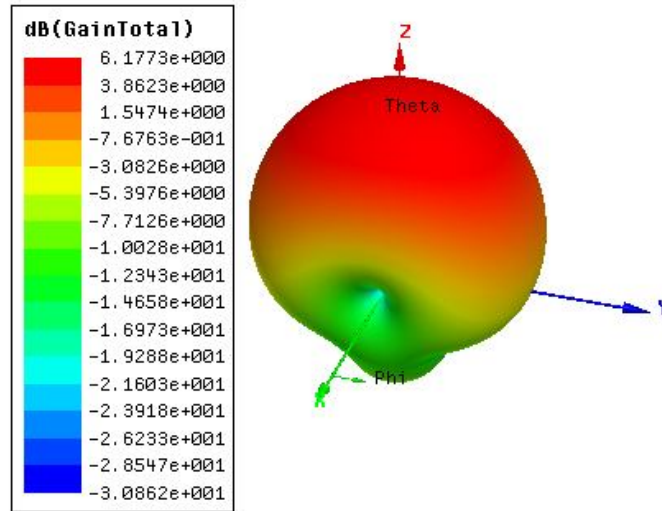


Şekil 3.3: Tasarlanmış örnek proje

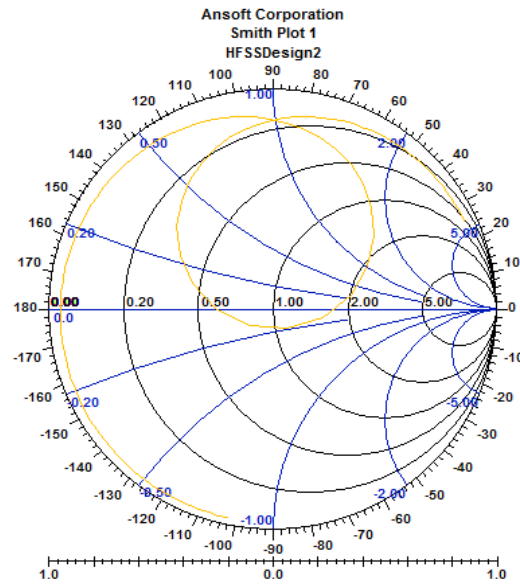
Tasarım oluşturulduktan sonra sonlu eleman analizi için gerekli parametreler girilerek ışınım ve analiz işlemi başlatılır. Antenin hangi frekans aralığında çalışacağı, antenin ışınım yapacağı ortamın özellikleri, sonuçların hangi biçimde alınacağı tasarımcı tarafından belirlenir. Bu analizler Şekil 3.4’de görüldüğü gibi ışınım desenlerinden anten geri dönüş kayıplarına kadar birçok anten parametresini içermektedir.



(a) Tasarlanan antenin  $S_{11}$  cevabı



(b) Tasarlanan antenin 3D ışıma deseni



(c) Tasarlanan antenin Smith diyagramı

Şekil 3.4: Tasarlanan antenin örnek analiz sonuçları

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

### 3.2. Network Analizör

Genel olarak elektriksel bir işareti görmek için osiloskop kullanılarak genliğin zamanla değişimi incelenir. Ancak zaman düzlemi tüm işaret hakkında genel bir bilgi içermez. İşaret hakkında tam bir bilgi almak için işaretin frekans düzleminde incelenmesi gerekir. Genliğin frekansa karşı izlenmesi spektrum analizör kullanılarak gerçekleştirilir. Yüksek frekanslarda sinyallerin incelenmesi ve analizi ise network analizörlerle gerçekleştirilir.

Network Analizörler (NA), bir işaret kaynağını, işaret kaynağının ürettiği işaretin test edilecek cihaza uygulanmasını ve uygulanan işareten yansıyan veya eğer varsa test edilecek cihazın diğer portuna iletilen işaretleri algılayabilen bir test seti ve algılanan işaretleri işleyen bir işlemci ünitesi içeren otomatik bir S parametre ölçme sistemidir.

NA'ların temelde iki tipi mevcuttur. Bunlar, S parametrelerinin sadece büyüklüğünü okuyabilen Skaler Network Analizör (SNA) ve hem büyüklüğünü hem de fazını okuyabilen Vektörel Network Analizördür (VNA). S parametresi ölçümlerinde çoğunlukla VNA'lar kullanılır.

VNA ile yapılan ölçümlerde, VNA'nın içeriğini oluşturan devre elemanları ve cihazlardan kaynaklanan ve ölçüm sonuçlarını etkileyen bir takım hatalar mevcuttur. Bu hataların bazıları belirlenerek ölçüm sonuçlarının doğrultulması gerekir. Her ölçüm öncesi değeri bilinen standart test malzemeleri VNA ile ölçülür. Ölçüm sonuçları kullanılarak hata terimleri VNA tarafından hesaplanarak kalibre edilir. Bu işleme Kullanım Öncesi Kalibrasyon denir. Kalibrasyon işleminden sonra ölçümler gerçekleştirilir. Ölçümlerde VNA, ölçüm sonuçlarını hata terimleriyle doğrultarak gösterge ünitesinden doğrudan verir. Şekil 3.5'de VNA ve kalibrasyon kiti mevcuttur.

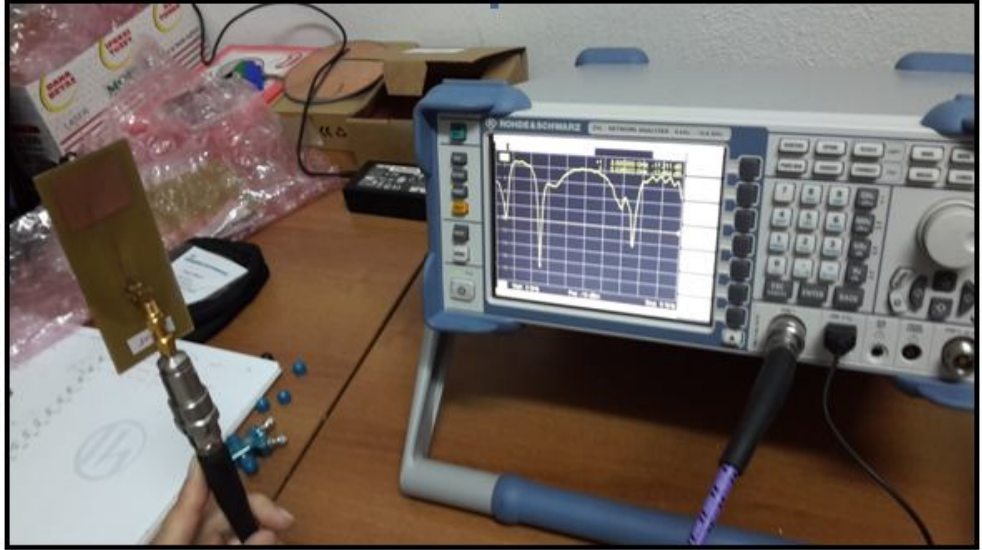


Şekil 3.5: UME Laboratuvarındaki ölçüm yapılan VNA ve Kalibrasyon Kiti

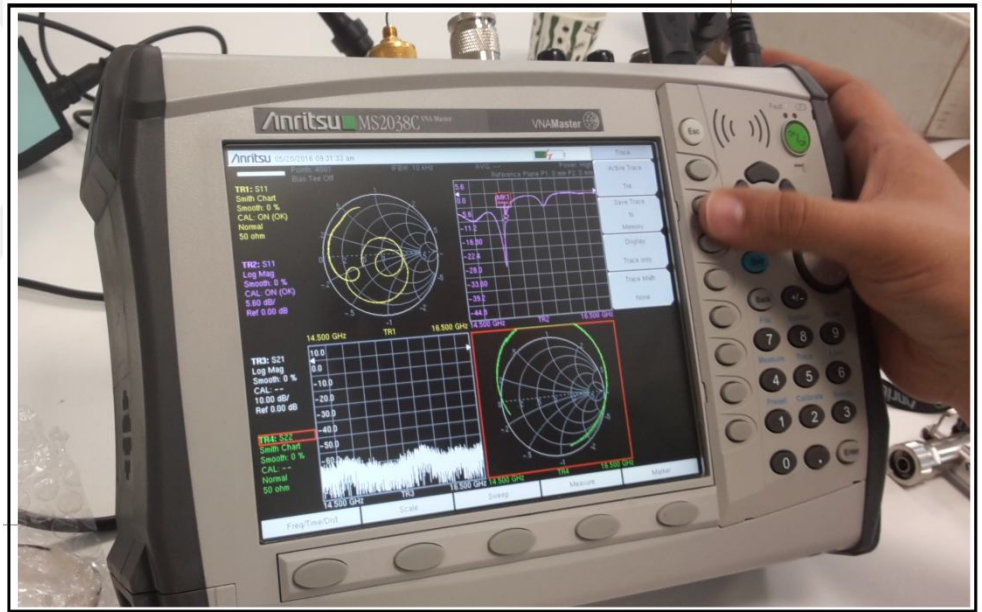
Bu tez çalışmasında yapılmış olan MŞA tasarımlarının ilk ölçümleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Kocaeli Gebze yerleşkesinde bulunan UME Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarda bulunan Hewlett Packard 6510C model VNA cihazı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. VNA 26.5 GHz'e kadar ölçüm yapabilen Şekil 3.5'de görünen cihazdır.

İkinci ve üçüncü çalışmalarda tasarlanmış olan yama antenlerin ölçümlerini ise Selçuk Üniversitesi BAP koordinatörlüğü desteğinde gerçekleştirilen araştırma projesi kapsamında Elektrik Elektronik Mühendisliği Haberleşme Laboratuvarına kazandırılan Rocde&Schwarz ZVL marka NA cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz Şekil 3.6'da görüldüğü gibi 13.5 GHz frekanslara kadar ölçüm yapabilen bir VNA cihazdır.

Son çalışma ise 16 GHz'de tasarlanmış Ku bandını içeren bir çalışmadır. Laboratuvardaki VNA'nın ölçüm frekansları yeterli olmadığı için son çalışmaların ölçümlerini İstanbul Medipol Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi'nden alınan izinle Elektrik Elektronik Mühendisliği Haberleşme Laboratuvarlarında gerçekleştirildi. Şekil 3.7'da ölçümlerin gerçekleştirildiği Anritsu MS2038C marka mobil VNA görülmektedir.



Şekil 3.6: Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Haberleşme Laboratuvarında ölçüm yapılan Vektörel Network Analizör



Şekil 3.7: Medipol Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Haberleşme Laboratuvarında ölçüm yapılan mobil VNA

### 3.3. Metot

Empedans uyumu mikroşerit antenlerde maksimum güç aktarılması için dikkat edilmesi gereken en önemli etkidir. Besleme hattı empedansı sabittir ve 50  $\Omega$ 'dur. Anten empedansı farklı olması durumunda, empedans uyumunu sağlamak için besleme hattı ve anten arasına uyumlandırıcı konulması gerekir.

Bu tez çalışmasında, mikroşerit yama antenlerin beslemesinde kullanılan en yaygın tekniklerden Şekil 2.2’de verilen mikroşerit hat besleme ve Şekil 2.3’de verilen mikroşerit hat gömme beslemeli besleme tipleri kullanılmıştır.

Mikro şerit yama antenin kazancı, yönlendiriciliği, band genişliği artırmak için yama anten dizileri kullanılabilir. Mikro şerit yama antenin elektriksel parametrelerini iyileştirmek için çalışmalarda 1x4 yama dizileri kullanılmıştır.

Diziler oluşturulurken öncelikle tekli yama anten tasarlanmış, daha sonra 1x2 dizi antenler oluşturulmuş ve son olarak iki adet 1x2 dizi anten birleştirilerek 1x4 mikroşerit yama dizi anten tasarlanmıştır.

İlk çalışmada Şekil 4.7’deki tasarım kullanılmış ve tasarımda  $L_S$  ve  $W_S$  değerleri değiştirilerek yama ile mikroşerit hat besleme arasındaki en uygun empedans uyumu sağlanmaya çalışılmıştır.

İkinci çalışmada Şekil 4.22’deki tasarım kullanılmıştır. Tasarımda  $L_{S1}$ ,  $L_{S2}$  hat uzunlukları ile  $W_S$  hat kalınlıkları değiştirilerek yamalar ile mikroşerit hat besleme arasındaki en uygun empedans uyumu sağlanmaya çalışılmıştır.

Üçüncü çalışmada ise farklı fiziksel özelliklere sahip üç yamadan 1x3 dizi oluşturarak üç farklı rezonans frekansa sahip iletişim sağlayabilen dizi anten başarıyla gerçekleştirilmiştir.



#### 4. DİZİ YAMA ANTEN TASARIMI VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ANTEN PARAMETRELERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Anten dizileri kullanılarak antenin kazancı, yönlendiriciliği, band genişliği artırılabilir. Daha basit ve pratik olması hasebiyle pek çok uygulamada özdeş dizi elemanı seçilir. Bununla birlikte dizi elemanları farklı yapılarda da seçilebilir (Özen B., Afacan E., 2014).

Tezin bu kısmında 2500 MHz ve 16 GHz frekanslarında 1x4 mikroşerit yama anten tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımları gerçekleştirilen antenlerin yama besleme kalınlıklarını değiştirerek elektriksel özelliklerinde optimum tasarımlar elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu kısmın son bölümünde farklı fiziksel boyutlarda yamalar kullanılarak 2500 MHz, 3000 MHz ve 5000 MHz frekanslarında iletim gerçekleştirebilen üç rezonans frekanslı yama anten çalışması da gerçekleştirilmiştir.

##### 4.1. 2500 MHz Frekansında 1x4 Dikdörtgen Kesitli Mikroşerit Yama Anten Tasarımı

Günümüzde internet hayatımızın her noktasına girmiş olup internetsiz bir hayat düşünülememektedir. Dünya çapında birlikte işleyen mikrodalga erişimi olan WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) en sade tabiriyle kuvvetlendirilmiş kablosuz internet erişim (Wi-Fi) teknolojisidir. Bu çalışmada kablosuz hızlı internet erişimi WiMax için 2500 MHz frekansında dikdörtgen kesitli 1x4 mikroşerit yama anten tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tüm mikroşerit anten tasarımlarında olduğu gibi bu tasarımda da malzeme seçimi öncelikli parametredir. Tasarım için seçilen FR4 malzeme özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1: FR4 taban malzemesi özellikleri

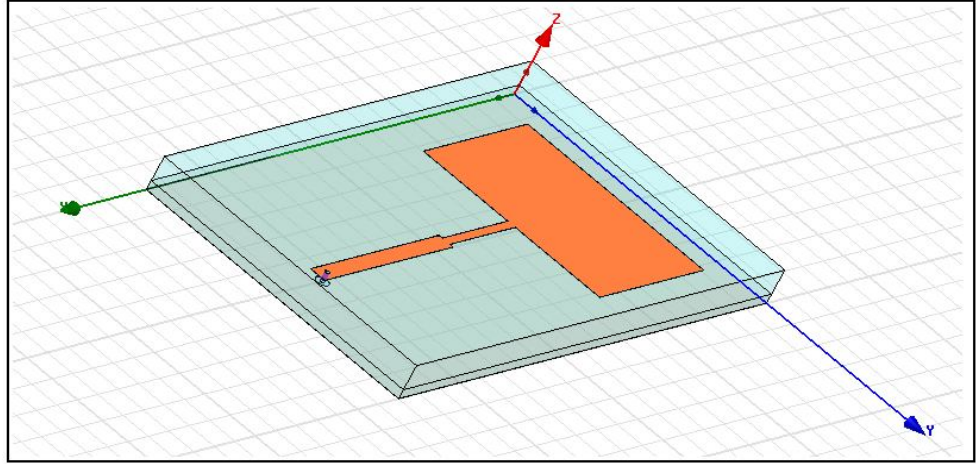
Malzeme Özellikleri	Değeri
Taban	FR4
Dielektrik Sabiti ( $\epsilon_r$ )	4.9
Dielektrik Kalınlığı (h)	1.6 mm
Bakır Kalınlığı	0.035 mm

Mikroşerit dizi anten tasarımındaki ilk adım 2500 MHz’de ışına yapabilecek temel dizi elemanını oluşturmaktır. Bu tasarımda 2. Bölümde verilen (2.1), (2.2), (2.3), (2.4), (2.5) tasarım formülleri kullanılarak mikroşerit yama antenin fiziksel boyutları hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

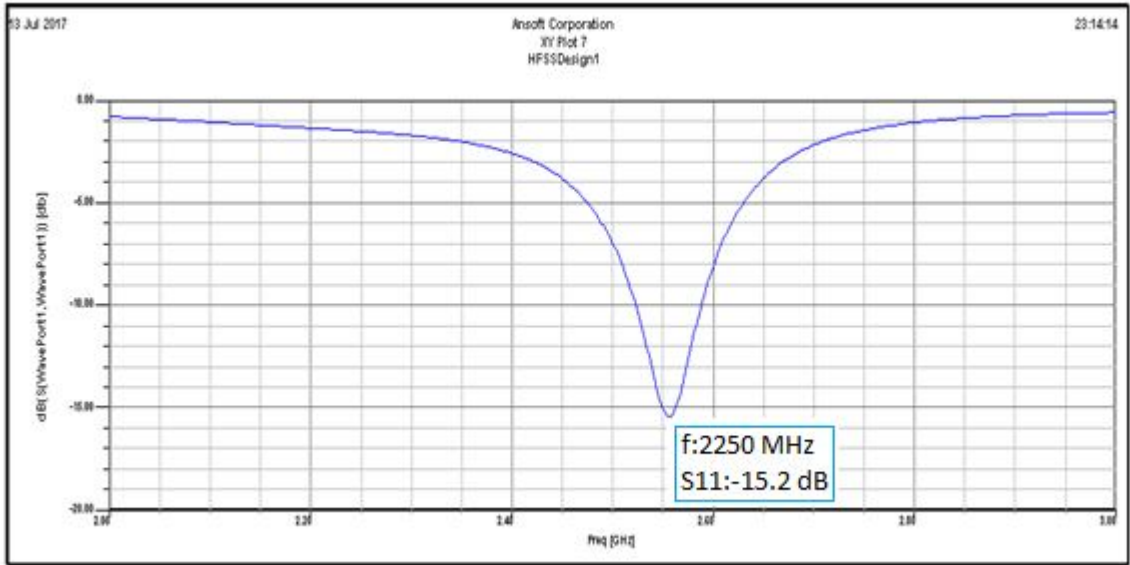
**Çizelge 4.2:** 2500 MHz’de hesaplanan temel yama fiziksel parametreleri

Mikroşerit Yama Boyutları	Değeri
Genişlik (W)	34.933 mm
Uzunluk (L)	28.233 mm
Efektif Uzunluk ( $L_{eff}$ )	29.688 mm
Efektif Dielektrik Sabiti ( $\epsilon_{reff}$ )	4.516

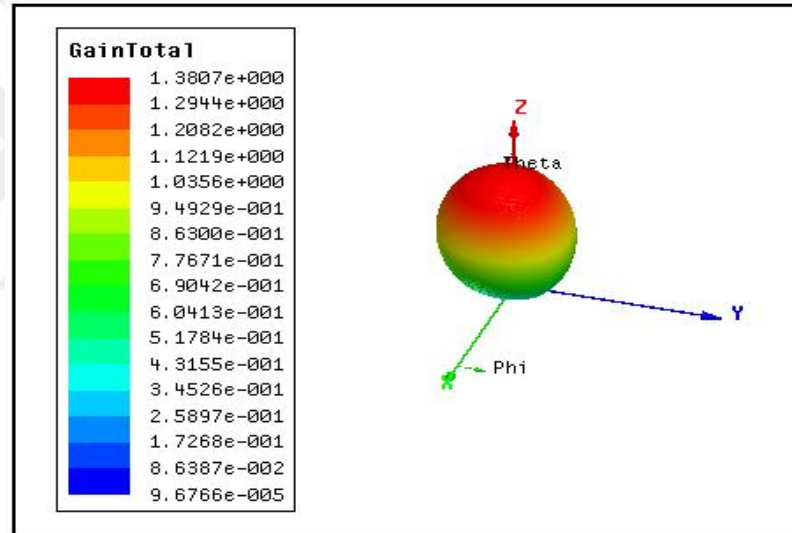
Hesaplanan fiziksel parametreler kullanılarak HFSS simülasyon programında tasarlanmış tek yamalı mikroşerit anten Şekil 4.1’de verilmiştir. Simülasyonu oluşturulan tekli yama antenin geri dönüş cevabı da Şekil 4.2’de verilmiştir. Rezonans frekansının 2550 MHz frekansında olduğu görülmektedir. Geri dönüş cevabı ise -15.2 dB olduğu şekilde görülmektedir. Band genişliğinin ise 22 MHz olduğu görülmektedir. Ayrıca antenin 3D ışına deseni de Şekil 4.3’de verilmiştir.



**Şekil 4.1:** HFSS simülasyon programında tasarlanan temel dizi elemanı



Şekil 4.2: Temel dizi elemanın HFSS simülasyon  $S_{11}$  geri dönüş cevabı

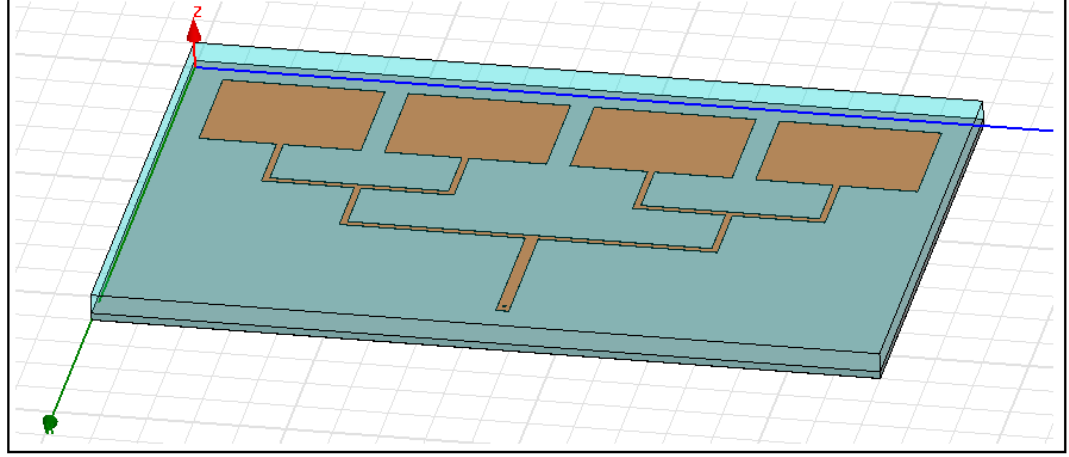


Şekil 4.3: Temel dizi elemanın HFSS simülasyon 3D ışınma deseni

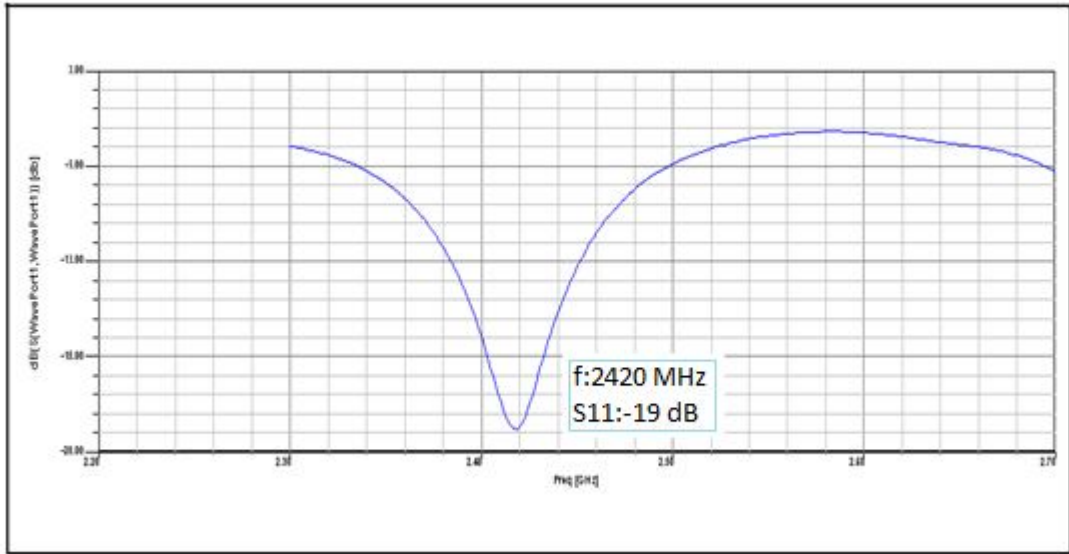
Bu tasarım kurulacak olan dizi antenin temelini oluşturmaktadır. Dizi oluşturmak için aynı fiziksel özelliklere sahip iki yamanın arasına yarım dalga boyu mesafe bırakılmıştır. Böylelikle 2x1 dizi anten oluşturulmuştur. İki adet 2x1 dizi anten birleştirilerek 1x4 mikroşerit dizi anten gerçekleştirilir. Yine yamalar arası mesafe yarım dalga boyudur. Simülasyonu yapılan 1x4 dizi anten Şekil 4.4'de verilmiştir.

HFSS programında gerekli parametreler girilerek simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Geri dönüş cevabı Şekil 4.5'de verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere geri dönüş cevabı  $S_{11}$  -19 dB, bant genişliği ise 63 MHz

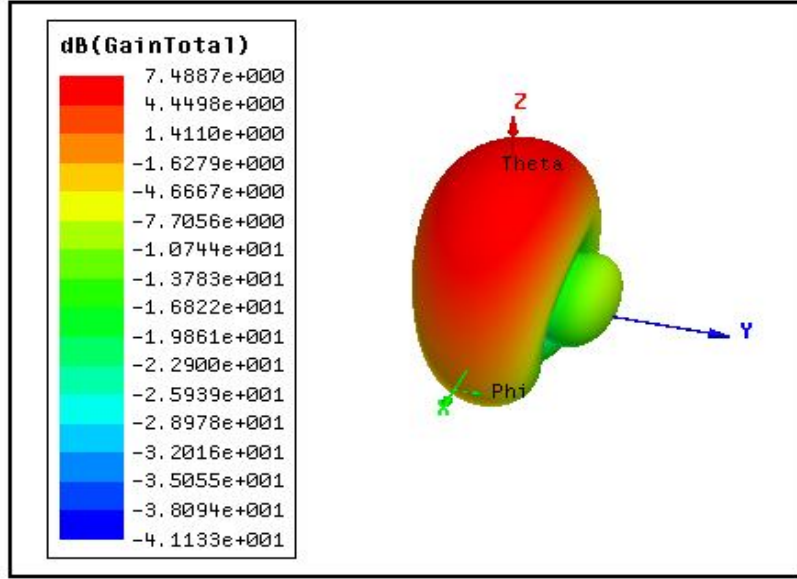
bulunmuştur. 1x4 dizi antende hem geri dönüş cevabının hem de band genişliğinin arttığı görülmektedir. Ayrıca 1x4 yama antenin 3D ışınma deseni ise Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.4: HFSS simülasyon programında 2500 MHz frekansında tasarlanan 1x4 dizi anten

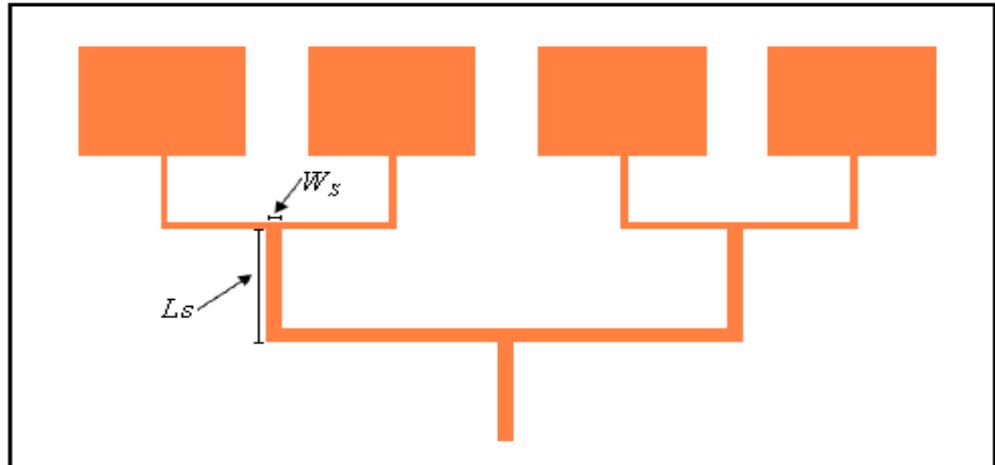


Şekil 4.5: 1x4 Dizi antenin HFSS simülasyon  $S_{11}$  geri dönüş cevabı



Şekil 4.6: Temel yama anten HFSS simülasyon3D ışınma deseni

Bu aşamadan sonra iyileştirme ve optimizasyon işlemleri için yeni dizi antenler üretilmeye geçilmiştir. En iyi iyileştirme, yama ile besleme noktası arasındaki besleme hattında empedans uyumunun sağlanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bunun için besleme hattı boyu  $L_s$  ve genişliği  $W_s$ 'nin boyutları değiştirilerek dizi anten simülasyonlarına başlanmıştır.  $L_s$  ve  $W_s$  boyutlarının gösterildiği 1x4 dizi anten Şekil 4.7'da verilmiştir.  $L_s$  değeri 13 mm ile 16 mm arasında 0,5 mm aralıklarla,  $W_s$  değeri ise 1 mm ile 1.5 mm arasında 0.05 mm aralıklarla değiştirilerek 1x4 dizi anten HFSS simülasyon programında tasarlanmıştır. Şekil 4.4'de tasarlanan anten temel teşkil etmek üzere besleme yolu uzunluğu  $L_s$  ve besleme yolu kalınlığı  $W_s$  değerleri değiştirilmiştir.



Şekil 4.7: 2500 MHz rezonans frekanslı 1x4 dizi antenin elektriksel parametre iyileştirilmesi

Bu şekilde 77 adet dizi anten HFSS simülasyon programında tasarlanmış ve sonuç verileri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

**Çizelge 4.3:** Tasarımı yapılan 77 adet dizi antenin HFSS sonuç çıktıları

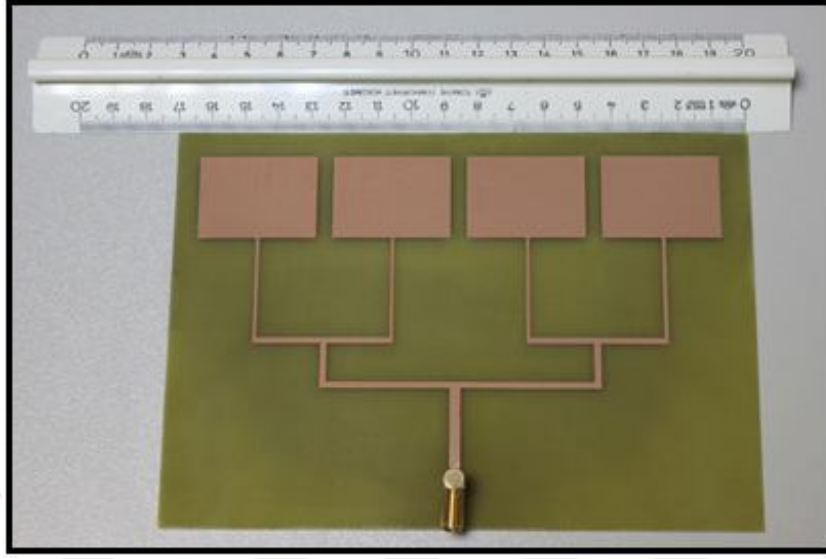
Sıra	L <sub>s</sub> (mm)	W <sub>s</sub> (mm)	f <sub>s</sub> (MHz)	S <sub>11</sub> (dB)	BW (MHz)	Yönlendiricilik	Kazanç	Işıma Verimi
1	16.0	1.50	2650	-31.74	68	7.5153	3.2344	0,7271
2	16.0	1.45	2640	-31.87	74	7.3728	3.1841	0,7341
3	16.0	1.40	2640	-32.88	72	7.4663	3.2627	0,7476
4	16.0	1.35	2640	-35.99	72	7.4630	3.2367	0,7497
5	16.0	1.30	2640	-37.40	73	7.3092	3.1873	0,7480
6	16.0	1.25	2640	-38.00	75	7.4033	3.2067	0,7524
7	16.0	1.20	2640	-30.73	73	7.2396	3.1315	0,7385
8	16.0	1.15	2630	-37.53	77	7.4609	3.2235	0,7698
9	16.0	1.10	2640	-28.15	75	7.4385	3.2654	0,7945
10	16.0	1.05	2630	-26.64	79	7.4316	3.2525	0,7951
11	16.0	1.00	2630	-25.00	75	7.4697	3.2119	0,7866
12	15.5	1.50	2650	-36.27	67	7.6181	3.2937	0,7637
13	15.5	1.45	2650	-29.09	73	7.5078	3.2443	0,7589
14	15.5	1.40	2650	-25.39	71	7.4988	3.2437	0,7492
15	15.5	1.35	2650	-32.63	73	7.2856	3.1436	0,7390
16	15.5	1.30	2650	-25.79	75	7.4862	3.2703	0,7758
17	15.5	1.25	2620	-22.91	72	6.6886	2.7548	0,7375
18	15.5	1.20	2640	-26.83	75	7.4380	3.2086	0,7582
19	15.5	1.15	2640	-26.83	78	7.4514	3.2540	0,7922
20	15.5	1.10	2520	-33.00	62	7.5152	3.3923	0,7966
21	15.5	1.05	2540	-38.92	63	7.6296	3.4057	0,8045
22	15.5	1.00	2540	-49.28	62	7.7745	3.4221	0,8129
23	15.0	1.50	2660	-32.37	72	7.6498	3.3426	0,7864
24	15.0	1.45	2660	-29.00	71	7.6539	3.3376	0,7852
25	15.0	1.40	2650	-29.00	73	7.5870	3.3082	0,7967
26	15.0	1.35	2650	-29.29	73	7.5870	3.3082	0,7967
27	15.0	1.30	2660	-7.80	0	3.6200	0.9268	0,4414
28	15.0	1.25	2650	-25.00	75	7.4741	3.2930	0,8032
29	15.0	1.20	2650	-23.22	78	7.6520	3.3704	0,8117
30	15.0	1.15	2640	-21.41	75	7.5954	3.3265	0,8095
31	15.0	1.10	2640	-23.14	78	7.5468	3.3189	0,8350
32	15.0	1.05	2630	-19.33	76	7.2822	3.1730	0,7964
33	15.0	1.00	2640	-20.00	84	7.6627	3.4056	0,8988
34	14.5	1.50	2665	-21.13	80	7.4787	3.2557	0,7874
35	14.5	1.45	2660	-22.20	73	7.5482	3.2723	0,7909
36	14.5	1.40	2660	-23.38	74	7.7271	3.4170	0,8506
37	14.5	1.35	2660	-23.62	72	7.7271	3.4170	0,8506
38	14.5	1.30	2640	-18.70	75	7.4014	3.2330	0,7972
39	14.5	1.25	2640	-18.89	73	7.4014	3.2330	0,7972
40	14.5	1.20	2650	-20.47	75	7.5349	3.3116	0,8362

41	14.5	1.15	2640	-20.00	77	7.4690	3.2604	0,8199
42	14.5	1.10	2640	-18.39	77	7.4248	3.3014	0,8699
43	14.5	1.05	2650	-18.64	78	7.6282	3.3860	0,8802
44	14.5	1.00	2650	-18.76	79	7.6282	3.3860	0,8802
45	14.0	1.50	2660	-21.09	71	7.2584	3.1177	0,8526
46	14.0	1.45	2610	-32.24	67	5.9829	2.3855	0,8863
47	14.0	1.40	2660	-25.94	71	7.5764	3.3668	0,9050
48	14.0	1.35	2660	-20.70	75	7.5813	3.3094	0,8309
49	14.0	1.30	2660	-18.39	76	7.5015	3.2870	0,8499
50	14.0	1.25	2660	-18.33	76	7.5015	3.2870	0,8499
51	14.0	1.20	2660	-15.12	78	7.6573	3.3986	0,9224
52	14.0	1.15	2650	-17.25	76	7.5107	3.3138	0,8665
53	14.0	1.10	2650	-17.82	80	7.5764	3.3668	0,9050
54	14.0	1.05	2650	-16.56	79	7.6219	3.3970	0,9061
55	14.0	1.00	2650	-16.81	79	7.6219	3.3970	0,9061
56	13.5	1.50	2580	-21.00	52	6.0839	2.3205	0,7784
57	13.5	1.45	2670	-18.45	74	7.4940	3.2724	0,8196
58	13.5	1.40	2670	-18.33	73	7.5766	3.3097	0,8479
59	13.5	1.35	2670	-18.26	74	7.5766	3.3097	0,8479
60	13.5	1.30	2660	-18.20	75	7.7134	3.4283	0,8947
61	13.5	1.25	2660	-18.26	75	7.7134	3.4283	0,8947
62	13.5	1.20	2660	-14.74	73	7.4830	3.3280	0,8945
63	13.5	1.15	2650	-16.31	78	7.5178	3.3165	0,8878
64	13.5	1.10	2660	-15.93	78	7.6350	3.4326	0,9441
65	13.5	1.05	2650	-15.93	79	7.6763	3.4368	0,9557
66	13.5	1.00	2650	-15.87	81	7.6763	3.4368	0,9557
67	13.0	1.50	2660	-17.56	73	7.6337	3.3814	0,8635
68	13.0	1.45	2670	-17.44	73	7.6671	3.3817	0,8859
69	13.0	1.40	2670	-17.38	74	7.6123	3.3755	0,9091
70	13.0	1.35	2670	-16.69	74	7.6123	3.3755	0,9091
71	13.0	1.30	2670	-15.26	74	7.6566	3.4170	0,9284
72	13.0	1.25	2670	-15.32	73	7.6566	3.4170	0,9284
73	13.0	1.20	2660	-12.57	65	7.3898	3.2466	0,9085
74	13.0	1.15	2660	-14.95	73	7.5886	3.3882	0,9228
75	13.0	1.10	2530	-16.76	54	7.9852	3.4213	0,9622
76	13.0	1.05	2660	-14.38	75	7.6643	3.4162	0,9576
77	13.0	1.00	2660	-14.45	76	7.6643	3.4162	0,9576

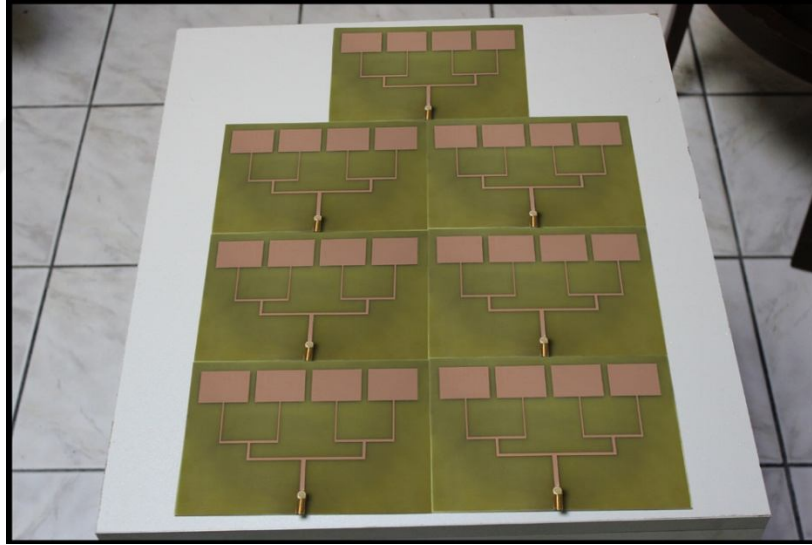
Yapılan bu tasarımlar incelendiğinde her bir verinin farklı olduğu görülmektedir. Bu veriler içerisinde her bir  $L_s$  için en iyi veri sonuçları bulunan dizi tasarımlarını alıp imalatları gerçekleştirme aşamasına geçilmiştir. Geri dönüş cevabının en düşük olduğu Çizelge 4.3'deki 6, 22, 23, 37, 46, 56 ve 67 sıra numaralı dizi antenler imalat için belirlenmiştir.

Belirlenen 7 farklı  $L_s$  değeri için en iyi sonuç verileri olan dizi antenlerin imalatları gerçekleştirilmiştir. İmalatı gerçekleştirilen ve iyi performansı sergileyen 6

sıra numaralı dizi anten Şekil 4.8’de verilmiştir. Diğer dizi antenler de toplu olarak Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.8: İmalatı gerçekleştirilen 1x4 mikroşerit dizi anten



Şekil 4.9: İmalatları gerçekleştirilen 7 adet 1x4 mikroşerit dizi antenler

Dizi antenlerin ölçümleri Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Haberleşme Laboratuvarında bulunan Rocde&Schwarz ZVL marka VNA ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucunda alınan değerler Çizelge 4.4’de verilmiştir.

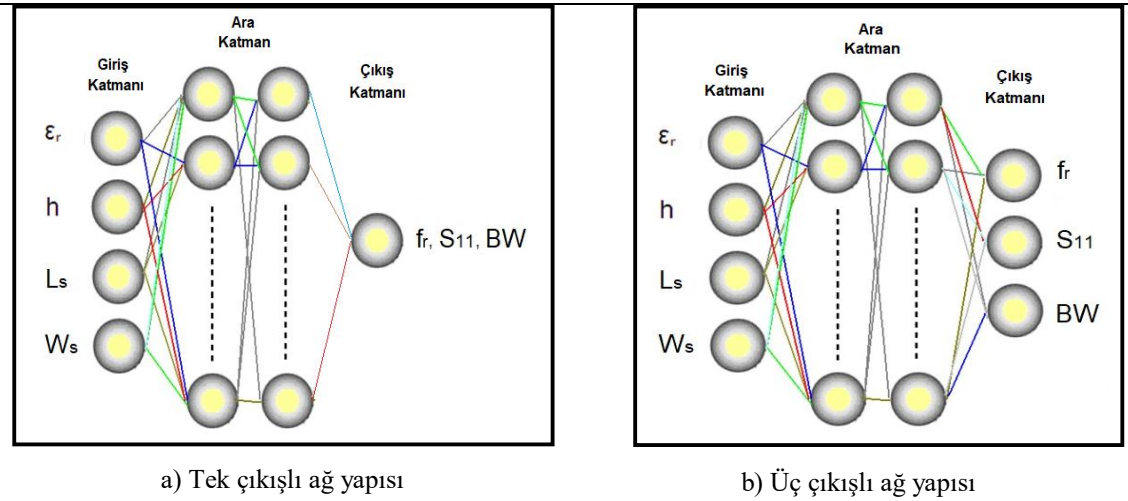


**Çizelge 4.4:** Üretimleri gerçekleştirilen dizi antenlerin simülasyon ve ölçüm sonuçları

Sıra	Çizelge 4.3'deki Sıra Numarası	L <sub>s</sub> (mm)	W <sub>s</sub> (mm)	Simülasyon Sonuçları			Ölçüm Sonuçları		
				S <sub>11</sub> (dB)	f <sub>r</sub> (MHz)	BW (MHz)	S <sub>11</sub> (dB)	f <sub>r</sub> (MHz)	BW (MHz)
1	6	16,0	1,25	-38,00	2640	75	-15,2	2580	85
2	22	15,5	1,00	-49,28	2540	62	-14,0	2612	77
3	23	15,0	1,50	-32,37	2660	72	-15,0	2609	85
4	37	14,5	1,35	-23,62	2660	72	-25,0	2594	86
5	46	14,0	1,45	-32,24	2610	67	-22,0	2610	92
6	56	13,5	1,50	-21,00	2580	52	-26,0	2599	82
7	67	13,0	1,50	-17,56	2660	73	-22,5	2600	178

#### 4.1.1. 2500 MHz Frekansında 1x4 Dikdörtgen Kesitli Mikroşerit Yama Anteninin Geri Dönüş Cevabı, Frekansı ve Bant Genişliğinin YSA Kullanarak Hesaplanması

Bu bölümde 2500 MHz frekansında 1x4 Dikdörtgen Kesitli Mikroşerit Yama Anteninin Geri Dönüş Cevabı, Frekansı ve Bant Genişliğinin YSA ile hesaplanması yapılmıştır. Çizelge 4.3 ile verilen 77 adet dizi anten simülasyon sonuçları YSA yapısını eğitmek için ve Çizelge 4.4 ile verilen 7 adet ölçüm sonuçları YSA yapısını test etmek için kullanılmıştır. Hesaplamalar “Çok Katmanlı Perseptron” (ÇKP)-YSA Ağ Yapısı kullanılarak yapılmıştır. Bunun yanında iki ağ yapısı ile de ayrı ayrı sonuca gidilmiştir. Birincisi tek çıkışlı ağ yapısı (Şekil 4.10a), ikincisi ise iki katmanlı üç çıkışlı ağ yapısıdır (Şekil 4.10b). Her iki yapıda da dört adet giriş parametresi kullanılmıştır. Giriş parametreleri; dielektrik sabiti ( $\epsilon_r$ ), dielektrik taban kalınlığı (h), besleme hattı boyu (L<sub>s</sub>) ve besleme genişliği (W<sub>s</sub>) dir. Çıkış parametreleri ise; rezonans frekansı (f<sub>r</sub>), geri dönüş cevabı (S<sub>11</sub>) ve bant genişliği (BW) dir. Her iki YSA ağ yapısında da eğitime algoritması olarak Levenberg-Marquardt kullanılmıştır.



Şekil 4.10: 2500 MHz ÇKP-YSA ağ yapıları

Çizelge 4.5’de rezonans frekansının ( $f_r$ ) hesaplanması için tek çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan elde edilen farklar belirtilmiştir. Çizelge 4.6’da geri dönüş cevabı ( $S_{11}$ ) hesaplanması için tek çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan elde edilen farklar belirtilmiştir. Çizelge 4.7’de bant genişliği (BW) hesaplanması için tek çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan elde edilen farklar belirtilmiştir. Çizelge 4.8’de rezonans frekansı ( $f_r$ ), geri dönüş cevabı ( $S_{11}$ ) ve bant genişliği (BW)’nin hesaplanması için üç çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan elde edilen farklar belirtilmiştir. Çizelge 4.9’da ise tek çıkışlı ve üç çıkışlı ağ ÇKP-YSA yapısı ile ilgili giriş, çıkış, iterasyon ve ara katman sayıları verilmiştir.

Çizelge 4.5: Rezonans frekansının ( $f_r$ ) hesaplanması için tek çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları

Girişler				Çıkış $f_r$ (GHz)	YSA $f_r$ (GHz)	Fark Mutlak Hata (GHz)
$\epsilon_r$	h (mm)	Ls (mm)	Ws (mm)			
4.900	1.600	16.000	1.250	2.6400	2.6399	0.0001
4.900	1.600	15.500	1.000	2.5400	2.5400	0.0000
4.900	1.600	15.000	1.500	2.6600	2.6611	0.0011
4.900	1.600	14.500	1.350	2.6600	2.6588	0.0012
4.900	1.600	14.000	1.450	2.6100	2.6100	0.0000
4.900	1.600	13.500	1.500	2.5800	2.5800	0.0000
4.900	1.600	13.000	1.500	2.6600	2.6600	0.0000
Toplam Test Mutlak Hata Ortalaması						0.000343

**Çizelge 4.6:** Geri dönüş cevabının ( $S_{11}$ ) hesaplanması için tek çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları

Girişler				Çıkış $S_{11}$ (dB)	YSA $S_{11}$ (dB)	Fark Mutlak Hata (dB)
$\epsilon_r$	h (mm)	Ls (mm)	Ws (mm)			
4.900	1.600	16.000	1.250	-38.0000	-38.0000	0.0000
4.900	1.600	15.500	1.000	-49.2800	-49.2800	0.0000
4.900	1.600	15.000	1.500	-32.3700	-32.3716	0.0016
4.900	1.600	14.500	1.350	-23.6200	-23.6187	0.0013
4.900	1.600	14.000	1.450	-32.2400	-32.2396	0.0004
4.900	1.600	13.500	1.500	-21.0000	-21.0002	0.0002
4.900	1.600	13.000	1.500	-17.5600	-17.5663	0.0063
<b>Toplam Test Mutlak Hata Ortalaması</b>						<b>0.00140</b>

**Çizelge 4.7:** Bant genişliği (BW) hesaplanması için tek çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları

Girişler				Çıkış BW (MHz)	YSA BW (MHz)	Fark Mutlak Hata (MHz)
$\epsilon_r$	h (mm)	Ls (mm)	Ws (mm)			
4.900	1.600	16.000	1.250	75.00	75.00	0.00
4.900	1.600	15.500	1.000	62.00	62.00	0.00
4.900	1.600	15.000	1.500	72.00	72.00	0.00
4.900	1.600	14.500	1.350	72.00	72.10	0.10
4.900	1.600	14.000	1.450	67.00	67.00	0.00
4.900	1.600	13.500	1.500	52.00	52.00	0.00
4.900	1.600	13.000	1.500	73.00	73.00	0.00
<b>Toplam Test Mutlak Hata Ortalaması</b>						<b>0.01428</b>

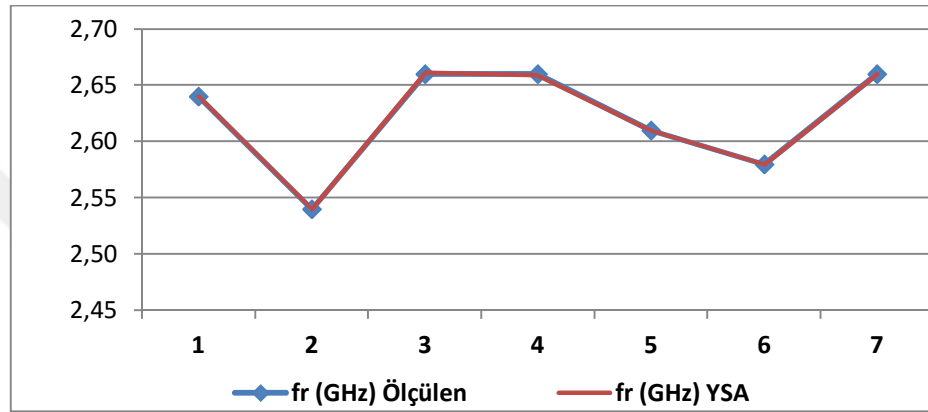
**Çizelge 4.8:** Rezonans frekansı ( $f_r$ ), geri dönüş cevabı ( $S_{11}$ ) ve bant genişliği (BW)'nin hesaplanması için üç çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları

Girişler				Çıkışlar			YSA Çıkışları			Fark Mutlak Hata		
$\epsilon_r$	h (mm)	Ls (mm)	Ws (mm)	$f_r$ (GHz)	$S_{11}$ (dB)	BW (MHz)	$f_r$ (GHz)	$S_{11}$ (dB)	BW (MHz)	$f_r$ (GHz)	$S_{11}$ (dB)	BW (MHz)
4.900	1.600	16.000	1.250	2.6400	-38.0000	75.0000	2.6350	-38.0000	71.6000	0.0050	0.0000	3.4000
4.900	1.600	15.500	1.000	2.5400	-49.2800	62.0000	2.5390	-49.2800	61.5000	0.0010	0.0000	0.5000
4.900	1.600	15.000	1.500	2.6600	-32.3700	72.0000	2.6614	-32.3700	74.0000	0.0014	0.0000	2.0000
4.900	1.600	14.500	1.350	2.6600	-23.6200	72.0000	2.6535	-23.6200	71.7000	0.0065	0.0000	0.3000
4.900	1.600	14.000	1.450	2.6100	-32.2400	67.0000	2.6382	-32.2401	69.8000	0.0282	0.0001	2.8000
4.900	1.600	13.500	1.500	2.5800	-21.0000	52.0000	2.5787	-21.0000	59.0000	0.0013	0.0000	7.0000
4.900	1.600	13.000	1.500	2.6600	-17.5600	73.0000	2.6601	-17.5600	73.0000	0.0001	0.0000	0.0000
<b>Toplam Test Mutlak Hata Ortalaması</b>										<b>0.00621</b>	<b>0.000014</b>	<b>2.2857</b>

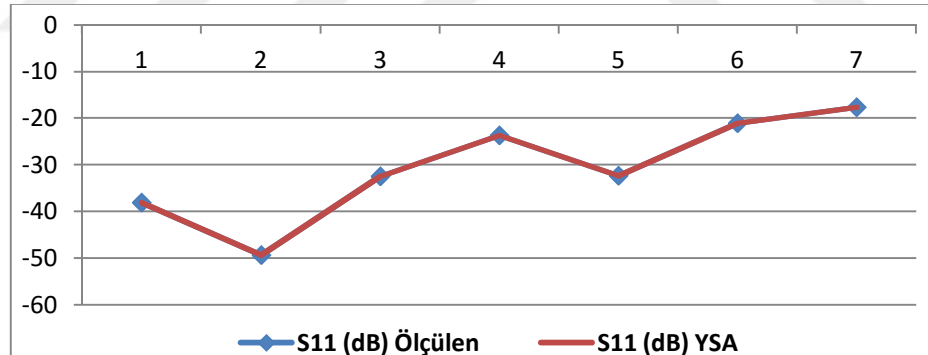
**Çizelge 4.9:** 2500 MHz çalışma frekansı için  $f_{rs}$ ,  $S_{11}$  ve BW çıkış parametrelerinin üç çıkışlı YSA ağ yapısı

YSA Ağ Yapısı	Girişler	Çıkışlar	Ara Katman Nöron Sayıları		Eğitim İterasyon Sayıları
Tek çıkış yapı	$\epsilon_r, h, L_S, W_S, f_{rç}$	$f_{rs}$	8	6	3000
	$\epsilon_r, h, L_S, W_S, f_{rç}$	$S_{11}$	8	7	2000
	$\epsilon_r, h, L_S, W_S, f_{rç}$	BW	8	8	400
Üç çıkışlı yapı	$\epsilon_r, h, L_S, W_S, f_{rç}$	$f_{rs}, S_{11}, BW$	10	9	2000

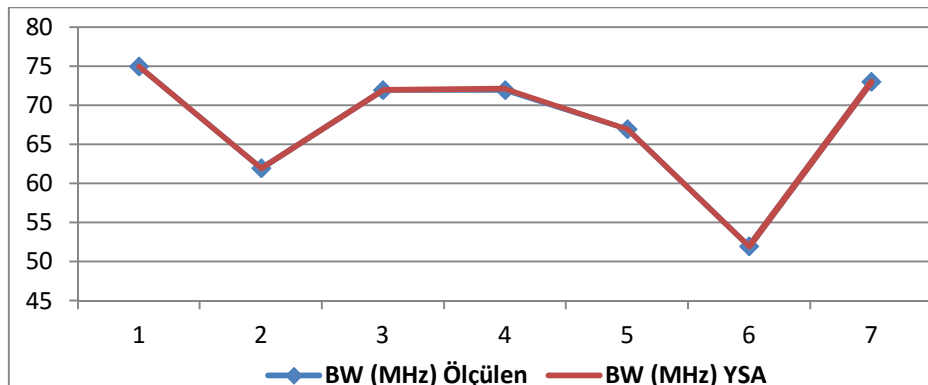
Şekil 4.11 (a, b, c) tek çıkışlı, Şekil 4.12 (a, b, c)'de ise üç çıkışlı ağ yapısından elde edilen 7 adet ölçüm ve YSA test eğrileri verilmiştir.



a)

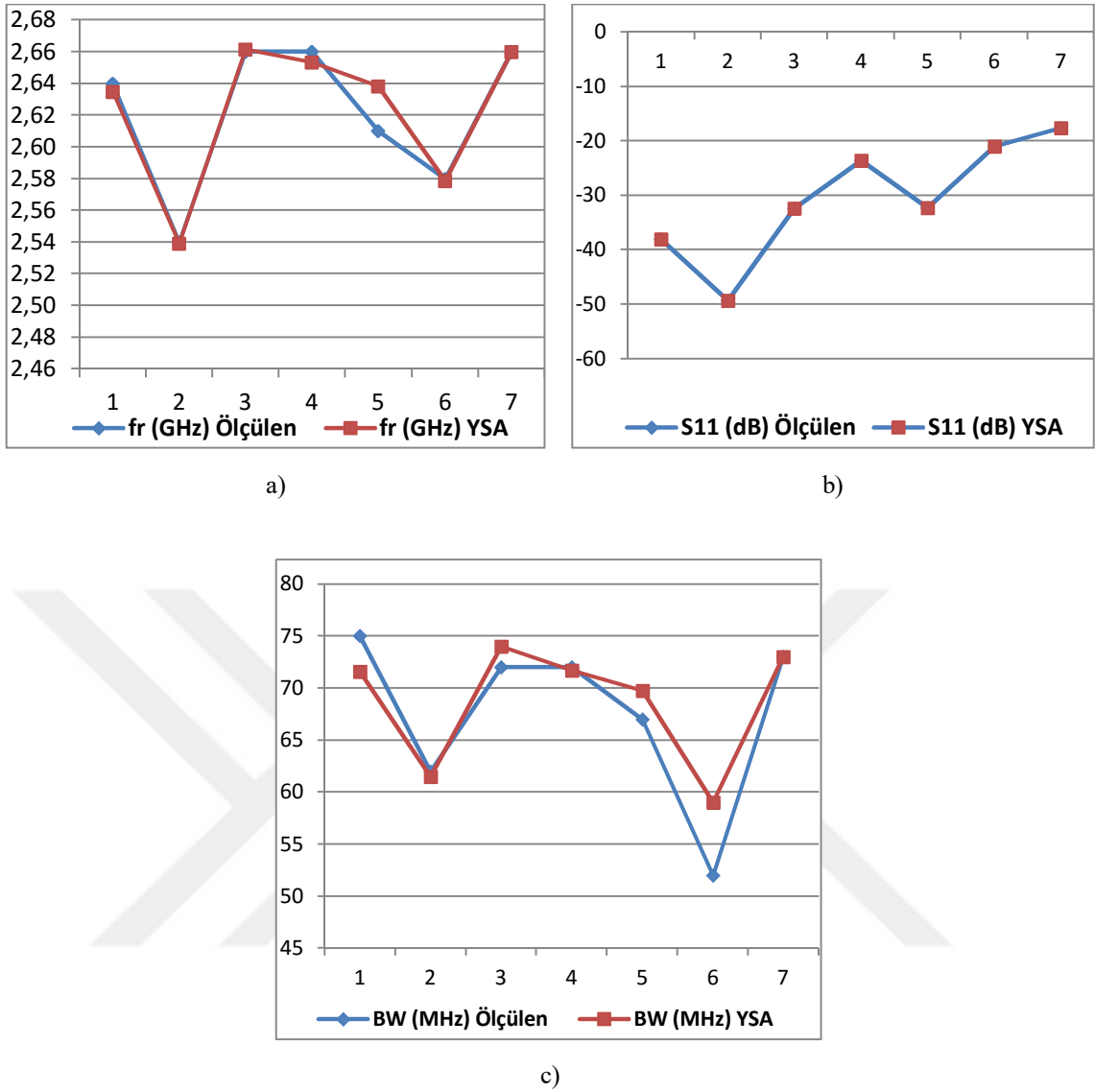


b)



c)

**Şekil 4.11:** Tek çıkışlı ÇKP-YSA ağ yapısı ile elde edilen ölçüm ve YSA test eğrileri, a) fr, b)  $S_{11}$ , c) BW



Şekil 4.12: Üç çıkışlı ÇKP-YSA ağ yapısı ile elde edilen ölçüm ve YSA test eğrileri, a) fr, b) S<sub>11</sub>, c) BW

Tablo ve grafiklerden görüldüğü gibi tek çıkışlı ve üç çıkışlı ÇKP-YSA ağ yapısında Levenberg-Marquardt eğitime algoritması ile eğitilen 2500 MHz frekansında 1x4 dikdörtgen kesitli mikroşerit yama antenin geri dönüş cevabı, frekansı ve bant genişliği hesaplanmış ve oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. Alınan sonuçlarla YSA'nın bu parametreleri hesaplayabileceği gösterilmiştir.

#### 4.2. 16 GHz 1X4 Dikdörtgen Kesitli Mikroşerit Yama Anten Tasarımı

Mikroşerit anten dizilerinin hafif ve düşük maliyetli olabilirliklerinden dolayı Ku Band uygulamalarında geniş bir aralıkta kullanılabilirler. VSAT (Very Small Aperture Terminal), Radyometrik Yer Bazlı Yangın Algılama, Mikro

Elektromekanik Sistemlerinde, Hafif Radarlar vb. uygulamalarda Ku Band mikroşerit yama anten kullanılabilir.

16 GHz frekansında Ku Band için Duroid 5880 malzemesi kullanılarak 1x4 mikroşerit yama anten tasarlanıp elektriksel parametrelerinde iyileştirme sağlanması amaçlanmıştır. Tasarım için dielektrik sabiti küçük olan Duroid 5880 taban malzemesi özellikleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

**Çizelge 4.10:** Duroid 5880 taban malzemesi özellikleri

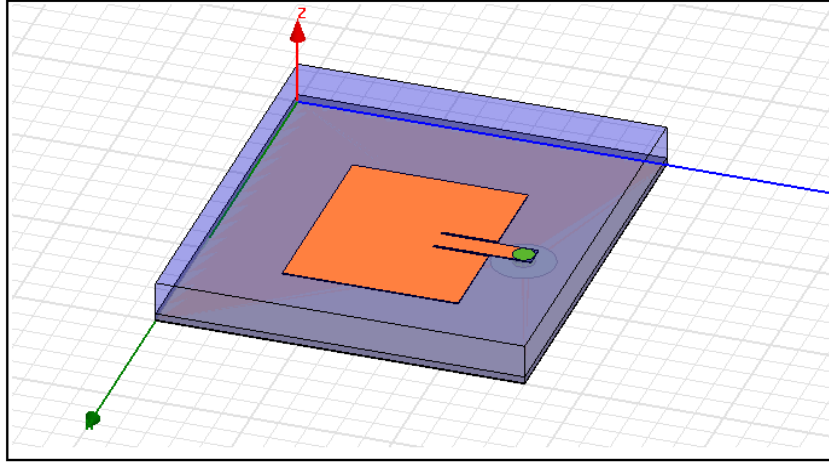
Malzeme Özellikleri	Değeri
Taban	Duroid 5880
Dielektrik Sabiti( $\epsilon_r$ )	2.2
Dielektrik Kalınlığı (h)	0.254 mm
Bakır Kalınlığı	0.035 mm

Çizelge 4.10'deki Duroid 5880 dielektrik malzemesi kullanılarak tasarımın ilk aşaması olan fiziksel boyut hesaplamaları 2. bölümde verilen (2.1), (2.2), (2.3), (2.4), (2.5) tasarım formülleri kullanılarak mikroşerit yama antenin fiziksel boyutları hesaplanmış ve hesaplama sonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

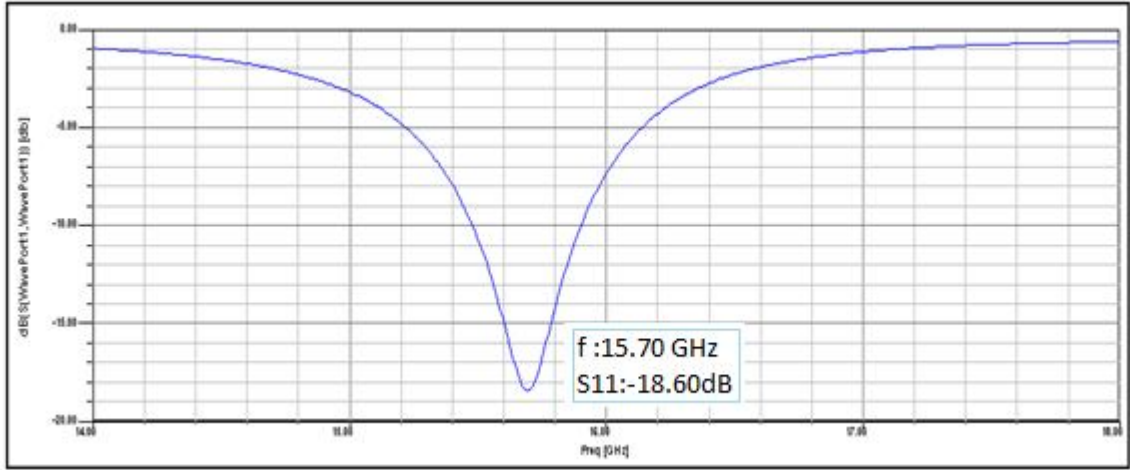
**Çizelge 4.11:** 16 GHz'de hesaplanan temel yama fiziksel parametreler

Mikroşerit Yama Boyutları	Değeri
Genişlik (W)	7.412 mm
Uzunluk (L)	6.462 mm
Efektif Uzunluk ( $L_{eff}$ )	6.729 mm
Efektif Dielektrik Sabiti ( $\epsilon_{reff}$ )	2.105

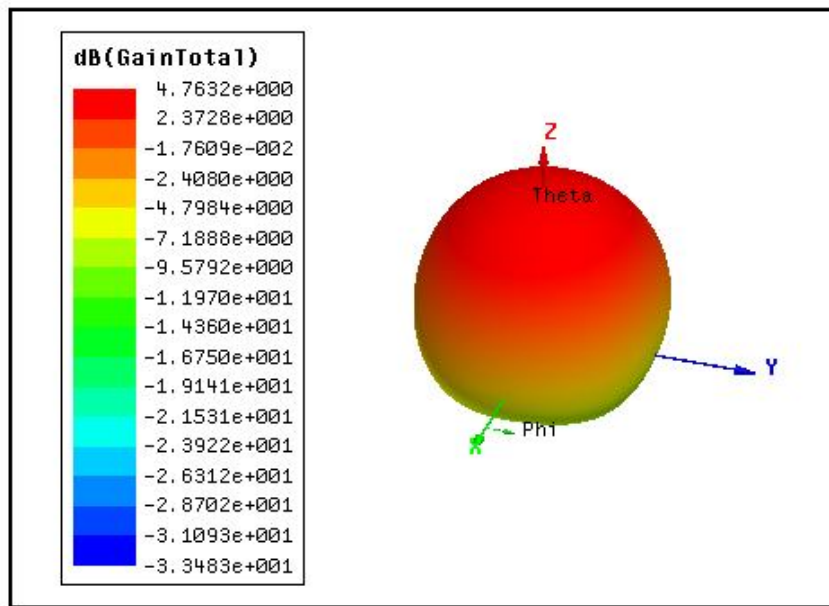
Hesaplanan fiziksel parametreler kullanılarak HFSS simülasyon programında 16 GHz'de tasarlanmış tek yamalı mikroşerit anten Şekil 4.13'de verilmiştir. Simülasyonu oluşturulan tekli yama antenin geri dönüş cevabı da Şekil 4.14'de verilmiştir. Rezonans frekansının 15.70 GHz frekansında, geri dönüş cevabının -18.60 dB olduğu şekilde görülmektedir. Band genişliği ise 440 MHz olduğu görülmektedir. Antenin üç boyutlu kazanç eğrisi ise Şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.13: HFSS simülasyon programında 16 GHz frekansında tasarlanan temel yama anten

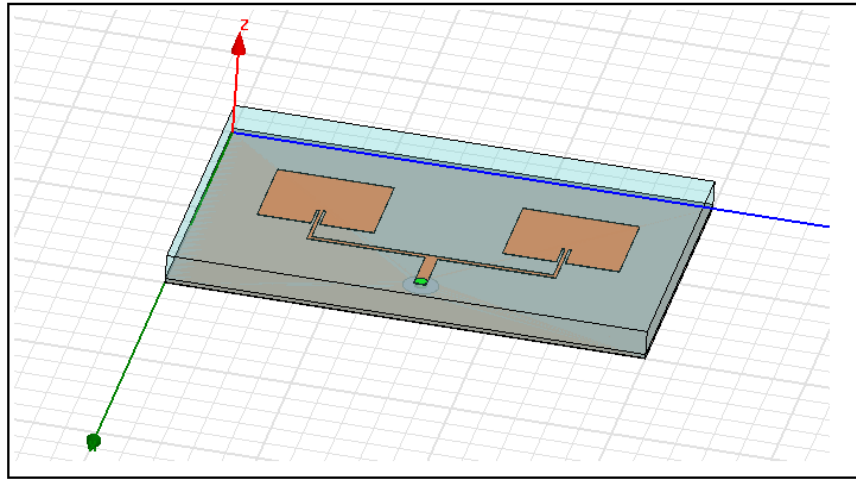


Şekil 4.14: 16 GHz Temel yama antenin HFSS simülasyon  $S_{11}$  geri dönüş cevabı

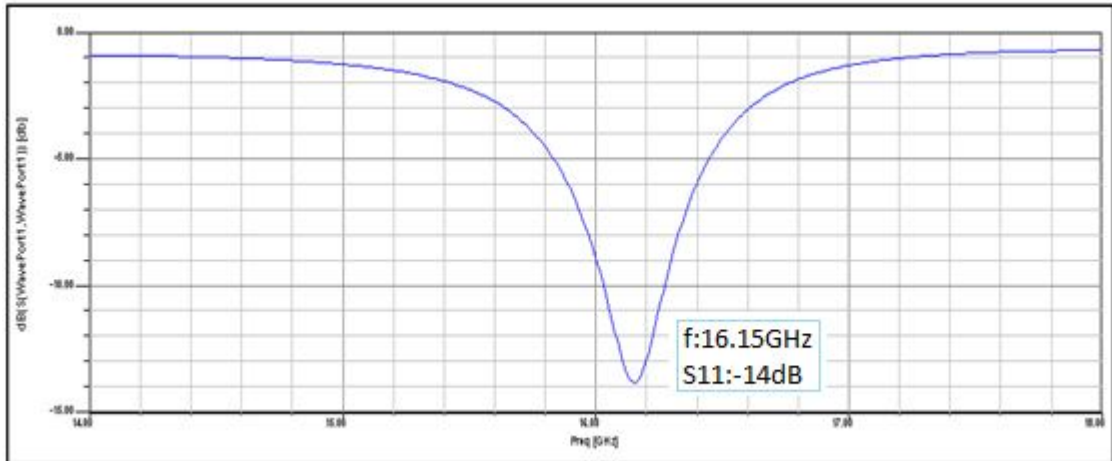


Şekil 4.15: Temel yama anten HFSS simülasyon 3D ışınma deseni

Tekli temel yapı dizi anten yapısı belirlendikten sonra iki yama birleştirilerek 1x2 dizi anten, HFSS simülasyon programı ile tasarlanmış ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simüle edilen 1x2 dizi anten Şekil 4.16'da verilmiştir. Simülasyonu oluşturulan 1x2 dizi yama antenin geri dönüş cevabı da Şekil 4.17'de verilmiştir. Geri dönüş cevabının 16.15 GHz frekansında, geri dönüş cevabının -14 dB olduğu band genişliği ise 250 MHz olduğu grafikte görülmektedir. Antenin 3D ışınma deseni ise Şekil 4.18'de verilmiştir.

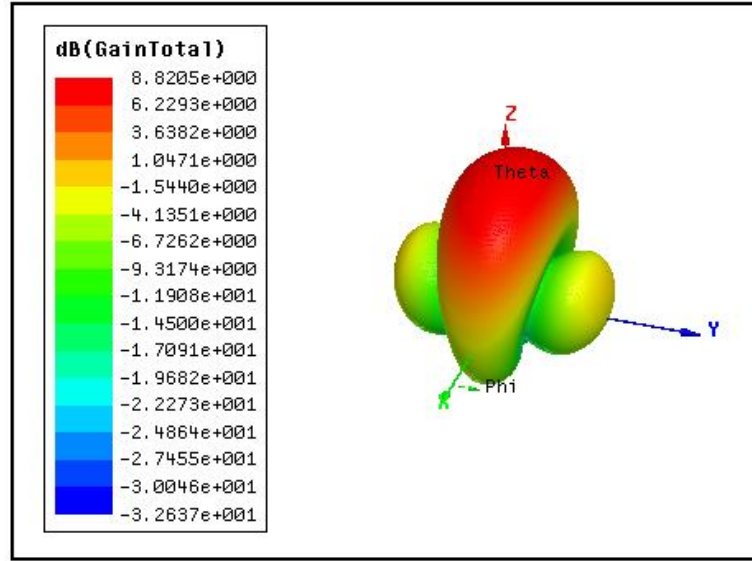


Şekil 4.16: HFSS simülasyon programında 16 GHz frekansında tasarlanan 1x2 yama anten



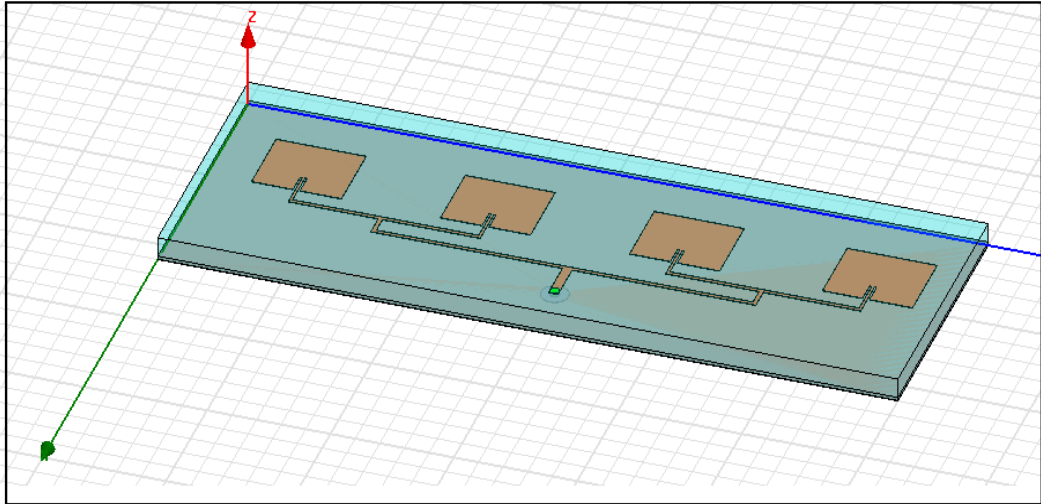
Şekil 4.17: 16 GHz Frekansında tasarlanan 1x2 dizi anten simülasyon S<sub>11</sub> geri dönüş cevabı



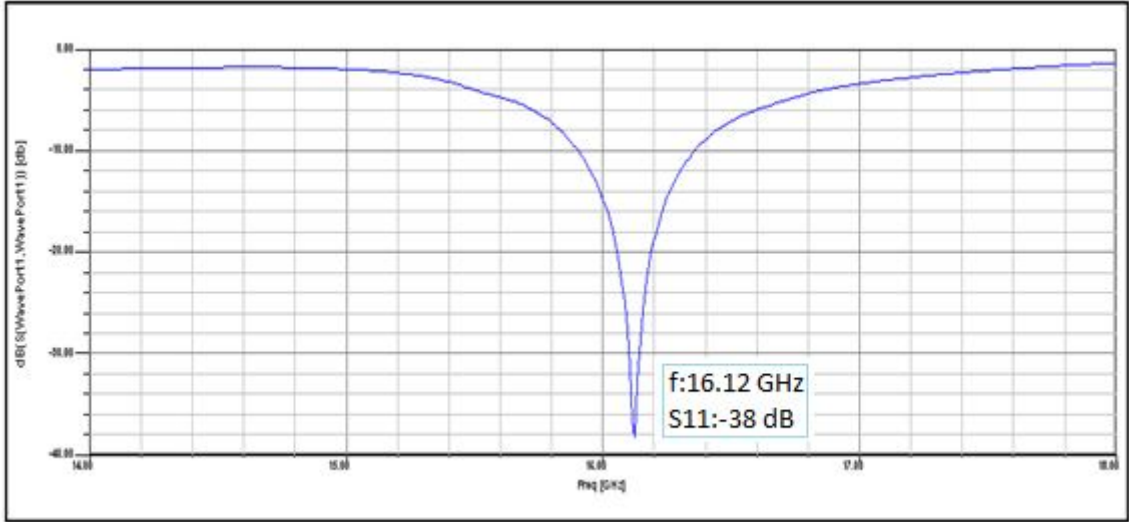


Şekil 4.18: 16 GHz Frekansında tasarlanan 1x2 yama anten HFSS simülasyon 3D ışınma deseni

1x2 dizi yama anten tasarımından sonra iki adet 1x2 dizi yama anten birleştirilerek 1x4 dizi anten oluşturulur. Aynı fiziksel parametreler kullanılarak oluşturulan 1x4 yama dizi anten HFSS programında tasarlanarak simüle edilmiştir. Bu tasarım Şekil 4.19'da verilmiştir.

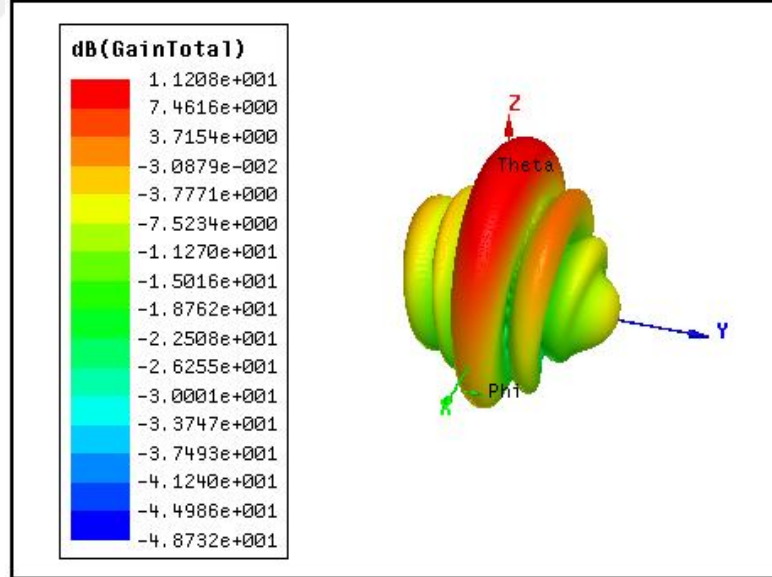


Şekil 4.19: HFSS simülasyon programında 16 GHz frekansında tasarlanan 1x4 yama anten



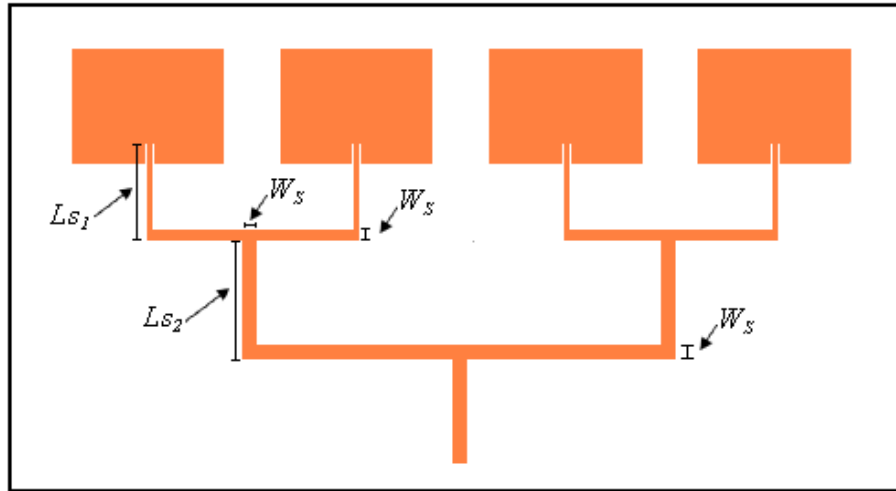
Şekil 4.20: 16 GHz Frekansında tasarlanan 1x4 dizi anten simülasyon  $S_{11}$  geri dönüş cevabı

Simülasyonu oluşturulan 1x4 dizi yama antenin geri dönüş cevabı da Şekil 4.20’de verilmiştir. Geri dönüş cevabının 16.12 GHz frekansında, geri dönüş cevabının -38 dB olduğu, band genişliği ise 460 MHz olduğu grafikte görülmektedir. Şekil 21’de ise 3D Işıma deseni verilmiştir.



Şekil 4.21: 16 GHz frekansında tasarlanan 1x2 yama anten HFSS simülasyon 3D ışınma deseni

Temel 1x4 mikroşerit yama anten tasarımı tamamlanmasının ardından literatürdeki herhangi bir empedans uyumlandırma yöntemi kullanılmadan besleme yolu kalınlık ve uzunluklarını değiştirerek en uygun uyumlandırma yapılması sağlanmıştır. Bunun için Şekil 4.22’deki mikroşerit yapı kullanılmıştır.



Şekil 4.22: 16 GHz rezonans frekanslı 1x4 Dizi antenin parametre iyileştirilmesi

Öncelikle  $L_{s1}$  uzunluğu 3.7594 mm'den başlayarak 2.6316 mm'ye kadar 0.3759 mm küçültürük ve her bir  $L_{s1}$  değeri için  $W_s$  kalınlıklarını 0.30 mm'den 0,70 mm'ye kadar 0.04 mm artırarak ilk optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde HFSS simülasyon programında 44 adet 1x4 mikroşerit yama anten tasarlanarak ayrı ayrı simüle edilmiştir. Rezonans frekansları, geri dönüş cevabı, band genişliği, yönlendiricilik, kazanç ve ışınım verimi sonuçları tespit edilerek Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12: Tasarımı yapılan 44 adet dizi antenin HFSS sonuç çıktıları

Sıra	$L_{s1}$ (mm)	$W_s$ (mm)	$f_r$ (GHz)	$S_{11}$ (dB)	BW (MHz)	Yönlendiricilik	Kazanç (dB)	Işınım Verimi
1	3.7594	0.30	16.286	-14.176	690	11.47	10.93	0.88
2	3.7594	0.34	16.145	-14.041	710	11.50	10.96	0.88
3	3.7594	0.38	16.075	-15.534	1080	11.49	10.96	0.88
4	3.7594	0.42	16.065	-16.965	699	11.50	10.99	0.89
5	3.7594	0.46	16.055	-18.688	671	11.53	10.98	0.88
6	3.7594	0.50	16.035	-19.911	698	11.51	10.97	0.88
7	3.7594	0.54	16.005	-22.616	620	11.54	11.02	0.89
8	3.7594	0.58	15.975	-25.632	593	11.51	11.01	0.89
9	3.7594	0.62	15.805	-23.309	300	11.42	10.90	0.89
10	3.7594	0.66	15.825	-22.972	310	11.46	10.92	0.88
11	3.7594	0.70	15.815	-19.436	280	11.45	10.92	0.89
12	3.3835	0.30	15.915	-12.224	830	11.63	11.09	0.88
13	3.3835	0.34	15.935	-12.511	880	11.58	11.07	0.89
14	3.3835	0.38	15.955	-14.615	750	11.53	11.01	0.89
15	3.3835	0.42	15.985	-15.950	727	11.61	11.09	0.89
16	3.3835	0.46	15.985	-17.721	670	11.66	11.14	0.89
17	3.3835	0.50	15.955	-19.455	605	11.65	11.14	0.89
18	3.3835	0.54	16.005	-20.702	665	11.57	11.06	0.89

19	3.3835	0.58	15.975	-23.401	600	11.64	11.14	0.89
20	3.3835	0.62	15.995	-28.449	560	11.62	11.10	0.89
21	3.3835	0.66	16.005	-33.922	550	11.69	11.19	0.89
22	3.3835	0.70	15.995	-56.216	510	11.74	11.23	0.89
23	3.0075	0.30	15.865	-18.406	500	11.68	11.17	0.89
24	3.0075	0.34	15.885	-20.354	510	11.69	11.19	0.89
25	3.0075	0.38	14.812	-35.488	842	8.47	7.19	0.74
26	3.0075	0.42	15.935	-25.509	490	11.66	11.15	0.89
27	3.0075	0.46	15.935	-17.926	670	10.04	9.52	0.89
28	3.0075	0.50	15.945	-42.843	470	11.64	11.13	0.89
29	3.0075	0.54	15.995	-43.926	469	11.71	11.19	0.89
30	3.0075	0.58	15.965	-26.990	430	11.66	11.17	0.89
31	3.0075	0.62	15.995	-13.567	460	10.20	9.68	0.89
32	3.0075	0.66	16.015	-21.202	430	11.68	11.17	0.89
33	3.0075	0.70	15.514	-11.988	212	10.26	9.58	0.86
34	2.6316	0.30	15.865	-26.251	510	11.39	10.86	0.88
35	2.6316	0.34	15.865	-21.318	1290	10.86	10.33	0.88
36	2.6316	0.38	15.915	-22.646	460	11.49	10.95	0.88
37	2.6316	0.42	15.925	-20.696	440	11.48	10.97	0.89
38	2.6316	0.46	15.975	-17.708	410	11.50	10.99	0.89
39	2.6316	0.50	15.955	-16.177	720	11.19	10.66	0.89
40	2.6316	0.54	15.985	-14.740	340	11.49	10.98	0.89
41	2.6316	0.58	15.995	-13.626	310	11.59	11.08	0.89
42	2.6316	0.62	16.035	-11.708	220	11.51	10.98	0.89
43	2.6316	0.66	16.035	-10.319	90	11.54	11.03	0.89
44	2.6316	0.70	16.055	-9.068	0	11.54	10.98	0.88

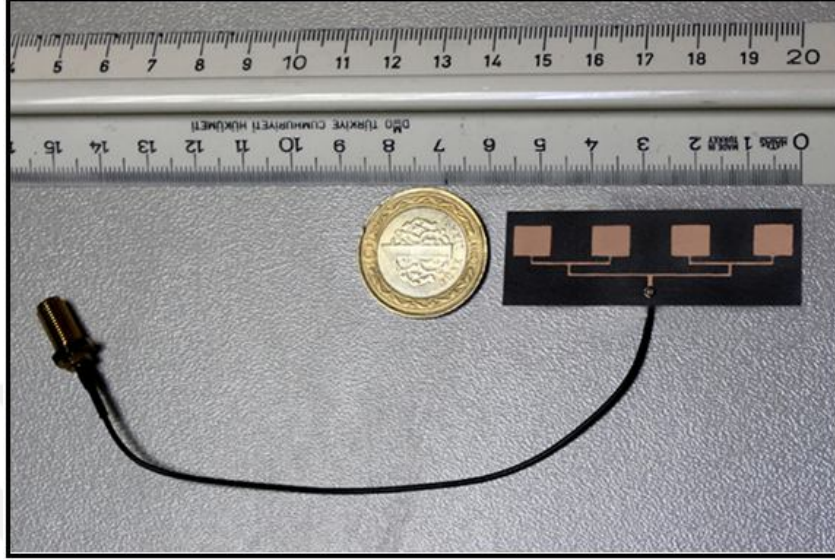
Çizelge 4.12 incelendiğinde  $L_{s1}$  uzunluğunun 3.3835 mm değerinde tasarlanan antenlerin geri dönüş kaybı, band genişliği, kazanç ve yönlendiriciliğin daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bundan dolayı iyileştirmenin ikinci aşamasında  $L_{s1}$  uzunluğu 3.3835 mm değerinde sabit tutularak ara uzunluk olan  $L_{s2}$  değerini 3.4267mm'den 1.8267 mm'ye kadar 0,4 mm aralıklarla değiştirilerek ve besleme kalınlıklarını 0.38 mm'den 0.70 mm'ye kadar 0.04 mm aralıklarla değiştirilerek iyileştirme işlemine devam edilmiştir. Bu amaçla HFSS Simülasyon Programında yeni 47 adet anten tasarımı yapılmıştır. Tasarımın son grubunda  $L_{s2}=1.8267$  mm değerinde en iyi sonuçlar kalınlığın minimum noktasında çıktığı için iki adım daha kalınlık değerini küçülterek iyileştirme yapılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucu simülasyondan alınan veri değerleri Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13: İkinci iyileştirme yapılan 47 adet dizi antenin HFSS sonuç çıktıları

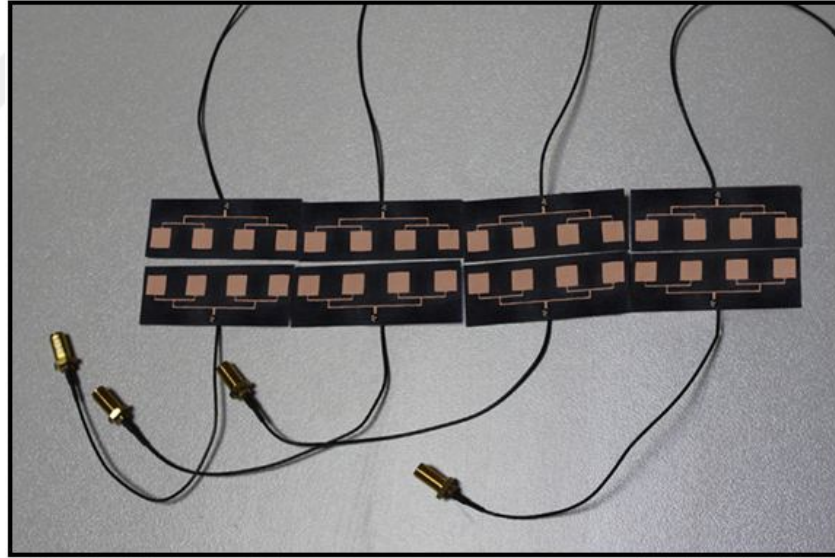
Sıra	LS <sub>2</sub> (mm)	Ws (mm)	Frs (GHz)	S <sub>11</sub> (dB)	BW (MHz)	Yönlendiricilik	Kazanç (dB)	İşma Verimi
1	3.4267	0.38	16.057	-12.442	512	11.46	10.93	0.88
2	3.4267	0.42	16.056	-15.901	517	11.47	10.95	0.88
3	3.4267	0.46	16.055	-17.713	601	11.49	10.96	0.88
4	3.4267	0.50	16.035	-19.911	698	11.51	10.97	0.88
5	3.4267	0.54	16.005	-22.616	620	11.54	11.02	0.89
6	3.4267	0.58	15.975	-25.632	593	11.51	11.01	0.89
7	3.4267	0.62	15.995	-28.449	560	11.62	11.10	0.89
8	3.4267	0.66	16.005	-33.922	550	11.69	11.19	0.89
<b>9</b>	<b>3.4267</b>	<b>0.70</b>	<b>15.995</b>	<b>-56.216</b>	<b>510</b>	<b>11.74</b>	<b>11.23</b>	<b>0.89</b>
10	3.0267	0.38	16.067	-17.451	401	11.54	11.11	0.88
11	3.0267	0.42	16.067	-26.761	443	11.61	11.17	0.88
12	3.0267	0.46	16.066	-31.058	472	11.69	11.19	0.89
13	3.0267	0.50	15.103	-37.302	278	11.70	11.20	0.89
<b>14</b>	<b>3.0267</b>	<b>0.54</b>	<b>16.065</b>	<b>-42.149</b>	<b>490</b>	<b>11.71</b>	<b>11.20</b>	<b>0.89</b>
15	3.0267	0.58	16.055	-30.743	460	11.72	11.21	0.89
16	3.0267	0.62	16.055	-24.427	440	11.65	11.13	0.89
17	3.0267	0.66	16.045	-20.503	410	11.67	11.13	0.88
18	3.0267	0.70	16.506	-13.131	310	16.57	16.91	0.93
19	2.6267	0.38	16.566	-15.375	230	9.50	8.91	0.87
<b>20</b>	<b>2.6267</b>	<b>0.42</b>	<b>16.065</b>	<b>-38.339</b>	<b>480</b>	<b>11.69</b>	<b>11.16</b>	<b>0.88</b>
21	2.6267	0.46	15.223	-15.283	220	7.81	6.76	0.79
<b>22</b>	<b>2.6267</b>	<b>0.50</b>	<b>16.045</b>	<b>-25.206</b>	<b>430</b>	<b>11.66</b>	<b>11.12</b>	<b>0.88</b>
23	2.6267	0.54	16.095	-20.944	390	11.77	11.24	0.89
24	2.6267	0.58	15.985	-11.684	220	10.28	9.75	0.89
25	2.6267	0.62	16.085	-15.653	310	11.90	11.35	0.88
26	2.6267	0.66	14.712	-11.246	131	6.79	5.50	0.74
27	2.6267	0.70	14.822	-12.251	210	6.89	5.73	0.77
28	2.2267	0.38	15.674	-15.884	320	9.29	8.72	0.88
<b>29</b>	<b>2.2267</b>	<b>0.42</b>	<b>16.115</b>	<b>-24.693</b>	<b>430</b>	<b>11.72</b>	<b>11.21</b>	<b>0.89</b>
<b>30</b>	<b>2.2267</b>	<b>0.46</b>	<b>16.125</b>	<b>-20.329</b>	<b>380</b>	<b>11.74</b>	<b>11.21</b>	<b>0.89</b>
31	2.2267	0.50	16.135	-17.620	350	11.76	11.24	0.89
32	2.2267	0.54	16.135	-15.128	300	11.77	11.24	0.89
33	2.2267	0.58	16.145	-13.500	260	11.78	11.26	0.89
34	2.2267	0.62	16.105	-12.704	230	11.73	11.21	0.89
35	2.2267	0.66	16.165	-11.126	150	11.73	11.20	0.88
36	2.2267	0.70	15.494	-10.606	90	9.31	8.42	0.81
37	1.8267	0.30	16.085	-50.121	500	10.48	9.63	0.82
<b>38</b>	<b>1.8267</b>	<b>0.34</b>	<b>16.155</b>	<b>-35.897</b>	<b>450</b>	<b>11.79</b>	<b>11.25</b>	<b>0.88</b>
<b>39</b>	<b>1.8267</b>	<b>0.38</b>	<b>16.135</b>	<b>-23.528</b>	<b>410</b>	<b>11.68</b>	<b>11.17</b>	<b>0.89</b>
40	1.8267	0.42	16.145	-19.746	380	11.68	11.15	0.88
41	1.8267	0.46	16.155	-16.648	340	11.69	11.17	0.89
42	1.8267	0.50	16.175	-14.166	278	11.74	11.22	0.89
43	1.8267	0.54	16.165	-12.622	225	11.78	11.25	0.89
44	1.8267	0.58	16.165	-10.979	140	11.74	11.20	0.88
45	1.8267	0.62	15.173	-18.468	398	6.98	5.87	0.77
46	1.8267	0.66	15.253	-11.145	160	7.86	8.87	0.80
47	1.8267	0.70	15.245	-9.520	245	7.86	8.87	0.80

Simülasyon veri değerlerine göre LS<sub>2</sub>'nin en iyi sonuç veren değerleri belirlenmiştir. Bunlar Çizelge 4.13'den 9, 14, 20, 22, 29, 30, 38, 39 sıra numaralı dizi

antenler olduğu tespit edilmiştir. Sonra imalat aşamasına geçilerek bu 8 antenin imalatı gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen ve en iyi sonuç veren 3 sıra numaralı 1x4 dizi yama anten Şekil 4.23'de ve imalatları gerçekleştirilen 8 anten toplu olarak Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.23: İmalatı gerçekleştirilen 1x4 mikroşerit dizi anten



Şekil 4.24: İmalatları gerçekleştirilen 8 adet 1x4 mikroşerit dizi antenler

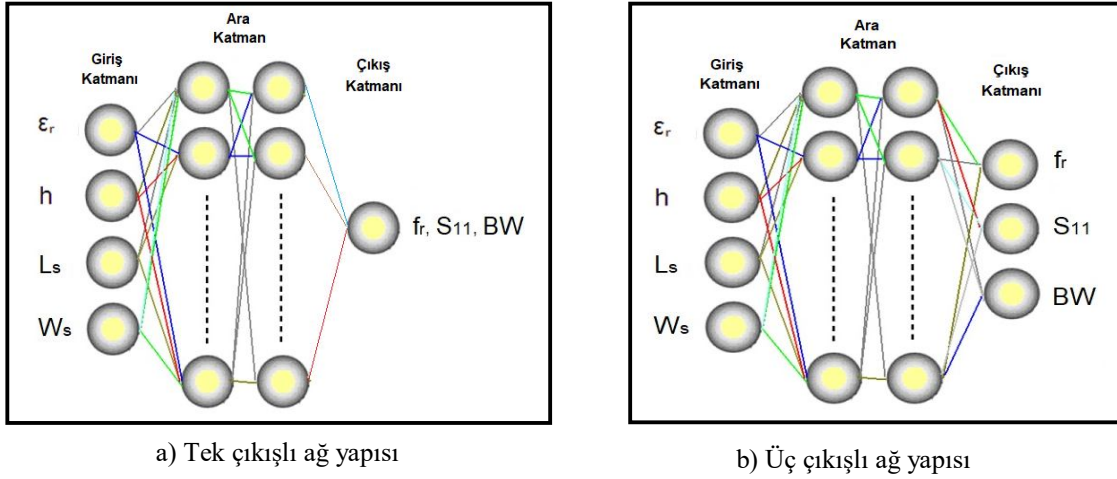
Üretimleri gerçekleştirilen dizi antenler Medipol Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Haberleşme Laboratuvarında bulunan Anritsu MS2038C marka mobil VNA ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucunda alınan değerler de Çizelge 4.14'da verilmiştir.

**Çizelge 4.14:** İmalatları gerçekleştirilen dizi antenlerin simülasyon ve ölçüm sonuçları

Sıra	Çizelge 4.7'deki Sıra Numarası	L <sub>s2</sub> (mm)	W <sub>s</sub> (mm)	Simülasyon Sonuçları			Ölçüm Sonuçları		
				S <sub>11</sub> (dB)	f <sub>rs</sub> (GHz)	BW <sub>s</sub> (MHz)	S <sub>11</sub> (dB)	f <sub>r</sub> (GHz)	BW (MHz)
1	9	3.4267	0.70	-56.22	15.995	510	-21.79	15.046	164
2	14	3.0267	0.54	-42.15	16.065	490	-26.96	15.088	129
3	20	2.6267	0.42	-38.34	16.065	480	-45.25	14.96	220
4	22	2.6267	0.50	-25.21	16.045	430	-41.97	15.037	120
5	29	2.2267	0.42	-24.69	16.115	430	-19.19	15.030	136
6	30	2.2267	0.46	-20.33	16.125	380	-25.74	15.118	226
7	38	1.8267	0.34	-35.9	16.155	450	-29.53	15.104	194
8	39	1.8267	0.38	-23.53	16.135	410	-54.97	15.076	143

#### 4.2.1. 16 GHz Frekansında 1x4 Dikdörtgen Kesitli Mikroşerit Yama Antenin Geri Dönüş Cevabı, Frekansı ve Bant Genişliğinin YSA Kullanarak Hesaplanması

Bu bölümde 16 GHz Frekansında 1x4 Dikdörtgen Kesitli Mikroşerit Yama Antenin Geri Dönüş Cevabı, Frekansı ve Bant Genişliğinin YSA ile hesaplanması yapılmıştır. Çizelge 4.13 ile verilen 47 adet dizi anten simülasyon sonuçları YSA yapısını eğitmek için ve Çizelge 4.14 ile verilen 8 adet ölçüm sonuçları YSA yapısını test etmek için kullanılmıştır. Hesaplamalar “Çok Katmanlı Perseptron” (ÇKP)-YSA Ağ Yapısı kullanılarak yapılmıştır. Bunun yanında iki ağ yapısı ile de ayrı ayrı sonuca gidilmiştir. Birincisi tek çıkışlı ağ yapısı (Şekil 4.25a), ikincisi ise iki katmanlı üç çıkışlı ağ yapısıdır (Şekil 4.25b). Her iki yapıda da dört adet giriş parametresi kullanılmıştır. Giriş parametreleri; dielektrik sabiti ( $\epsilon_r$ ), dielektrik taban kalınlığı (h), besleme hattı boyu (L<sub>s</sub>) ve besleme genişliği (W<sub>s</sub>) dir. Çıkış parametreleri ise; rezonans frekansı (f<sub>rs</sub>), geri dönüş cevabı (S<sub>11</sub>) ve bant genişliği (BW) dir. Her iki YSA ağ yapısında da eğitme algoritması olarak Levenberg-Marquardt kullanılmıştır.



Şekil 4.25: 16 GHz ÇKP-YSA ağ yapıları

Çizelge 4.15’de rezonans frekansının ( $f_r$ ) hesaplanması için tek çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan elde edilen farklar belirtilmiştir. Çizelge 4.16’de geri dönüş cevabı ( $S_{11}$ ) hesaplanması için tek çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan elde edilen farklar belirtilmiştir. Çizelge 4.17’de bant genişliği (BW) hesaplanması için tek çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan elde edilen farklar belirtilmiştir. Çizelge 4.18’de rezonans frekansı ( $f_r$ ), geri dönüş cevabı ( $S_{11}$ ) ve bant genişliği (BW)’nin hesaplanması için üç çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan elde edilen farklar belirtilmiştir. Çizelge 4.19’da ise tek çıkışlı ve üç çıkışlı ağ ÇKP-YSA yapısı ile ilgili giriş, çıkış, iterasyon ve ara katman sayıları verilmiştir.

Çizelge 4.15: Rezonans frekansının ( $f_r$ ) hesaplanması için tek çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları

Girişler				Çıkış $f_r$ (GHz)	YSA $f_r$ (GHz)	Fark Mutlak Hata (GHz)
$\epsilon_r$	h (mm)	Ls (mm)	Ws (mm)			
2.200	0.254	34.267	0.700	15.995	15.995	0.0000
2.200	0.254	30.267	0.540	16.065	16.065	0.0000
2.200	0.254	26.267	0.420	16.065	16.065	0.0000
2.200	0.254	26.267	0.500	16.045	16.045	0.0000
2.200	0.254	22.267	0.420	16.115	16.115	0.0000
2.200	0.254	22.267	0.460	16.125	16.125	0.0001
2.200	0.254	18.267	0.340	16.155	16.155	0.0002
2.200	0.254	18.267	0.380	16.135	16.135	0.0004
Toplam Test Mutlak Hata Ortalaması						0.0000875



**Çizelge 4.16:** Geri dönüş cevabının ( $S_{11}$ ) hesaplanması için tek çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları

Girişler				Çıkış $S_{11}$ (dB)	YSA $S_{11}$ (dB)	Fark Mutlak Hata (dB)
$\epsilon_r$	h (mm)	Ls (mm)	Ws (mm)			
2.200	0.254	34.267	0.700	-56.220	-56.216	0.0040
2.200	0.254	30.267	0.540	-42.150	-42.149	0.0010
2.200	0.254	26.267	0.420	-38.340	-38.339	0.0010
2.200	0.254	26.267	0.500	-25.210	-25.206	0.0040
2.200	0.254	22.267	0.420	-24.690	-24.693	0.0030
2.200	0.254	22.267	0.460	-20.330	-20.329	0.0010
2.200	0.254	18.267	0.340	-35.900	-35.897	0.0030
2.200	0.254	18.267	0.380	-23.530	-23.528	0.0020
<b>Toplam Test Mutlak Hata Ortalaması</b>						<b>0.002375</b>

**Çizelge 4.17:** Bant genişliği (BW) hesaplanması için tek çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları

Girişler				Çıkış BW (MHz)	YSA BW (MHz)	Fark Mutlak Hata (MHz)
$\epsilon_r$	h (mm)	Ls (mm)	Ws (mm)			
2.200	0.254	34.267	0.700	510.00	510.1	0.1000
2.200	0.254	30.267	0.540	490.00	490.2	0.2000
2.200	0.254	26.267	0.420	480.00	480.1	0.1000
2.200	0.254	26.267	0.500	430.00	429.9	0.1000
2.200	0.254	22.267	0.420	430.00	430.1	0.1000
2.200	0.254	22.267	0.460	380.00	380.1	0.1000
2.200	0.254	18.267	0.340	450.00	449.2	0.8000
2.200	0.254	18.267	0.380	410.00	410.6	0.6000
<b>Toplam Test Mutlak Hata Ortalaması</b>						<b>0.2625</b>

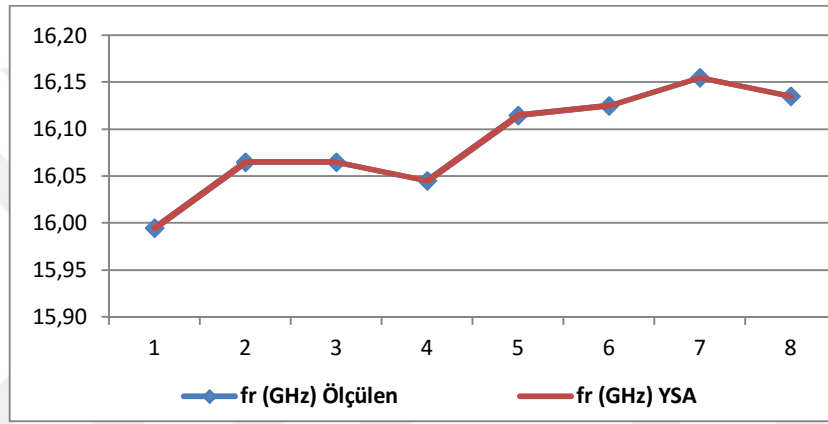
**Çizelge 4.18:** Rezonans frekansı ( $f_r$ ), geri dönüş cevabı ( $S_{11}$ ) ve bant genişliği (BW)'nin hesaplanması için üç çıkışlı ağ yapısına ait giriş çıkış test seti ve YSA test sonuçları

Girişler				Çıkışlar			YSA Çıkışları			Fark Mutlak Hata		
$\epsilon_r$	h (mm)	Ls (mm)	Ws (mm)	$f_r$ (GHz)	$S_{11}$ (dB)	BW (MHz)	$f_r$ (GHz)	$S_{11}$ (dB)	BW (MHz)	$f_r$ (GHz)	$S_{11}$ (dB)	BW (MHz)
2.200	0.254	34.267	0.700	15.995	-56.220	510.00	15.9950	-56.2160	511.20	0.0000	0.0040	1.2000
2.200	0.254	30.267	0.540	16.065	-42.150	490.00	16.0647	-42.1490	486.10	0.0003	0.0010	3.9000
2.200	0.254	26.267	0.420	16.065	-38.340	480.00	16.0650	-38.3389	480.00	0.0000	0.0011	0.0000
2.200	0.254	26.267	0.500	16.045	-25.210	430.00	16.0450	-25.2060	432.40	0.0000	0.0040	2.4000
2.200	0.254	22.267	0.420	16.115	-24.690	430.00	16.1150	-24.6930	430.00	0.0000	0.0030	0.0000
2.200	0.254	22.267	0.460	16.125	-20.330	380.00	16.1250	-20.3290	380.00	0.0000	0.0010	0.0000
2.200	0.254	18.267	0.340	16.155	-35.900	450.00	16.1550	-35.8970	450.00	0.0000	0.0030	0.0000
2.200	0.254	18.267	0.380	16.135	-23.530	410.00	16.1350	-23.5279	410.10	0.0000	0.0021	0.1000
<b>Toplam Test Mutlak Hata Ortalaması</b>										<b>0.000375</b>	<b>0.0024</b>	<b>0.95</b>

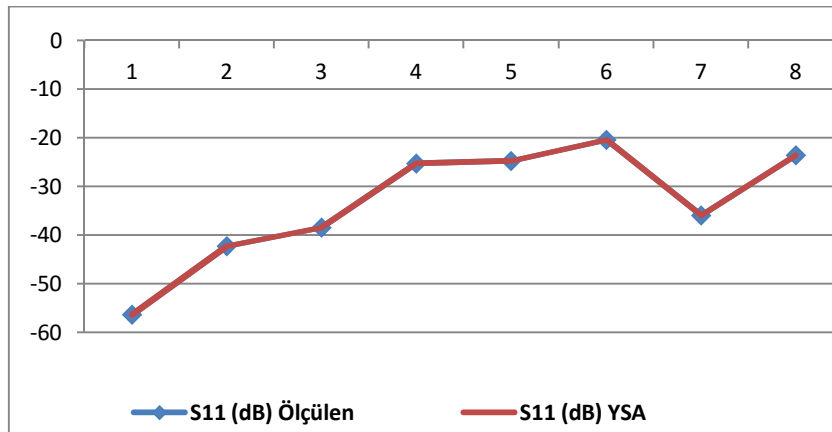
**Çizelge 4.19:** 16 GHz çalışma frekansı için  $f_{rs}$ ,  $S_{11}$  ve BW çıkış parametrelerinin tek çıkış ve üç çıkışlı YSA ağ yapısı

YSA Ağ Yapısı	Girişler	Çıkışlar	Ara Katman Nöron Sayıları		Eğitim İterasyon Sayıları
Tek çıkış yapı	$\epsilon_r, h, L_S, W_S, f_{rc}$	$f_{rs}$	8	6	425
	$\epsilon_r, h, L_S, W_S, f_{rc}$	$S_{11}$	9	8	3500
	$\epsilon_r, h, L_S, W_S, f_{rc}$	BW	8	8	130
Üç çıkışlı yapı	$\epsilon_r, h, L_S, W_S, f_{rc}$	$f_{rs}, S_{11}, BW$	10	9	2000

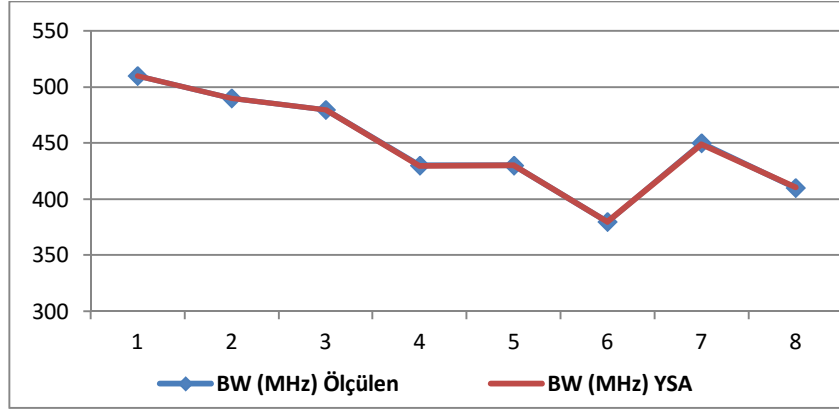
Şekil 4.26 (a, b, c) tek çıkışlı, Şekil 4.27 (a, b, c)'de ise üç çıkışlı ağ yapısından elde edilen 7 adet ölçüm ve YSA test eğrileri verilmiştir.



a)

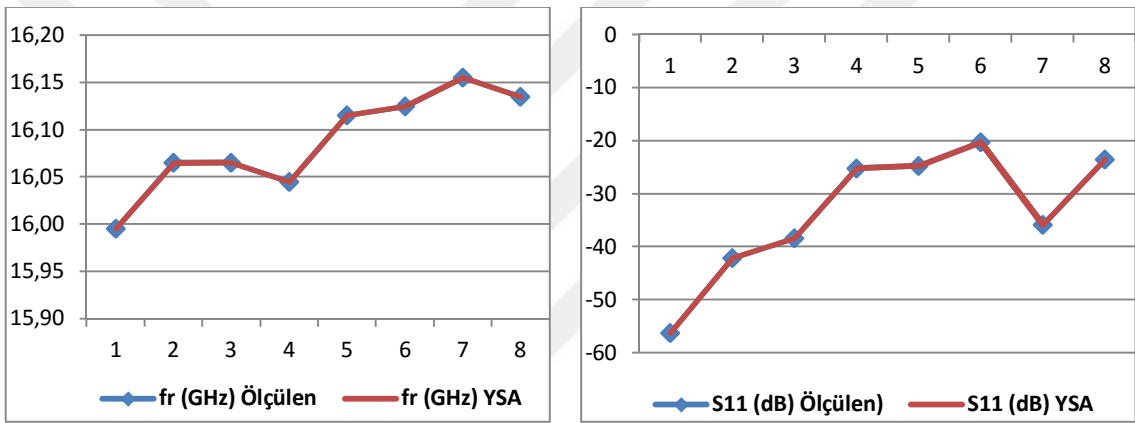


b)



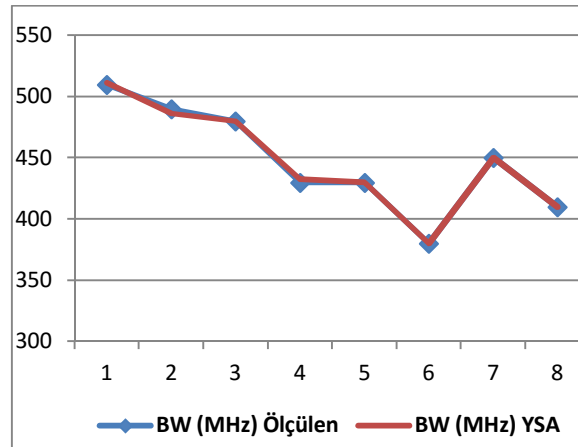
c)

Şekil 4.26: Tek çıkışlı ÇKP-YSA ağ yapısı ile elde edilen ölçüm ve YSA test eğrileri, a) fr, b)  $S_{11}$ , c) BW



a)

b)



c)

Şekil 4.27: Üç çıkışlı ÇKP-YSA ağ yapısı ile elde edilen ölçüm ve YSA test eğrileri, a) fr, b)  $S_{11}$ , c) BW

Tablo ve grafiklerden görüldüğü gibi Tek çıkışlı ve üç çıkışlı ÇKP-YSA ağ yapısında Levenberg-Marquardt eğitme algoritması ile eğitilen 16 GHz frekansında

1x4 dikdörtgen kesitli mikroşerit yama antenin geri dönüş cevabı, frekansı ve bant genişliği hesaplanmış ve oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. Alınan sonuçlarla YSA'nın bu parametreleri hesaplayabileceği gösterilmiştir.

### 4.3. Üç Rezonanslı 1x3 Farklı Yama Mikroşerit Anten Tasarımı

Günümüzde mikroşerit yama antenlerin avantajlarının dezavantajlarına göre yüksek olması kullanım alanlarını da artırmaktadır. Bunun sonucunda tek ve ikili rezonansların dışında daha fazla rezonanslarda iletim gerçekleştirebilen antenlere de ihtiyaç artmaktadır.

Bu çalışmada 3 farklı rezonansta çalışabilen 1x3 mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. 2500 MHz, 3000 MHz, 5000 MHz rezonans frekanslarında iletim gerçekleştirebilecek farklı fiziksel özelliklere sahip yamalarla gerçekleştirilmiştir.

Bunun için önce 2500 GHz, 3000 GHz, 5000 GHz frekanslarında tekli mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. Sonra da 2500-3000 MHz, 2500-5000 MHz, 3000-5000 MHz rezonans frekanslarında 2x1 mikroşerit yama antenler tasarlanmış ve sonunda da 2500-3000-5000 MHz rezonans frekansında iletim yapabilen 1x3 mikroşerit yama anten oluşturulmuştur. Tasarımda kullanılan dielektrik malzeme özellikleri Çizelge 4.20'de verilmiştir.

**Çizelge 4.20:** FR4 taban malzemesi özellikleri

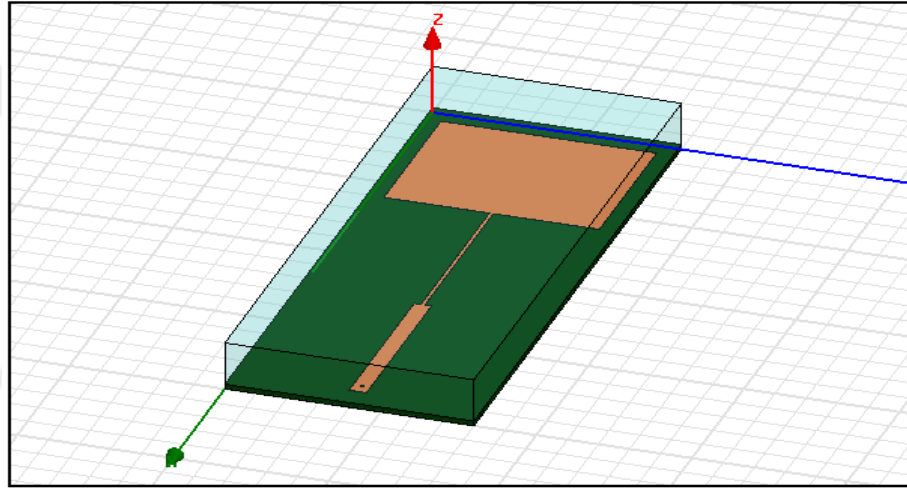
Malzeme Özellikleri	Değeri
Taban	FR4
Dielektrik Sabiti( $\epsilon_r$ )	5
Dielektrik Kalınlığı (h)	1 mm
Bakır Kalınlığı	0.035 mm

Tasarımda Bölüm 2'deki verilen (2.1), (2.2), (2.3), (2.4), (2.5) tasarım formülleri kullanılarak 2500 MHz, 3000 MHz, 5000 MHz frekansındaki yama antenlerin fiziksel parametreleri hesaplanarak elde edilen parametreler Çizelge 4.21'de verilmiştir.

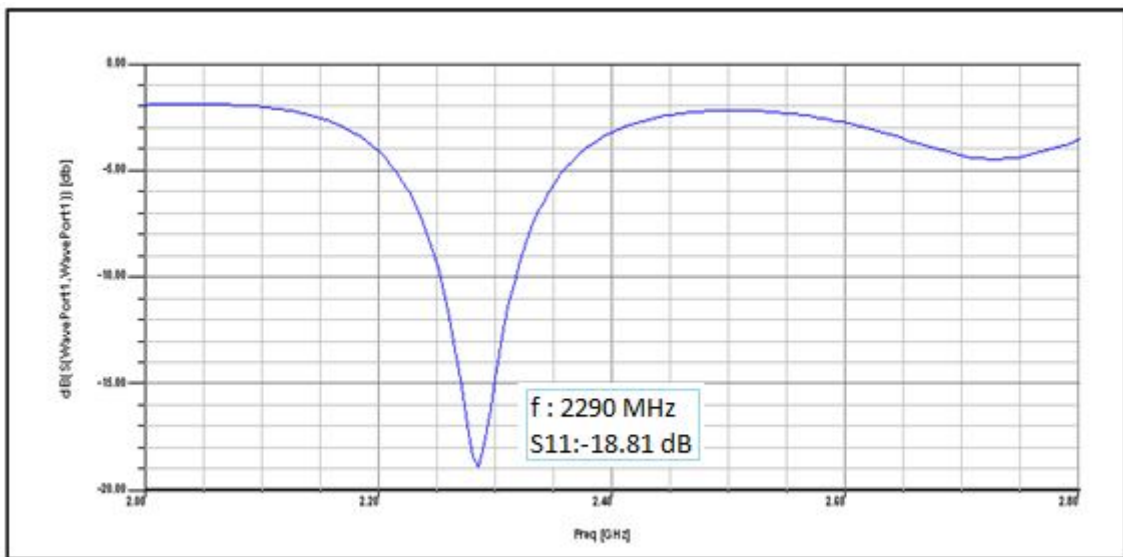
**Çizelge 4.21:** 2500-3000-5000 MHz’de hesaplanmış yamaların fiziksel özellikleri

Frekans (MHz)	L (mm)	W (mm)	$L_{eff}$ (mm)	$\epsilon_{reff}$
2500	27.607	34.641	28.520	4.724
3000	23.110	28.868	24.021	4.681
5000	14.084	17.321	14.988	4.537

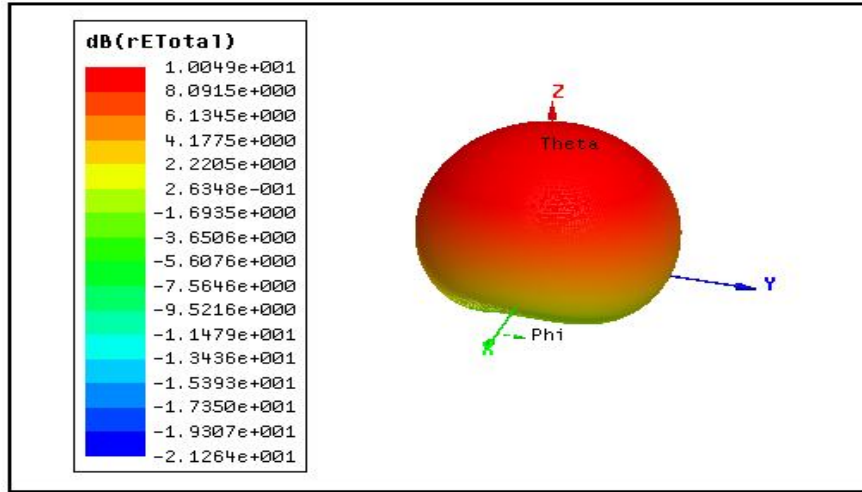
Hesaplanan parametrelere göre HFSS simülasyon programında tekli yama antenler tasarlanmıştır. Tasarıma 2500 MHz frekansında tek yamalı anten tasarımıyla başlanmıştır. Tasarımı yapılan 2500 MHz frekansındaki yama antenin simülasyon şekli Şekil 4.28’de, geri dönüş cevabı Şekil 4.29’da, 3D ışınma deseni Şekil 4.30’da ve imalatı yapılan anten ise Şekil 4.31’de verilmiştir.



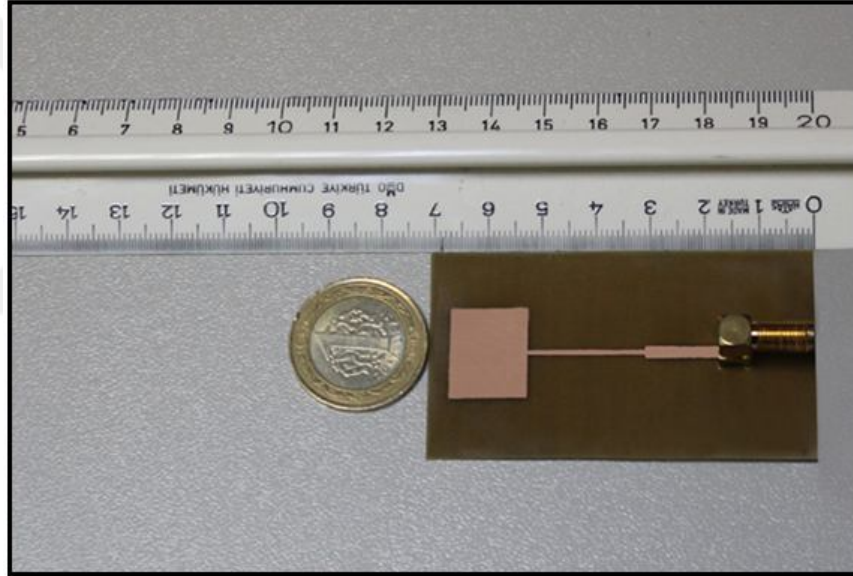
**Şekil 4.28:** 2500 MHz frekansında yama anten



**Şekil 4.29:** 2500 MHz frekansında yama antenin geri dönüş cevabı

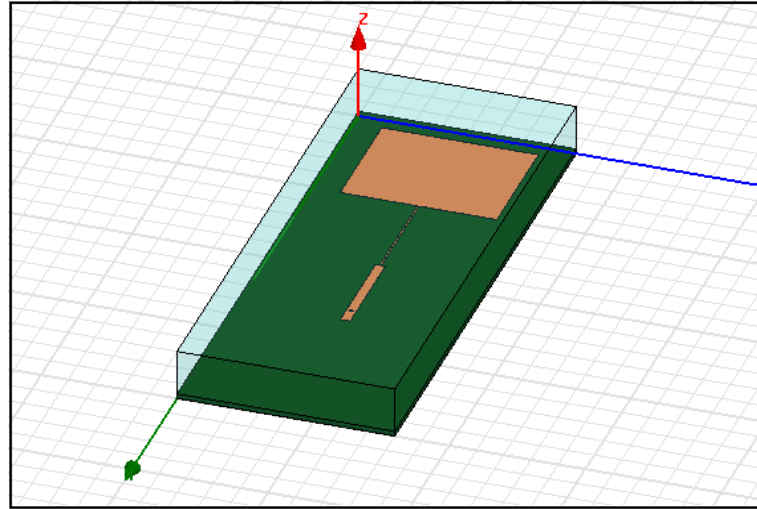


Şekil 4.30: 2500 MHz frekansında yama antenin HFSS simülasyon 3D ışıma deseni

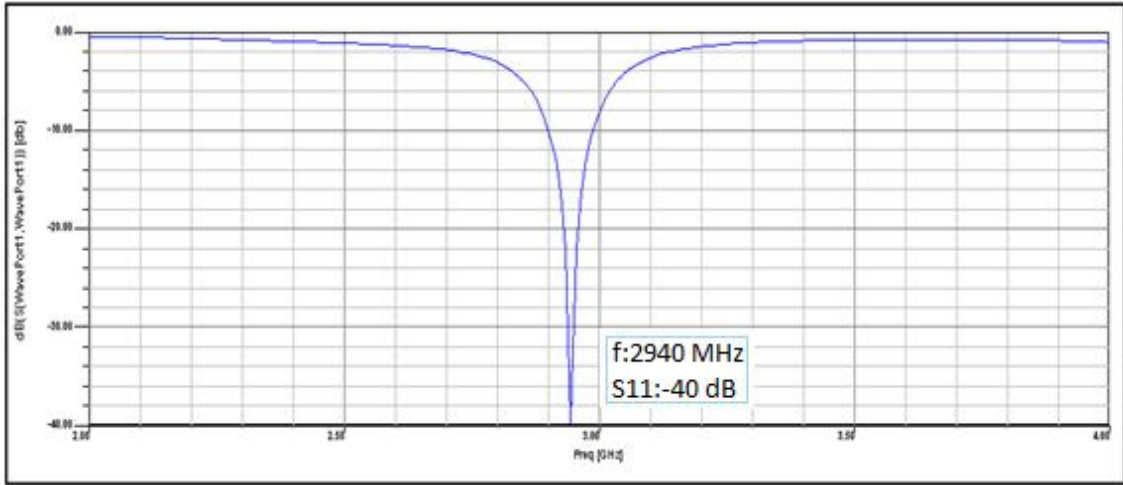


Şekil 4.31: 2500 MHz frekansında imalatı yapılan yama anten

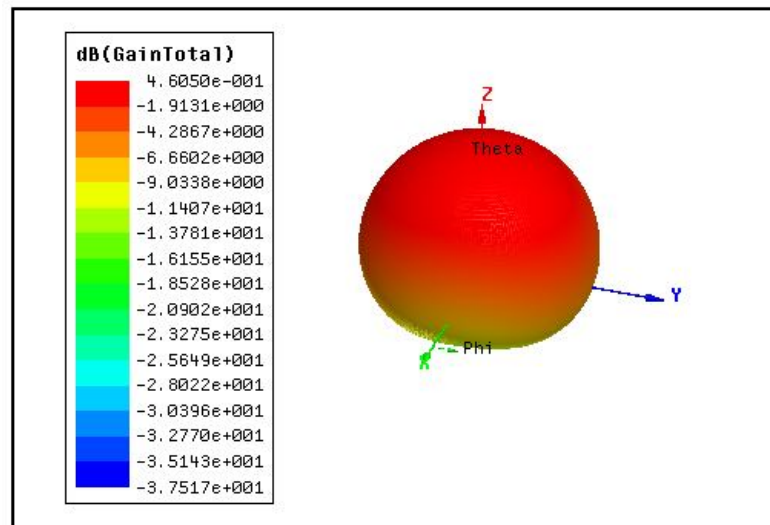
İkinci olarak tasarımı yapılan 3000 MHz frekansındaki yama antenin simülasyon şekli Şekil 4.32'de, geri dönüş cevabı Şekil 4.33'de, 3D ışıma deseni Şekil 4.34'de ve imalatı yapılan anten ise Şekil 4.35'de verilmiştir.



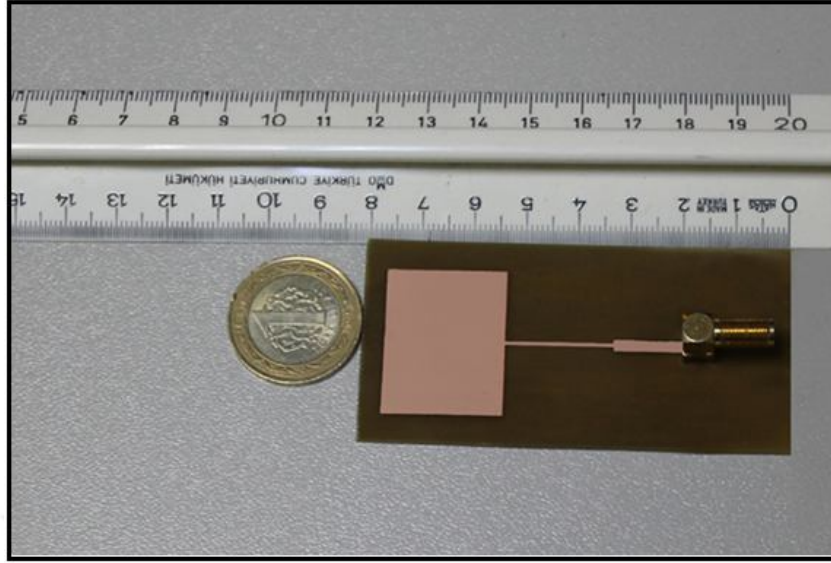
Şekil 4.32: 3000 MHz frekansında yama anten



Şekil 4.33: 3000 MHz frekansında yama antenin geri dönüş cevabı

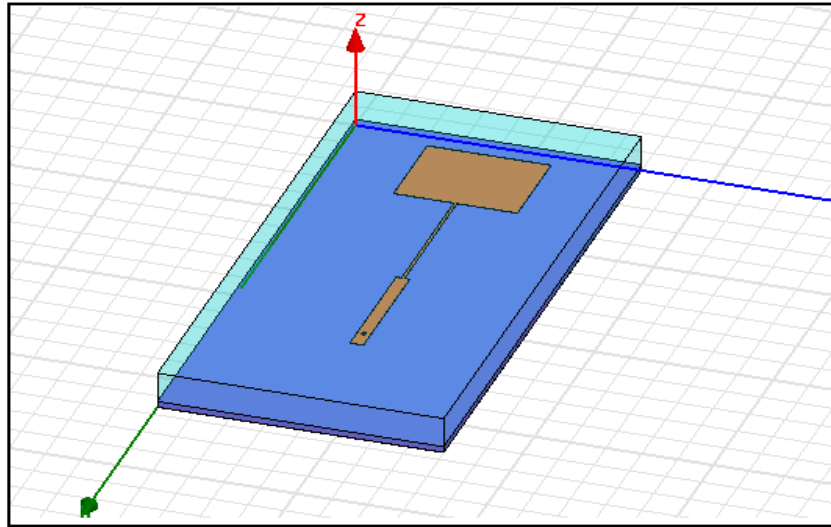


Şekil 4.34: 3000 MHz frekansında yama antenin HFSS simülasyon 3D ışınma deseni



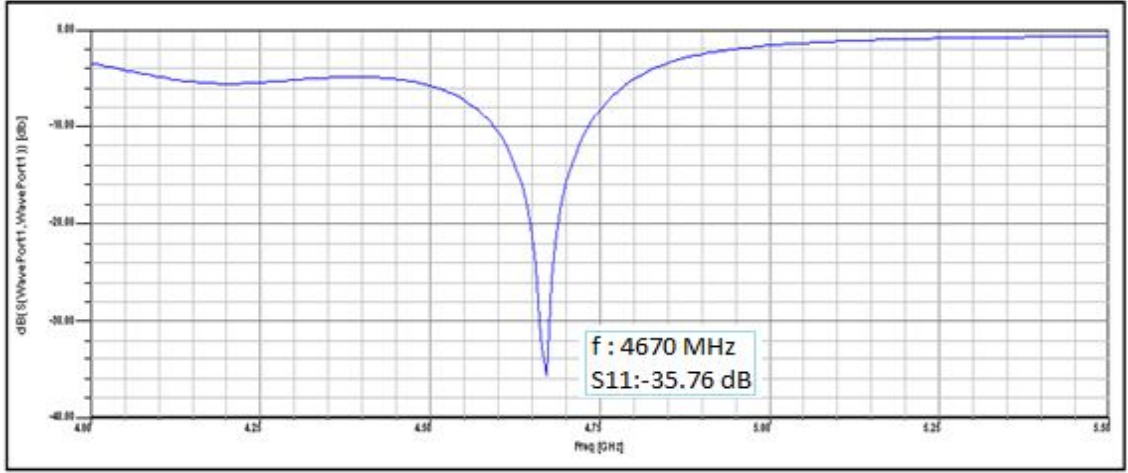
Şekil 4.35: 3000 MHz frekansında imalatı yapılan yama anten

Üçüncü olarak tasarımı yapılan 5000 MHz frekansındaki yama antenin simülasyon şekli Şekil 4.36'de, geri dönüş cevabı Şekil 4.37'da, 3D ışınma deseni Şekil 4.38'da ve imalatı yapılan anten ise Şekil 4.39'da verilmiştir.

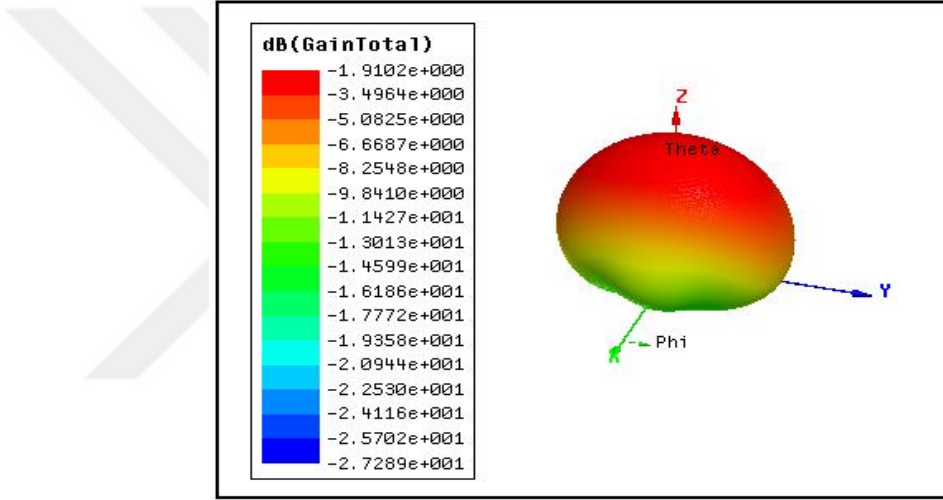


Şekil 4.36: 5000 MHz frekansında yama anten

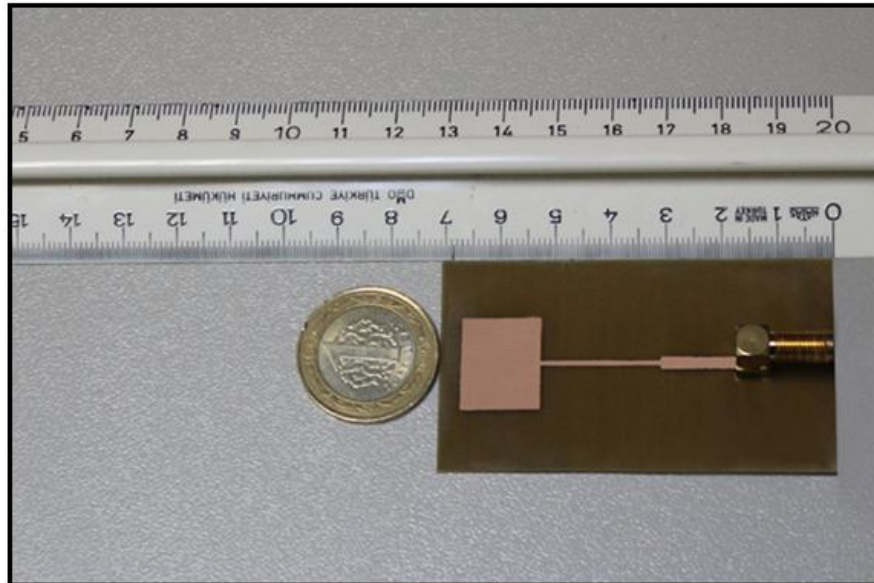




Şekil 4.37: 5000 MHz frekansında yama antenin geri dönüş cevabı

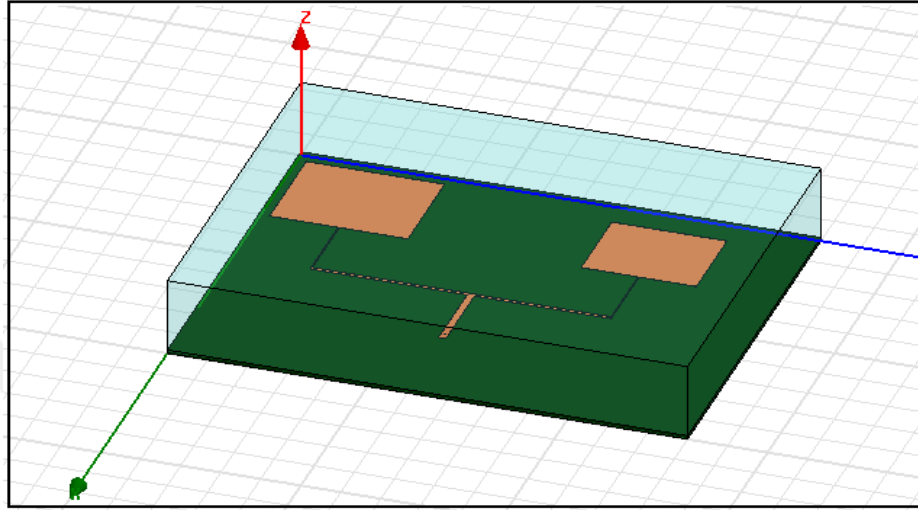


Şekil 4.38: 5000 MHz frekansında yama antenin HFSS simülasyon 3D ışınma deseni

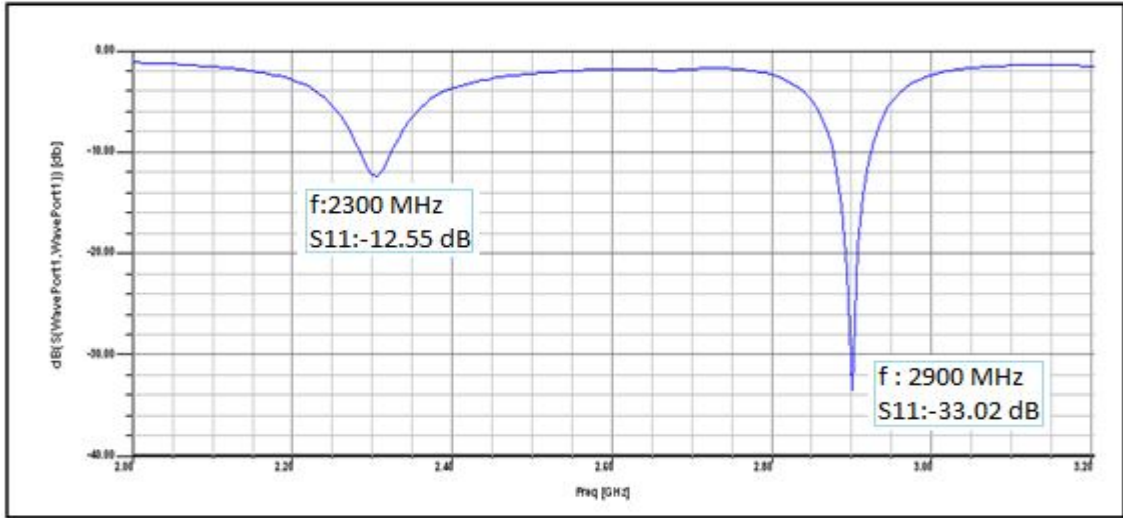


Şekil 4.39: 5000 MHz frekansında imalatı yapılan yama anten

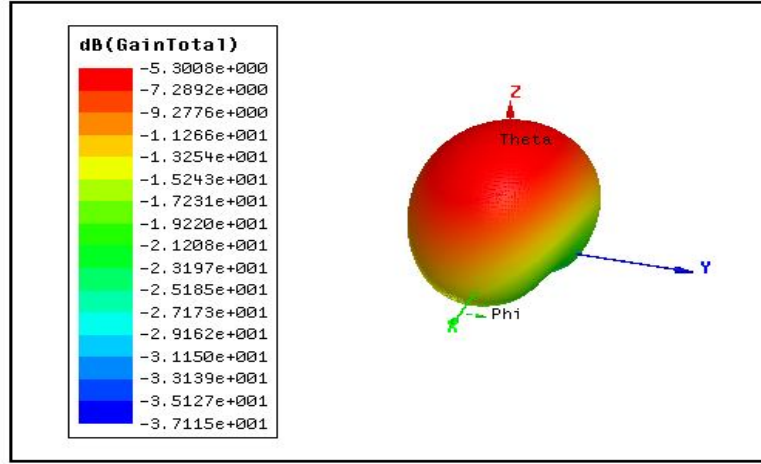
Tasarımın bu aşamasından sonra 1x2 dizi anten tasarımına geçilmiştir. 1x2 dizi anten tasarımında ilk olarak 2500-3000 MHz rezonans frekansında dizi tasarlanmıştır. HFSS Simülasyon programında yapılan 1x2 dizi yama antenin şekli Şekil 4.40'de, geri dönüş cevabı Şekil 4.41'de, 3D ışınım deseni Şekil 4.42'de ve imalatı yapılan anten ise Şekil 4.43'de verilmiştir.



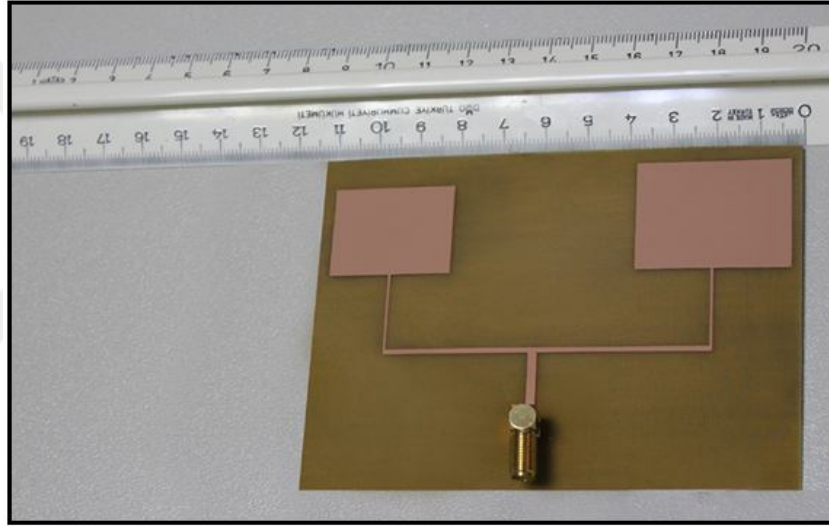
Şekil 4.40: 2500-3000 MHz Rezonans frekansındaki 1x2 dizi yama anten



Şekil 4.41: 2500-3000 MHz Rezonans frekansındaki 1x2 dizi yama antenin geri dönüş cevabı

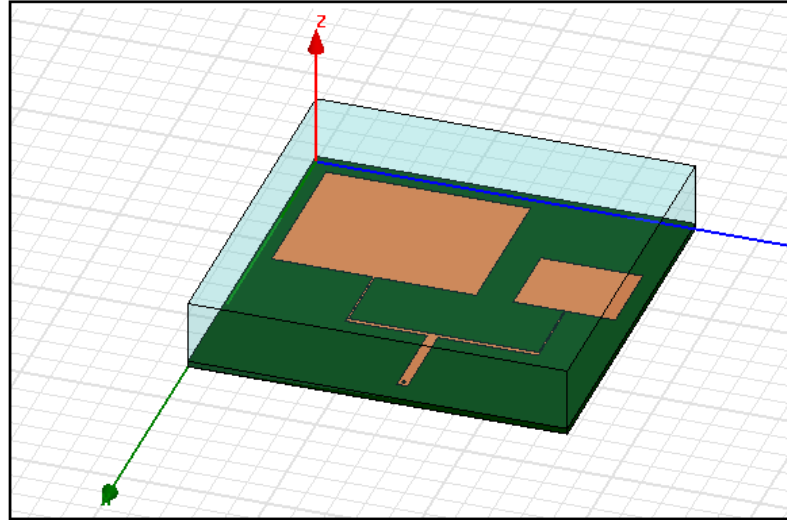


Şekil 4.42: 2500-3000 MHz Rezonans frekansındaki 1x2 dizi yama antenin HFSS simülasyon 3D ışınma deseni

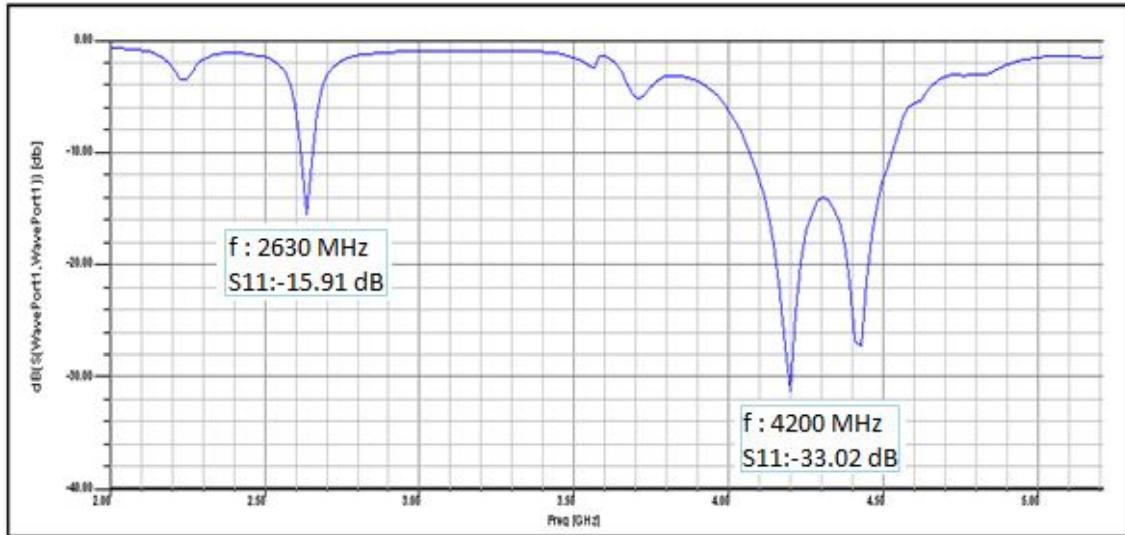


Şekil 4.43: 2500-3000 MHz Rezonans frekansındaki imalatı yapılan 1x2 dizi yama anten

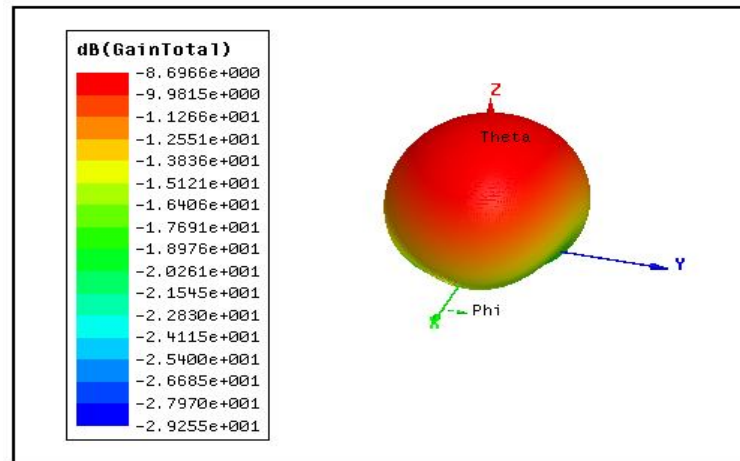
1x2 Dizi tasarımının ikinci sırasında 2500-5000 MHz rezonans frekansındaki dizi gelmektedir. HFSS Simülasyon programında yapılan 1x2 dizi yama antenin şekli Şekil 4.44'de, geri dönüş cevabı Şekil 4.45'de, 3D ışınma deseni Şekil 4.46'da ve imalatı yapılan anten ise Şekil 4.47'de verilmiştir.



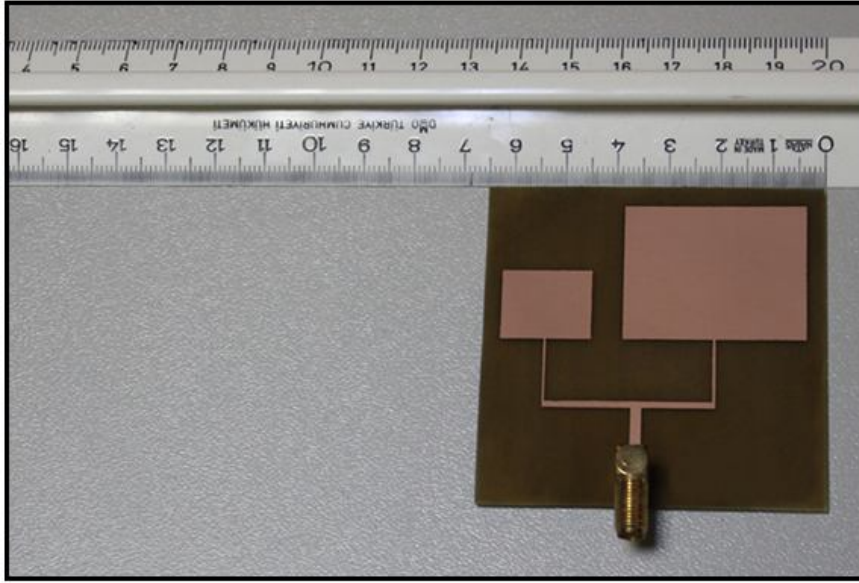
Şekil 4.44: 2500-5000 MHz rezonans frekansındaki 1x2 dizi yama anten



Şekil 4.45: 2500-5000 MHz rezonans frekansındaki 1x2 dizi yama antenin geri dönüş cevabı

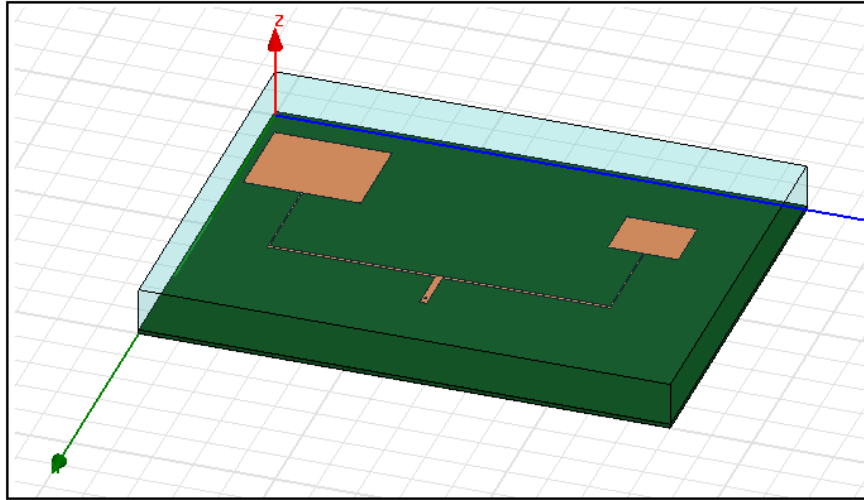


Şekil 4.46: 2500-5000 MHz rezonans frekansındaki 1x2 dizi yama antenin HFSS 3D ışınma deseni

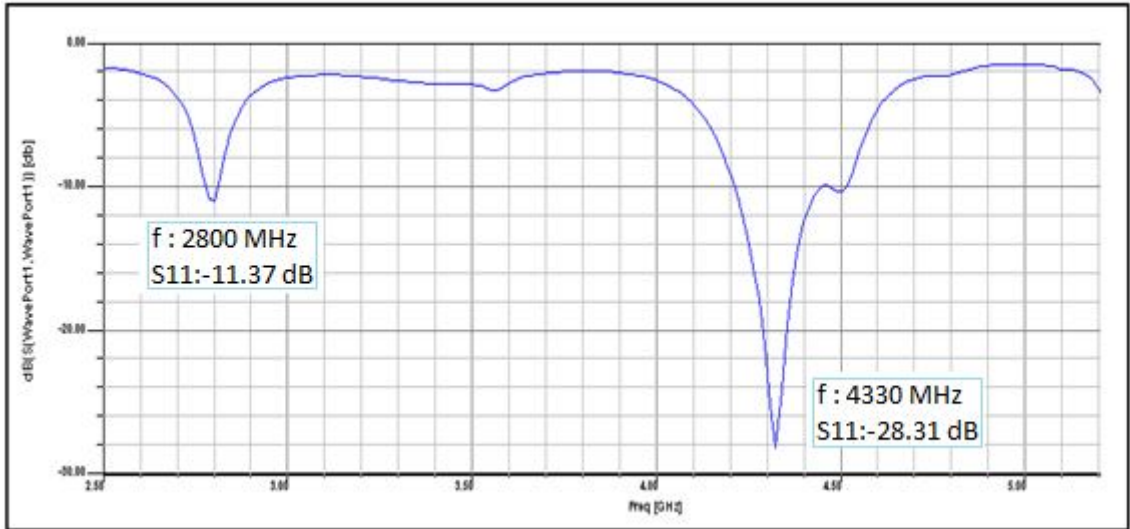


Şekil 4.47: 2500-5000 MHz rezonans frekansındaki imalatı yapılan 1x2 dizi yama anten

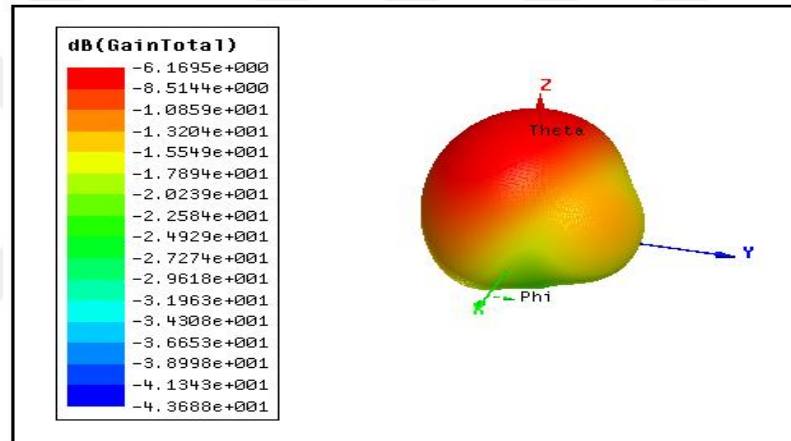
1x2 Dizi tasarımının üçüncü sırasında 3000-5000 MHz rezonans frekansındaki dizi gelmektedir. HFSS Simülasyon programında yapılan 1x2 dizi yama antenin şekli Şekil 4.48’de, geri dönüş cevabı Şekil 4.49’de, 3D ışınma deseni Şekil 4.50’de ve imalatı yapılan anten ise Şekil 4.51’de verilmiştir.



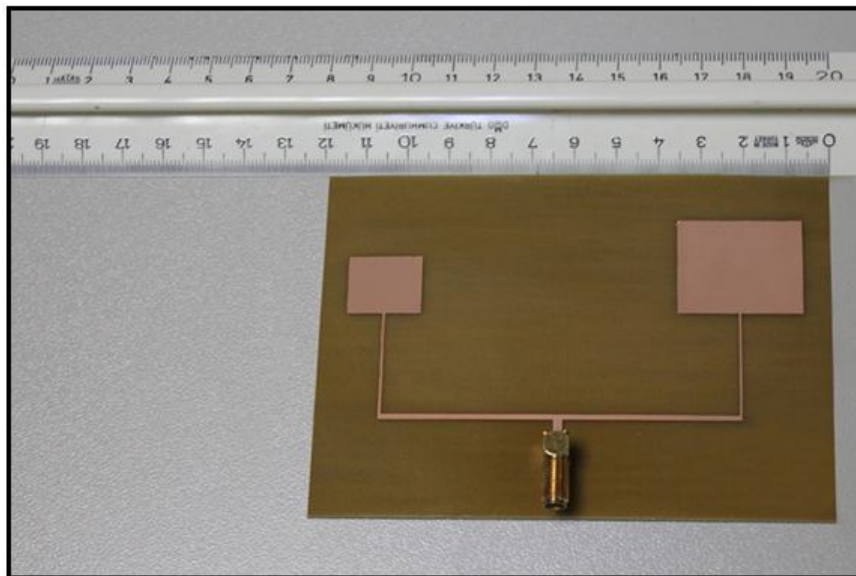
Şekil 4.48: 3000-5000 MHz rezonans frekansındaki 1x2 dizi yama anten



Şekil 4.49: 3000-5000 MHz rezonans frekansındaki 1x2 dizi yama antenin geri dönüş cevabı

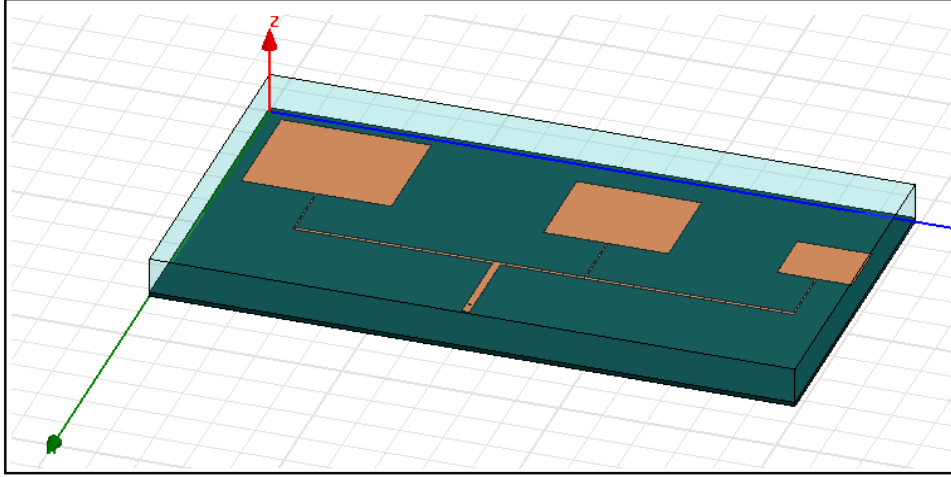


Şekil 4.50: 3000-5000 MHz rezonans frekansındaki 1x2 dizi yama antenin HFSS 3D ışıma deseni

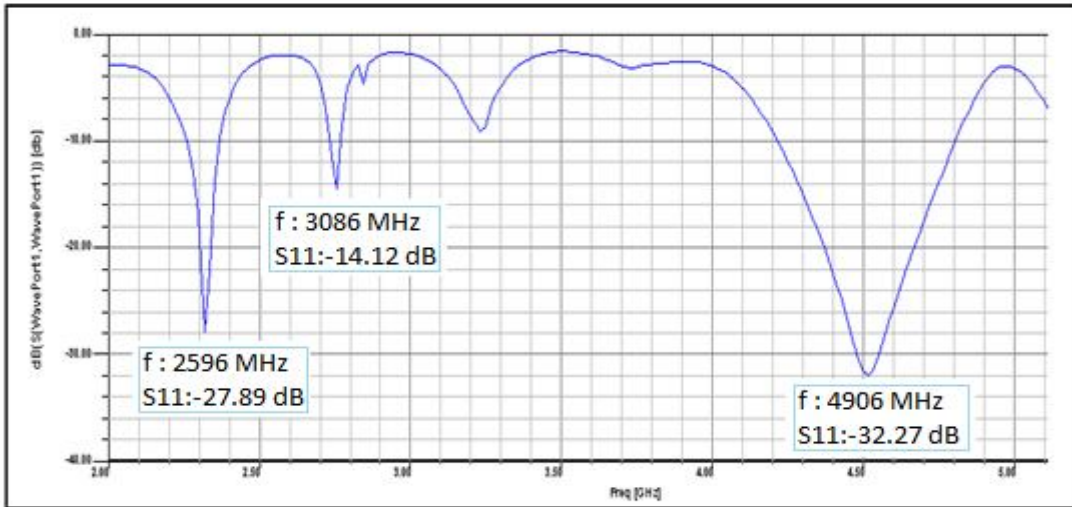


Şekil 4.51: 3000-5000 MHz rezonans frekansındaki imalatı yapılan 1x2 dizi yama anten

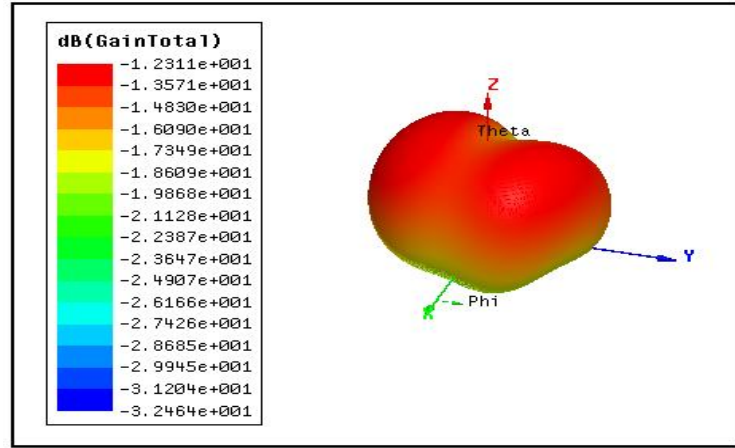
Tasarımın son aşamasında 2500-3000-5000 MHz rezonans frekansında 1x3 dizi yama anten tasarlanmıştır. HFSS Simülasyon programında yapılan 1x3 dizi yama antenin şekli Şekil 4.52’de, geri dönüş cevabı Şekil 4.53’de, 3D ışınım deseni Şekil 4.54’da ve imalatı yapılan anten ise Şekil 4.55’de verilmiştir.



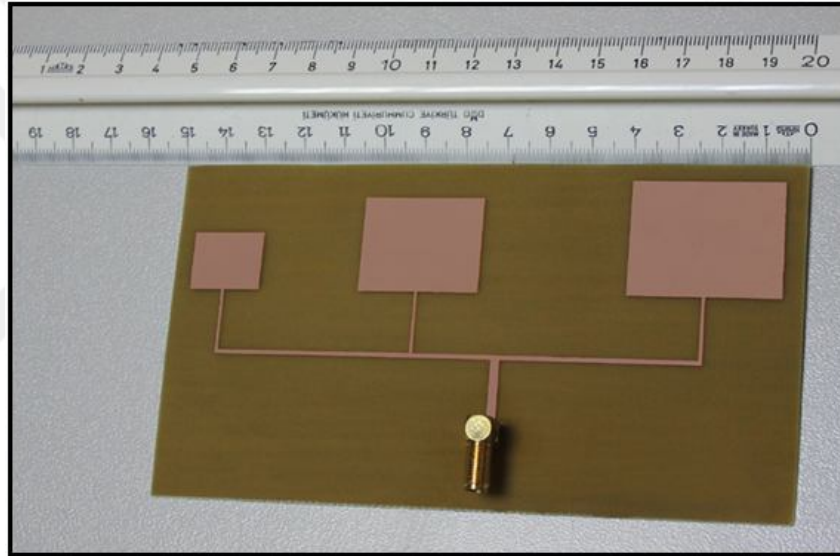
Şekil 4.52: 2500-3000-5000 MHz rezonans frekansındaki 1x3 dizi yama anten



Şekil 4.53: 2500-3000-5000 MHz rezonans frekansındaki 1x3 dizi yama antenin geri dönüş cevabı



Şekil 4.54: 2500-3000-5000 MHz rezonans frekansındaki 1x3 dizi yama antenin HFSS simülasyon 3D ışınma deseni



Şekil 4.55: 2500-3000-5000 MHz rezonans frekansındaki imalatı yapılan 1x3 dizi yama anten

Tasarlanan antenlerin simülasyon değerleri Çizelge 4.22’de ve imalat ölçüm değerleri Çizelge 4.23’de verilmiştir.



Çizelge 4.22: Tasarım ve üretimleri yapılan antenlerin simülasyon sonuçları

Sıra	Yama Tipi	$f_r$ (MHz)	$S_{11}$ (dB)	$f_s$ (MHz)	BW (MHz)
1	Tekli Yama	2500	-18,81	2290	70
2		3000	-40,00	2940	90
3		5000	-35,76	4670	140
4	İkili Yama	<b>2500-3000</b>			
		2500	-12,55	2300	50
		3000	-33,76	2900	40
5		<b>2500-5000</b>			
		2500	-15,91	2630	40
		5000	-33,02	4200	460
6	Üçlü Yama	<b>3000-5000</b>			
		3000	-11,37	2800	40
		5000	-28,31	4330	250
7	Üçlü Yama	<b>2500-3000-5000</b>			
		2500	-27,89	2596	100
		3000	-14,42	3086	50
		5000	-32,27	4906	600

Çizelge 4.23: Tasarım ve üretimleri yapılan antenlerin ölçüm sonuçları

Sıra	Yama Tipi	$f_r$ (MHz)	$S_{11}$ (dB)	$f_b$ (MHz)	BW (MHz)
1	Tekli Yama	2500	-24,27	2590	70
2		3000	-19,80	3000	54
3		5000	-33,00	5110	127
4	İkili Yama	<b>2500-3000</b>			
		2500	-35,50	2536	78
		3000	-24,50	3140	66
5		<b>2500-5000</b>			
		2500	-17,25	2790	6,5
		5000	-25,75	5000	245
6	Üçlü Yama	<b>3000-5000</b>			
		3000	-14,00	3085	53
		5000	-30,00	5390	190
7	Üçlü Yama	<b>2500-3000-5000</b>			
		2500	-11,78	2595	30
		3000	-39,43	3095	113
		5000	-13,52	4910	65

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Tez kapsamında yapılan tüm simülasyon ve ölçümler sonucunda tasarlanan mikroşerit antenler için elektriksel parametrelerin iyileştirilmesine dair çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmalarda yaklaşık 250 anten simülasyonu gerçekleştirilmiş ve bunlar içerisinde en iyi sonuç veren 22 antenin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen antenlerin ölçümleri alınmış ve simülasyonları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bunların yanında, toplamda 122 simülasyon verisi ve 15 deneysel veri ile oluşturulan ÇKP-YSA ağ yapısı seti, Levenberg-Marquardt eğitim algoritması ile eğitilmiş ve rezonans frekansı, geri dönüş cevabı ve bant genişliği gibi parametreler test edilerek hesaplanmıştır. Sonuçlar ise deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

WiMax kablosuz internet erişimi için 2500 MHz frekansında tasarlanan tek yama temel MŞA simülasyon uygulaması sonucu 2550 MHz rezonans frekansında -15.2 dB geri dönüş kaybında ve 22 MHz bant genişliğine sahip sinyal elde edilmiştir. Dizi oluşturulması sonucu elde edilen 1x4 dizi MŞA simülasyonunda ise 2420 MHz rezonans frekansında, geri dönüş kaybının -19 dB ve bant genişliğinin 63 MHz olduğu görülmüştür.

Elektriksel parametrelerin iyileştirme için Şekil 4.7'deki 1x4 mikroşerit dizi yama anten tasarımı kullanılmıştır. Tasarımda  $L_s$  besleme uzunluk değerleri 13-16 mm aralığında 0.5 mm kademelerinde,  $W_s$  besleme kalınlık değeri ise 1-1.5 mm aralığında 0.05 mm kademelerinde değişim yapılarak 77 adet mikroşerit dizi anten elde edilmiş ve simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir. Çizelge 4.3'den de görüleceği üzere en iyi merkez frekansı  $L_s$ 'nin 15.5 mm ve  $W_s$ 'nin 1.10 mm boyutlarındaki 20 numaralı tasarımda elde edilmiştir. 2520 MHz frekansında geri dönüş kaybının -33 dB, bant genişliğinin 62 MHz olduğu ve diğer elektriksel parametrelerinde ışına için uygun bir formda olduğu görülmektedir. Band genişliği bakımından çizelge incelendiğinde  $L_s$ 'nin 15.0 mm ve  $W_s$ 'nin 1.00 mm boyutlarındaki 33 numaralı tasarımda en yüksek sonuç elde edilmiştir. Band genişliğinin 80 MHz olduğu 33 numaralı tasarımda, rezonans frekansının 2640 MHz, geri dönüş kaybının -20 dB olduğu görülmektedir. Çizelgeyi geri dönüş kaybı yönünden incelediğimizde,  $L_s$ 'nin 15.5 mm ve  $W_s$ 'nin 1.00 mm

boyutlarındaki 22 numaralı tasarımda geri dönüş kaybının -49.28 dB ile en büyük değerde olduğu görülmektedir. Bu tasarımda merkez frekansın 2540 MHz'de ve band genişliğinin de 62 MHz olduğu görülmektedir.

Merkez frekansı, band genişliği ve geri dönüş kaybının her birisi için en iyi değerli tasarımlar bir önceki paragrafta verilmişse de haberleşmede anten performansı elektriksel parametrelerin bütünlüğünden oluşur. Bu sebeple  $L_s$ 'nin her bir değeri için elektriksel parametrelerin tamamı düşünüldüğünde en iyi performans veren  $W_s$  kademeleri belirlenmiştir. Çizelge 4.3'de 6, 22, 23, 37, 46, 56 ve 67 numaralı antenler en iyi performans veren antenler tespit edilmiş ve üretimleri yapılmak üzere ayrılmıştır. 6 numaralı tasarımda merkez frekansın 2640 MHz, band genişliğinin 75 MHz ve geri dönüş kaybının -38 dB olduğu, 22 numaralı tasarımda merkez frekansın 2540 MHz, band genişliğinin 62 MHz ve geri dönüş kaybının -49.25 dB olduğu, 23 numaralı tasarımda, merkez frekansın 2660 MHz, band genişliğinin 72 MHz ve geri dönüş kaybının -32 dB olduğu, 37 numaralı tasarımda, merkez frekansın 2660 MHz, band genişliğinin 72 MHz ve geri dönüş kaybının -23.62 dB olduğu, 46 numaralı tasarımda, merkez frekansın 2610 MHz, band genişliğinin 67 MHz ve geri dönüş kaybının -32.24 dB olduğu, 56 numaralı tasarımda, merkez frekansın 2580 MHz, band genişliğinin 52 MHz ve geri dönüş kaybının -21 dB olduğu, 67 numaralı tasarımda, merkez frekansın 2660 MHz, band genişliğinin 73 MHz ve geri dönüş kaybının -17.56 dB olduğu görülmüştür.

6, 22, 23, 37, 46, 56, 67 numaralı tasarımların imalatları gerçekleştirilerek network analizör cihazında ölçümleri yapılmış ve ölçüm sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir. Ölçüm sonucunda 1 numaralı üretimde merkez frekansının 2580 MHz, band genişliğinin 85 MHz ve geri dönüş kaybının -15.20 dB olduğu, 2 numaralı imalatta merkez frekansının 2612 MHz, band genişliğinin 77 MHz ve geri dönüş kaybının -14 dB olduğu, 3 numaralı imalatta merkez frekansının 2609 MHz, band genişliğinin 85 MHz ve geri dönüş kaybının -15 dB olduğu, 4 numaralı imalatta merkez frekansının 2594 MHz, band genişliğinin 86 MHz ve geri dönüş kaybının -25 dB olduğu, 5 numaralı imalatta merkez frekansının 2610 MHz, band genişliğinin 92 MHz ve geri dönüş kaybının -22 dB olduğu, 6 numaralı imalatta merkez frekansının 2599 MHz, band genişliğinin 82 MHz ve geri dönüş kaybının -26 dB olduğu, 7 numaralı imalatta merkez frekansının 2600 MHz, band genişliğinin 178 MHz ve geri dönüş kaybının -22.50 dB olduğu görülmüştür.

Ku Band haberleşmesi için 16 GHz frekansında tasarlanan temel mikroşerit yama anten simülasyon uygulaması sonucu 15.70 GHz rezonans frekansında, -18.60 dB geri dönüş kaybında ve 440 MHz band genişliğine sahip sinyal elde edilmiştir. Oluşturulan 1x2 dizi antende simülasyon uygulaması sonucu ise 16.15 GHz rezonans frekansında, -14 dB geri dönüş kaybında ve 250 MHz band genişliğine sahip sinyal elde edilmiştir. Simülasyonu oluşturulan 1x4 dizi yama antenin geri dönüş cevabının 16.12 GHz frekansında -38 dB olduğu, band genişliği ise 460 MHz olduğu görülmüştür.

Elektriksel parametrelerin iyileştirme için Şekil 4.19'deki 1x4 mikroşerit dizi yama anten tasarım yapısı kullanılmıştır. Öncelikle  $L_{s1}$  uzunluğu 3.7594 mm den başlayarak 2.6316 mm ye kadar 0.3759 mm küçülterek ve her bir  $L_{s1}$  değeri için  $W_s$  kalınlıklarını 0.30 mm'den 0.70 mm'ye kadar 0.04 mm artırarak ilk iyileştirme yapılarak 44 dizi yama anten tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Simülasyon sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.12'de verilmiştir. Çizelge 4.12 incelendiğinde  $L_{s1}$  uzunluğunun 3.3835 mm değerinde tasarlanan antenlerin elektriksel parametrelerin daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bundan dolayı iyileştirmenin ikinci aşamasında  $L_{s1}$  uzunluğu 3.3835 mm değerinde sabit tutularak ara uzunluk olan  $L_{s2}$  değerini 3.4267 mm'den 1.8267 mm'ye kadar 0.4 mm aralılarla değiştirilerek ve besleme kalınlıklarını 0.38 mm'den 0.70 mm'ye kadar 0.04 mm aralılarla değiştirilerek iyileştirme işlemine devam edilmiştir. Bu amaçla HFSS Simülasyon Programında yeni 47 anten tasarımı yapılmıştır. Tasarımın son grubunda yani  $L_{s2}=1.8267$  mm değerinde en iyi sonuçlar kalınlığın minimum noktasında çıktığı için iki adım daha kalınlık değerini küçülterek iyileştirme yapılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucu simülasyondan alınan veri değerleri Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13 incelendiğinde en iyi merkez frekansının,  $L_{s2}$ 'nin 3.4267 mm ve  $W_s$ 'nin 0.66 mm olduğu 8 numaralı antende 16.005 GHz'de olduğu görülmektedir. Çizelge 4.13 band genişliği bakımından incelendiğinde,  $L_{s2}$ 'nin 3.4267 mm ve  $W_s$ 'nin 0.50 mm olduğu 4 numaralı antende band genişliğinin 698 MHz olduğu görülmektedir. Çizelge 4.13 geri dönüş kaybı bakımından incelendiğinde,  $L_{s2}$ 'nin 3.4267 mm ve  $W_s$ 'nin 0.70 mm olduğu 9 numaralı antende geri dönüş kaybının -56.216 dB olduğu görülmektedir.  $L_{s2}$ 'nin her bir değeri için en iyi elektriksel parametrelerin elde edildiği 9, 14, 20, 22, 29, 30, 38 ve 39 numaralı antenler üretimleri ve ölçümleri yapılmak üzere seçilmiştir. Bu antenler Çizelge 4.14'de verilmiştir. 9 numaralı tasarımda merkez frekansın 15.995 GHz, band genişliğinin

510 MHz ve geri dönüş kaybının  $-56.22$  dB olduğu, 14 numaralı tasarımda merkez frekansın 16.065 GHz, band genişliğinin 490 MHz ve geri dönüş kaybının  $-42.15$  dB olduğu, 20 numaralı tasarımda merkez frekansın 16.065 GHz, band genişliğinin 480 MHz ve geri dönüş kaybının  $-38.34$  dB olduğu, 22 numaralı tasarımda merkez frekansın 16.045 GHz, band genişliğinin 430 MHz ve geri dönüş kaybının  $-25.21$  dB olduğu, 29 numaralı tasarımda merkez frekansın 16.115 GHz, band genişliğinin 430 MHz ve geri dönüş kaybının  $-24.69$  dB olduğu, 30 numaralı tasarımda merkez frekansın 16.125 GHz, band genişliğinin 380 MHz ve geri dönüş kaybının  $-20.33$  dB olduğu, 38 numaralı tasarımda merkez frekansın 16.155 GHz, band genişliğinin 450 MHz ve geri dönüş kaybının  $-35.9$  dB olduğu, 39 numaralı tasarımda merkez frekansın 16.135 GHz, band genişliğinin 410 MHz ve geri dönüş kaybının  $-23.53$  dB olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.14 ile verilen ve 1 numaralı imalatta merkez frekansın 15.046 GHz, band genişliğinin 164 MHz ve geri dönüş kaybının  $-21.79$  dB olduğu, 2 numaralı imalatta merkez frekansın 15.088 GHz, band genişliğinin 129 MHz ve geri dönüş kaybının  $-45.25$  dB olduğu, 3 numaralı imalatta merkez frekansın 14.960 GHz, band genişliğinin 220 MHz ve geri dönüş kaybının  $-45.25$  dB olduğu, 4 numaralı imalatta merkez frekansın 15.037 GHz, band genişliğinin 120 MHz ve geri dönüş kaybının  $-41.97$  dB olduğu, 5 numaralı imalatta merkez frekansın 15.030 GHz, band genişliğinin 136 MHz ve geri dönüş kaybının  $-19.19$  dB olduğu, 6 numaralı imalatta merkez frekansın 15.118 GHz, band genişliğinin 226 MHz ve geri dönüş kaybının  $-25.74$  dB olduğu, 7 numaralı imalatta merkez frekansın 15.104 GHz, band genişliğinin 194 MHz ve geri dönüş kaybının  $-29.53$  dB olduğu, 8 numaralı imalatta merkez frekansın 15.076 GHz, band genişliğinin 143 MHz ve geri dönüş kaybının  $-54.97$  dB olduğu görülmüştür.

2500 ve 16000 MHz frekanslarında 1x4 dizi yama anten elektriksel parametrelerinin iyileştirilmesi için YSA kullanılmıştır. Anten verileri, tek çıkışlı ve üç çıkışlı iki ayrı ÇKP yapısı ile her iki frekans çalışması için kullanılarak eğitilmiştir.

2500 MHz 1x4 dizi yama anten için yapılan tek çıkışlı ÇKP-YSA ağ yapısı 70 adet simülasyon verisi ile eğitilmiş, 7 adet ölçüm verisi ile ise test edilmiştir. Bu sonuçlara göre tek çıkışlı yapı için;  $f_r$ ,  $S_{11}$  ve BW toplam mutlak hata test sonucu sırasıyla 0.0024, 0.0098 ve 0.1 olarak bulunmuştur. Üç çıkışlı yapı için ise,  $f_r$ ,  $S_{11}$  ve

BW toplam mutlak hata test sonucu sırasıyla 0.0435, 0.0001 ve 16 olarak bulunmuştur.

16000 MHz 1x4 dizi yama anten için yapılan tek çıkışlı ÇKP-YSA ağ yapısı 47 adet simülasyon verisi ile eğitilmiş, 8 adet ölçüm verisi ile ise test edilmiştir. Bu sonuçlara göre tek çıkışlı yapı için;  $f_r$ ,  $S_{11}$  ve BW toplam mutlak hata test sonucu sırasıyla 0.0007, 0.019 ve 2.1 olarak bulunmuştur. Üç çıkışlı yapı için ise,  $f_r$ ,  $S_{11}$  ve BW toplam mutlak hata test sonucu sırasıyla 0.003, 0.0192 ve 7.6 olarak bulunmuştur.

Sonuçlar değerlendirildiğinde YSA sonuçları, ÇKP-YSA ağ yapısı çıkış parametreleri olan; rezonans frekansı, geri dönüş cevabı ve bant genişliği ölçüm sonuçlarına oldukça yakın sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Tezde yapılan son çalışmada, 3 farklı rezonansta çalışabilen 1x3 mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. 2500 MHz, 3000 MHz ve 5000 MHz rezonans frekanslarında iletim gerçekleştirebilecek farklı fiziksel özelliklere sahip yamalarla gerçekleştirilmiştir.

Bunun için önce 2500-3000-5000 GHz frekanslarında tekli mikroşerit yama anten, sonrasında 2500-3000 MHz, 2500-5000 MHz, 3000-5000 MHz rezonans frekanslarında 2x1 mikroşerit yama antenler tasarlanmış ve sonunda da 2500-3000-5000 MHz rezonans frekansında iletim yapabilen 1x3 mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. Tasarlanan anten simülasyon sonuçları Çizelge 4.22’de verilmiştir.

2500 MHz’de tek yama olarak tasarlanan anten simülasyonunda merkez frekansının 2290 MHz’de, band genişliğinin 70 MHz olduğu, geri dönüş kaybının ise 18.81 dB olduğu görülmüştür. 3000 MHz’de tek yama olarak tasarlanan anten simülasyonunda merkez frekansının 2940 MHz’de, band genişliğinin 90 MHz olduğu, geri dönüş kaybının ise 40 dB olduğu görülmüştür. 5000 MHz’de tek yama olarak tasarlanan anten simülasyonunda merkez frekansının 4670 MHz’de, band genişliğinin 140 MHz olduğu, geri dönüş kaybının ise 35.76 dB olduğu görülmüştür. 2500-3000 MHz frekansında çalışan 1x2 mikroşerit dizi antenin simülasyonunda merkez frekansların 2300-2900 MHz de olduğu, band genişliklerinin 50-40 MHz olduğu, geri dönüş kayıplarının ise (-12.55)-(-33.76) dB olduğu görülmüştür. 2500-5000 MHz frekansında çalışan 1x2 mikroşerit dizi antenin simülasyonunda merkez frekansların 2630-4200 MHz’de olduğu, band genişliklerinin 40-460 MHz olduğu, geri dönüş kayıplarının ise (-15.91)-(-33.02) dB olduğu görülmüştür. 3000-5000 MHz frekansında çalışan 1x2 mikroşerit dizi antenin simülasyonunda merkez

frekansların 2800-4330 MHz'de olduğu, band genişliklerinin 40-250 MHz olduğu, geri dönüş kayıplarının ise (-11.37)-(-28.31) dB olduğu görülmüştür. 2500-3000-5000 MHz frekansında çalışan 1x3 mikroşerit dizi antenin simülasyonunda merkez frekansların 2310-2750-4570 MHz olduğu, band genişliklerinin 100-50-600 MHz olduğu, geri dönüş kayıplarının ise (-27.89)-(-14.42)-(-32.27) olduğu görülmüştür.

Üretimleri gerçekleştirilen antenler network analizörde ölçümleri yapılarak ölçüm sonuçları Çizelge 4.23'de verilmiştir. 2500 MHz'de tek yama olarak imalatı gerçekleştirilen anten ölçümünde merkez frekansının 2590 MHz'de, band genişliğinin 70 MHz olduğu, geri dönüş kaybının ise -24.27 dB olduğu görülmüştür. 3000 MHz'de tek yama olarak imalatı gerçekleştirilen anten ölçümünde merkez frekansının 3000 MHz, band genişliğinin 54 MHz olduğu, geri dönüş kaybının ise -40 dB olduğu görülmüştür. 5000 MHz'de tek yama olarak imalatı gerçekleştirilen anten ölçümünde merkez frekansının 5110 MHz, band genişliğinin 140 MHz olduğu, geri dönüş kaybının ise -35.76 dB olduğu görülmüştür. 2500-3000 MHz frekansında çalışan 1x2 mikroşerit dizi antenin ölçümünde merkez frekansların 2536-3140 MHz de olduğu, band genişliklerinin 78-66 MHz olduğu, geri dönüş kayıplarının ise (-12.55)-(-33.76) dB olduğu görülmüştür. 2500-5000 MHz frekansında çalışan 1x2 mikroşerit dizi antenin ölçümünde merkez frekansların 2790-5000 MHz de olduğu, band genişliklerinin 40-460 MHz olduğu, geri dönüş kayıplarının ise (-17.25)-(-25.75) dB olduğu görülmüştür. 3000-5000 MHz frekansında çalışan 1x2 mikroşerit dizi antenin ölçümünde merkez frekansların 3085-5390 MHz de olduğu, band genişliklerinin 6.5-245 MHz olduğu, geri dönüş kayıplarının ise (-11.37)-(-28.31) dB olduğu görülmüştür. 2500-3000-5000 MHz frekansında çalışan 1x3 mikroşerit dizi antenin ölçümünde merkez frekansların 2595-3095-4910 MHz de olduğu. band genişliklerinin 78-66 MHz olduğu. geri dönüş kayıplarının ise (-13)-(-26.5)-(-14) dB olduğu görülmüştür.

## 5.2 Öneriler

Bu tez çalışmasında genel itibari ile 1x4 MŞA yama antenlerin besleme yolu uzunlukları ve kalınlıkları değiştirilerek elektriksel parametrelerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda mümkün olduğunca çok anten dizisi tasarlanmış ve sonuçlar incelenmiştir.

2500 MHz frekansında Wi Max uygulamaları için yapılan tasarımda ve 16 GHz frekansında Ku band uygulamaları için tasarlanan anten çalışmalarında ampirik formüllere göre hesaplanan anten fiziksel boyutlara göre yaklaşık %18'lik bir küçülme meydana gelmiştir. Ayrıca fiziksel boyutlar küçülürken elektriksel parametrelerin de iyileştiği görülmüştür. Literatürde 2x2 yama dizilerinin elektriksel parametreleri daha iyi sonuç verirken besleme yolu kalınlıkları ve uzunlukları değiştirilerek 1x4 yama dizilerinin daha iyi performans izledikleri görülmüştür. Gelecek çalışmalarda tek tek onlarca anten tasarlama yerine yapay zeka teknikleri kullanılarak yeni bir anten tasarım programı geliştirilerek optimum besleme yolu kalınlık ve uzunlukları tespit edilebilir. Ayrıca bu çalışmalar artırılarak besleme yolu kalınlık ve uzunlukları ile ilgili bir ampirik formül elde edilebilir.

Bu tez ile yapılan son çalışmada farklı fiziksel boyutlar kullanılarak 2500-3000-5000 MHz frekansında üretilen 1x3 dizi anten de başarıyla uygulanarak literatüre kazandırılmıştır. Günümüzde çoklu frekanslarda kullanılan cihazların kullanımları arttıkça, kullanım yerlerine göre bu tip tasarımlar da kullanılabilecektir.



## KAYNAKLAR

- Abbak, M., Tekin, I., 2008, Microstrip patch antenna array for range extension of RFID applications , Antennas and Propagation Society International Symposium, 2008. AP-S 2008. IEEE
- Abdelaziz AA, 2008. A compact planar quad-frequency broad-band rectangular microstrip patch antenna. *Microw Opt Techn Let*, 50, 1, 22-4.
- Anguera J, Andujar A, Puente C, 2011. A Mechanism to Electrically Enlarge the Ground Plane of Handset Antennas: A Bandwidth Enhancement Technique. *Microw Opt Techn Let*, 53, 7, 1512-7.
- Ataş İ., Kurt MB., Ataş M., 2013, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, Cilt 4, Sayı 2, Sayfa 69-75, Kasım 2013, Diyarbakır
- Bahl I.J., Bhartia P., 1980, *Microstrip Antennas*, Dedham MA, Artech House, London.
- Balanis C. A., 1997, *Antenna theory Analysis and Design*, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York 1997.
- Balanis CA, 1982. *Antenna theory: analysis and design*
- Burr, D.J., 1987, Experiments With A Connectionist Text Reader, In *Proceedings of The First International Conference on Neural Networks*, pp. 717-724, San Diego, 1987.
- Carver K. R. and Mink J.W., 1981, *Microstrip Antenna Technology*, IEEE Trans, On Antennas and Propagation, Vol. AP-29, No. 1, Jan 1981, pp.24.
- Carver KR, Mink JW, 1981. *Microstrip Antenna Technology*. *Ieee T Antenn Propag*, 29, 1, 2-24.
- Chattopadhyay K, Mitra T, Das D, Das S, Chaudhuri SRB, *Bandwidth Enhancement of Hexagonal Wide Slot*
- Chen Z, Ban YL, Chen JH, Li JLW, Wu YJ, 2012. *Bandwidth Enhancement of Lte/Wan Printed Mobile Phone Antenna Using Slotted Ground Structure*. *Progress in Electromagnetics Research-Piers*, 129, 469-83.
- Chung KL, Chaimool S, 2012. *Broadside gain and bandwidth enhancement of microstrip patch antenna using a MNZ-metasurface*. *Microw Opt Techn Let*, 54, 2, 529-32.

- Clenet M, Ravipati CB, Shafai L, 1999. Bandwidth enhancement of U-slot microstrip antenna using a rectangular stacked patch. *Microw Opt Techn Let*, 21, 6, 393-5.
- Clenet M, Shafai L, 1999. Wideband single layer microstrip antenna for array applications. *Electronics Letters*, 35, 16, 1292-3.
- Çakır G., 2004, Gezin haberleşme sistemleri için hüzmeye yönlendirmeli mikroşerit dizi anten tasarımı: analitik hesaplamalar, bilgisayar benzetimleri ve ölçmeler, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2004.
- Çalışkan R, Gültekin SS, Uzer D, Dündar Ö, 2015. A Microstrip Patch Antenna Design for Breast Cancer Detection. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2905-11.
- Dastranj A, Abiri H, 2010. Bandwidth Enhancement of Printed E-Shaped Slot Antennas Fed by CPW and Microstrip Line. *IEEE Antenn Propag*, 58, 4, 1402-7.
- Derneryd A. G., 1975, Linear microstrip array antennas.
- Descamps, G.A., 1953., Microstrip Microwave Antennas, 3<sup>rd</sup> USAFSymp. Antennas,
- Dundar O, Selek H, Uzer D, Gultekin SS, (2011). Dikdörtgen Mikroşerit Antenlerde Toprak Boyutlarının Değiştirilmesinin Rezonans Frekansı ve Band Genişliğine Etkisi. 3. Ulusal Ereğli Tebliğ Günleri. Ereğli, Konya.
- Dundar O, Uzer D, Gultekin SS, Bayrak M, (2012). Effects of microstrip feed line width on  $1 \times 4$  rectangular microstrip antenna array electrical parameters and estimation with artificial neural networks. *Progress in Electromagnetic Research (PIERS)*. Kuala Lumpur, Malaysia: 656.
- Garg R., Bhartia P., Bahl I. and Ittipiboon A., 1995, Microstrip Antenna Design
- Genç A., Çağlar MF., 2014, 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference, IEEE 2014, SUI 2014
- Gultekin SS, Uzer D, 2011. Modelling of physical slot parameters with Artificial Neural Networks for U-slot rectangular microstrip patch antennas. *Scientific Research and Essays*, 6, 17, 3675-83.
- Gutton H., Baissinot G., 1955, Flataerialforultrahighfrequengies, Frengh Patent, No:703113
- Gültekin S.S., 2002, Çeşitli Mikroşerit Antenlerin Karakteristik Parametrelerinin Farklı Tipteki Algoritmalarla Eğitilen Yapay Sinir Ağları İle Hesaplanması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya , 2002.
- Hammerstad E., Bekkadal F., 1975. A Microstrip Handbook, ELA Breport, STF44A74169, University of Trondheim, Norway

- Handbook, Artech House. 293-296. (1995).
- Howell, J. Q. (1972). Microstrip antennas. In Antennas and Propagation Society
- Huang J, 1983. The Finite Ground Plane Effect on the Microstrip Antenna Radiation-Patterns. *IEEE T Antenn Propag*, 31, 4, 649-53.
- Huynh MC, Stutzman W. Ground plane effects on planar inverted-F antenna (PIFA) performance. *Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings*, 209-13. International Symposium, 1972. AP-G. Digest, s. 177–180.
- Jacobs R.A., 1988, Increased Rate of Convergence Through Learning Rate Adaptation, *Neural Networks*, 1, s. 295-307, 1988.
- James H., 1989, *Handbook of Microstrip Antennas*, 1989, London.
- Kaya A, Kilinc S, Yuksel EY, Cam U, 2004. Bandwidth enhancement of a microstrip antenna using negative inductance as impedance matching device. *Microw Opt Techn Let*, 42, 6, 476-8.
- Kaya A., Yüksel Y., “Mikroşerit düzlemsel dizi antenlerde empedans band genişliğinin negatif kapasitans kullanılarak artırılması” 2004.
- Khan O. M., Ahmad Z., Islam Q., 2007, “Ku Band Microstrip Patch Antenna Array”, 2007, *IEEE*, 1-4244-1494-6/07
- Kim D., Kim M., Tanaka M., Matsugatani K., 2006, A broadband planar patch array resonator antenna, *Microwave Conference, 2006. APMC 2006. Asia-Pacific, IEEE*
- Latif SI, Shafai L, Sharma SK, 2005. Bandwidth enhancement and size reduction of microstrip slot antennas. *IEEE T Antenn Propag*, 53, 3, 994-1003.
- Levenberg K., 1944, A Method For the Solution of Certain Nonlinear Problems in Least Squares, *Quart. Appl. Math.*, 2, s. 164-168, 1944.
- Lin SJ, Row JS, 2008. Bandwidth enhancement for dual-frequency microstrip antenna with conical radiation. *Electronics Letters*, 44, 1, 2-U3.
- Lindberg P, Ojefors E, 2006. A bandwidth enhancement technique for mobile handset antennas using wavetraps. *IEEE T Antenn Propag*, 54, 8, 2226-33.
- Malekpoor H, Jam S, 2015. Analysis on bandwidth enhancement of compact probe-fed patch antenna with equivalent transmission line model. *Microwaves Antennas & Propagation*, 9, 11, 1136-43.
- Marquardt D.W., 1963, An Algorithm For Least-Squares Estimation Of Nonlinear Parameters, *J. Soc. Ind. Appl. Math.*, 11, s. 431-441, 1963.

- Minai A.A., Williams, R.D., "Acceleration of Backpropagation Through Learning Rate and Momentum Adaptation", International Joint Conference on Neural Networks, 1, s. 676-679, 1990.
- Munson R., "Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 22:74-78, 1974.
- NeuralWare Handbook, "Neural Computing: A Technology Handbook for Professional II/PLUS and NeuralWorks Explorer, Pittsburgh. USA., 1996.
- Noh H.S., Yun J.S., Kim J.M., Jeon S., "Microstrip patch array antenna with high gain and wideband for Tx/Rx dual operation at Ku-band", Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE, 2004.
- Olyphant Jr.M. and Nowicki T.E., Microwave substrates support technology, Microwaves Part 1, 19:74-76, 1980.
- Özen B., Afacan E., 2014 Elektrik Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27-29 Kasım ELECO, 2014 Bursa
- Panayi P., Al-Nuaimi M., Ivrisimtzis L., "Tuning techniques for the planar inverted-F antenna", Antennas and Propagation, IEE National Conference, 259-62, 1999.
- Paul L.C., Mowla M., Rasid M.U., Morshed M., 2016, 3rd International Conferance on Elektrical, Elektronics Engineering Trends, Commnication, Optimization and Sciences EEECOS) 2016
- Pozar, D.M. 2005. Microwave Engineering, John Wiley & Sons, 691 s., USA.
- Ray KP, Kumar G, 2003. Broadband microstrip antennas, Boston and London, Artech House, Boston and London, p.
- Roy G.G., Chakraborty P.N. 2011., Desing of Non-Uniform Circular Antenna Arrays Using a Modified Invasive Weed Optimization Algorithm' IEEE Antennas and Propagation Magazine, 59, 110-118
- Sağiroğlu S., 1996, Identification of Lineer Dynamic Systems Using Multi- Perceptrons Layered, ISCIS XI, Antalya Turkey, 2, s. 517-526, Nov., 1996
- Sağiroğlu S.,1994, Modelling a Robot Sensor Using Artificial Neural Networks, PhD Thesis, University of Wales, Systems Engineering Department, Cardiff, UK., June 1994.
- Sainati R. A., 1996. CAD of Microstrip Antennas for Wireless Appligation, Artech House, London.

- Sanford, G. G. (1974), Conformal microstrip phased array for aircraft test with ats-6. In National Electronics Conference, 30 th, Chicago, Ill, Proceedings, volume 29, pp. 252–257.
- Sarıkaya N., Güney K., 2008, “Bulanık mantık sistemlerine dayalı uyarlanıır ağ ile eşkenar üçgen mikroşerit antenlerin rezonans frekansının hesaplanması”, Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 10. Kongresi, İTÜ, İstanbul, 2008.
- Schneider M., “Microstrip Lines for Microwave Integrated Circuits”, BellSyst, Tegh J., 48, pp.1421-1444, 1969.
- Shah M., Suaidi M.K., Aziz M., Rose M.R.C., Kadir M., Ja'afar A.S., Sidek, M., Rahim M.K.A., “Dual Polarization Microstrip Patch Array Antenna Telecommunication”, IST, IEEE, International Symposium, 2008.
- Tong KF, Luk KM, Lee KF, Lee RQ., “A broad-band U-slot rectangular patch antenna on a microwave substrate”, IEEE T Antenn Propagation, 48, 6, 954-60, 2000.
- Traut, G., “Clad laminates of ptfé composites for microwave antennas”, Microwave Journal, 23:47–51, 1980.
- Türkmen M., Yıldız C., Sağıroğlu Ş., “Sonsuz Uzunluktaki Dielektrik Tabana Sahip Geleneksel Eş Düzlemlı Dalga Kılavuzlarının Quasi-Statik Analizlerinin Yapay Sinir Ağları İle Gerçekleştirilmesi”, Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal kongresi, s389-392, 2003.
- Uğurlu E., “Çok Amaçlı Açıklığı Daralan Yarık Anten Tasarımı ve Performans Artırımına Yönelik Anten Parametrelerinin Optimizasyonu”, Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2016.
- Uzer D, Gültekin SS., “A New Seljuk Star Shape Microstrip Antenna Design”, 30th Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS), 2012, Kuala Lumpur, Malasia.
- Uzer D, Gültekin SS, Dündar O., “Estimation and Design of U-slot Physical Patch Parameters with Artificial Neural Networks”, 30th Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS), 2012, Kuala Lumpur, Malasia.
- Uzer D, Gültekin SS, 2015. An Investigation of Shorting Pin Effects on Circular Disc Microstrip Antennas. International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, 3, 3, 218-22.
- Uzer D, Gültekin SS, Uğurlu E, Dündar Ö, Top R, “Bandwidth Enhancement of Equilateral Triangle Microstrip Patch Antenna with Slot Loading and Dielectric

- Superstrate”, International Conference of Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN). 2015, Antalya, Türkiye.
- Uzer D, Uzer MS, Gultekin SS, Yilmaz N., “Effect of U-slot applications on circular microstrip patches modeling with artificial neural networks on impedance bandwidth”, 30th Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS), 2012, Kuala Lumpur, Malasia.
- Uzer D., 2016, Geniş Band Mikro Şerit Yama Anten Tasarımları İçin Uygun Yöntemlerin Araştırılması, Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya, 2016.
- Uzer MS, Uzer D, Yilmaz N, Gultekin SS., “Bandwidth Modeling of U-slot Rectangular Microstrip Antennas with Artificial Neural Networks”, 30th Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS), 2012, Kuala Lumpur, Malasia.
- Wahab N.A., Maslan Z.A., Muhamad W.N., Hamzah N., 2010, Second International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks
- [www.ansys.com/HFSS](http://www.ansys.com/HFSS) 2015, [www.figes.com](http://www.figes.com) 2015
- Yağcı B., Palamutcuoğlu O., Paker S., “Evre kaydırımlı mikroşerit yama anten dizili Ku band alıcı tasarımı”, İTÜ Dergisi, Cilt:4, Sayı:1, 43-49, İstanbul, 2005.
- Yazgan E, 2006, Mikroşerit Antenler. Elektrik Mühendisliği, 2006, 262-8.
- Yu A., Zhang X., 2002, “A broadband patch antenna array for wireless LANs”, Antennas and Propagation Society International Symposium, 2002. IEEE

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Özgür DÜNDAR  
**Uyruğu** : TC  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Konya, 29.07.1971  
**Telefon** : 505 632 82 02  
**Faks** :  
**e-mail** : ozdundar@konya.edu.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı. İlçe. İl	Bitirme Yılı
Lise	: Konya Gazi Lisesi, Meram, Konya	1988
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	1996
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2007
Doktora	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2017

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1993-1995	Kon Tv	Teknik Müdür
1995-1997	Belya AŞ	Müdür Yrd.
1997-2013	Selçuk Üniversitesi Ereğli MYO	Öğretim Görevlisi
2013-2016	Necmettin Erbakan Üniversitesi Ereğli MYO	Öğretim Görevlisi
2016-	Necmettin Erbakan Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fak. Uçak Müh. Böl.	Öğretim Görevlisi

### UZMANLIK ALANI

Mikrodalga, Mikroşerit Antenler, Elektromanyetik

## YABANCI DİLLER

### İngilizce

## YAYINLAR

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

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

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

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

Rabia Çalışkan, S. Sinan Gültekin , Dilek Uzer , **Özgür Dündar**, *A Microstrip Patch Antenna Design For Breast Cancer Detection*, Procedia – Social and Behavioral Science, Vol. 195, 2015, pp. 2905-2911

S. Sinan Gultekin,Dilek Uzer, **Ozgur Dundar**, *Calculation of Circular Microstrip Antenna Parameters with a Single Artificial Neural Network Model*, Progress in



Electromagnetic Research PIERS 2012, 27-30 Mar 2012, Kuala Lumpur, Malesia. pp: 545 – 548.

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

**Ozgun Dundar**, Dilek Uzer, S. Sinan Gultekin, Mehmet Bayrak, *Effects of Microstrip Feed Line Width on 1×4 Rectangular Microstrip Antenna Array Electrical Parameters and Estimation with Artificial Neural Networks*, Progress in Electromagnetic Research PIERS 2012, 27-30 Mar 2012, Kuala Lumpur, Malesia. pp 1341 – 1345. (Doktora tezinden yapılmıştır.)

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

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

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

Engin Yalçın, Yasemin Ülker, **Özgür Dünder**, *2. Nesil GÜdümlü Tanksavar Füzesi GÜdüm Parametrelerinin Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi*, 3. Ulusal Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksek Okulu Tebliğ Günleri, Konya, 2011

Serdar Kaçka, **Özgür Dünder**, Yıldray Keskin, Galip Oturanç, *Setting Up a High Performance Computing Environment in the Ereğli Kemal Akman Vocational School* ,

Selcuk Journal Of Applied Mathematics Special Issue, Selcuk University, Konya, Turkey, 2010

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

**Özgür Dündar**, S.Sinan Gültekin, *L Band Erbium Katkılı Fiber Yükselteçlerin İki Yönlü Analizi ve Yapay Sinir Ağları ile Kazanç Tahmini*, 1. Ulusal Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksek Okulu Tebliğ Günleri, Konya, 2009 (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)