



T.C.

ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği

**SİNYAL İSTİHBARATI KAPSAMINDA
TELSİZ YÖN TESPİTİ VE KÜÇÜK
SEVİYE BİRLİK KOMUTANI İÇİN
MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI**

Sertaç DEĞİRMENCİ

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Dr. Sefer KURNAZ

İstanbul, 2021

SİNYAL İSTİHBARATI KAPSAMINDA TELSİZ YÖN TESPİTİ VE KÜÇÜK SEVİYE BİRLİK KOMUTANI İÇİN MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

Sertaç DEĞİRMENCİ

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği

Yüksek Lisans Tezi

ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ

2021

“Sertaç DEĞİRMENCİ” tarafından hazırlanmış ve 24.06.2021 tarihinde sunulmuş “SİNYAL İSTİHBARATI KAPSAMINDA TELSİZ YÖN TESPİTİ VE KÜÇÜK SEVİYE BİRLİK KOMUTANI İÇİN MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI” başlıklı tez Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak **oy birliği/oy çokluğu** ile kabul edilmiştir.

Akademik Ünvan Adı SOYADI	Dr. Sefer KURNAZ
Eş Danışman	Danışman
Tez Savunma Sınavı Jüri Üyeleri:	
Dr. Sefer KURNAZ	Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Altınbaş Üniversitesi
Prof.Dr. Ahmet Mesut RAZBONYALI	Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maltepe Üniversitesi
Prof.Dr. Osman Nuri Uçan	Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Altınbaş Üniversitesi

Bu tezin..... tezi olarak bütün şartları sağladığını beyan ederim.

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü kabul tarihi: 20/ 06/ 2021

Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışlara uygun olarak edinildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde, bu çalışmada, orijinal olmayan tüm materyalleri ve sonuçları tamamen alıntı yaptığımı ve referans gösterdiğimi de beyan ederim.

Sertaç DEĞİRMENCİ

İTHAF

Sevgili eşim Senem ve biricik kızım Mila Balım'a...

Sertaç DEĞİRMENCİ



ÖZET

SİNYAL İSTİHBARATI KAPSAMINDA TELSİZ YÖN TESPİTİ VE KÜÇÜK SEVİYE BİRLİK KOMUTANI İÇİN MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

DEĞİRMENCİ, Sertaç

Yüksek Lisans, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği, Altınbaş Üniversitesi

Danışman : Dr.Sefer KURNAZ

Eş Danışman :

Tarih : Haziran/2021

Sayfa : 130

Bu çalışmada; istihbarat edinme yöntemlerinden sinyal istihbaratı ile ilgili bilgi verilmesini müteakip sinyal istihbaratının en önemli bölümünü oluşturan telsiz yön tespiti konusuna değinilmiş, yön tespit yöntemleri üzerinde durulmuştur. HFSS 15.0 (Yüksek Frekanslı Yapısal Simülatör) programı kullanılarak, küçük askeri birlik seviyesinde komutanın ihtiyaçları doğrultusunda, komutanın emir komuta ettiği birlik personelinin arazideki konumunu tespit edebilmesi maksadıyla, dost telsiz yön tespitinde kullanılacak mikroşerit anten tasarımı yapılmıştır. İlk olarak, hesaplanan boyutlar kullanılmak suretiyle tek yama anten tasarımı yapılmıştır. Tasarım sonucunda, geri dönüş kaybı (S11) -15,59 dB, kazancı 4,59 dB, yönlülük değeri 4,72 dB, merkez frekansı 9,9 GHz ve bant genişliği 308 MHz olan tek yama anten elde edilmiştir. Tasarlanan tek yama anten boyutlarında değişiklik yapılmak suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal anten elde edilmeye çalışılmıştır. Bu sayede, geri dönüş kaybı (S11) -24,60 dB, kazancı 7,49 dB, yönlülük değeri 7,57 dB, merkez frekansı 10 GHz ve bant genişliği 311 MHz olan tek yama anten elde edilmiştir. İkinci olarak, elde edilen en ideal tek yama anten

boyutlarından faydalanmak suretiyle 2x1 yama dizi anten tasarımı yapılmıştır. Tasarım sonucunda, geri dönüş kaybı (S11) -11,4132 dB, kazancı 10,2005 dB, yönlülük değeri 10,2166 dB, merkez frekansı 10,1 GHz ve bant genişliği 278 MHz olan 2x1 yama dizi anten elde edilmiştir. Tek yama antende olduğu gibi tasarımı yapılan 2x1 yama dizi antende de boyutlar değiştirilmek suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal anten elde edilmeye çalışılmıştır. Bu sayede, geri dönüş kaybı (S11) -24,7454 dB, kazancı 10,2365 dB, yönlülük değeri 10,2519 dB, merkez frekansı 10 GHz ve bant genişliği 458 MHz olan 2x1 yama dizi anten elde edilmiştir. Üçüncü olarak, elde edilen en ideal 2x1 yama dizi anten boyutlarından faydalanmak suretiyle 2x2 yama dizi anten tasarımı yapılmıştır. Tasarım sonucunda, geri dönüş kaybı (S11) -14,6091 dB, kazancı 13,7889 dB, yönlülük değeri 13,7532 dB, merkez frekansı 10,2 GHz ve bant genişliği 231 MHz olan 2x2 yama dizi anten elde edilmiştir. Tek yama anten ve 2x1 yama dizi antende olduğu gibi tasarımı yapılan 2x2 yama dizi antende de boyutlar değiştirilmek suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal anten elde edilmeye çalışılmıştır. Bu sayede, geri dönüş kaybı (S11) -24,3137 dB, kazancı 13,2953 dB, yönlülük değeri 13,2135 dB, merkez frekansı 10 GHz ve bant genişliği 264 MHz olan 2x2 yama dizi anten elde edilmiştir. Müteakiben, en ideal tek yama, 2x1 yama dizi ve 2x2 yama dizi antenler birbiriyle karşılaştırılmıştır. Son olarak, karşılaştırma sonucu diğer antenlere göre daha iyi değerlere sahip olduğu tespit edilen 5.4x6,5 cm boyutlarında 2x2 yama dizi antenin askeri üniformanın bir parçası olan kompozit başlığa entegre edilmesi ve elde edilen verinin akıllı gözlük vasıtasıyla, komutana anlık olarak iletilmesi planlanmıştır. Sonuçta, görüş şartlarının az ve ilerlemenin zor olduğu bir arazide, küçük seviye askeri birlik komutanının, kendi birlik personelinin istikametini tespit edebilmesi ve bu sayede dost ateşlerini doğru olarak planlaması, birliğine emir komuta imkân kabiliyetinin artması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sinyal İstihbaratı, Telsiz Yön Tespiti, Yama Dizi Anten, Küçük Seviye Askeri Birlik Komutanı,

ABSTRACT

SIGNALS INTELLIGENCE RADIO DIRECTION FINDING AND MICROSTRIP ANTENNA DESIGN FOR SMALL LEVEL FORCE COMMANDER

DEĞİRMENCİ Sertaç

M.Sc., Electrical and Computer Engineering, Altınbaş Üniversitesi

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Sefer KURNAZ

Co-Supervisor :

Date : July/2021

Pages : 130

In this study, after giving information about signal intelligence, which is one of the intelligence acquisition methods, the issue of radio direction finding, which is the most important part of signal intelligence, was mentioned and direction finding methods were emphasized. Using the HFSS 15.0 (High Frequency Structural Simulator) program, a microstrip antenna was designed to be used in friendly radio direction finding in order to determine the position of the unit personnel commanded by the commander in line with the needs of the commander at the small military unit level. Firstly, a single patch antenna was designed using the calculated dimensions. As a result of the design, a single patch antenna with return loss (S11) -15,59 dB, gain 4,59 dB, directivity value 4,72 dB, center frequency 9,9 GHz and bandwidth 308 MHz was obtained. By making changes in the designed single patch antenna dimensions, the most ideal antenna was tried to be obtained in terms of the determined criteria. Thus, a single patch antenna with return loss (S11) -24,60 dB, gain 7,49 dB, directivity value 7,57 dB, center frequency 10 GHz and

bandwidth 311 MHz was obtained. Secondly, 2x1 patch array antenna design was made by utilizing the optimum single patch antenna dimensions. As a result of the design, 2x1 patch array antenna with return loss (S11) -11,4132 dB, gain 10,2005 dB, directivity value 10,2166 dB, center frequency 10,1 GHz and bandwidth 278 MHz was obtained. As with the single patch antenna, the designed 2x1 patch array antenna was tried to be the most ideal antenna in terms of the determined criteria by changing the dimensions. In this way, 2x1 patch array antenna with return loss (S11) -24,7454 dB, gain 10,2365 dB, directivity value 10,2519 dB, center frequency 10 GHz and bandwidth 458 MHz was obtained. Thirdly, 2x2 patch array antenna design was made by utilizing the optimum 2x1 patch array antenna dimensions. As a result of the design, a 2x2 patch array antenna with return loss (S11) -14,6091 dB, gain 13,7889 dB, directivity value 13,7532 dB, center frequency 10,2 GHz and bandwidth 231 MHz was obtained. As with the single patch antenna and 2x1 patch array antenna, the designed 2x2 patch array antenna was tried to be the most ideal antenna in terms of the determined criteria by changing the dimensions. In this way, 2x2 patch array antennas with return loss (S11) -24,3137 dB, gain 13,2953 dB, directivity value 13,2135 dB, center frequency 10 GHz and bandwidth 264 MHz were obtained. Subsequently, the most ideal single patch, 2x1 patch array and 2x2 patch array antennas are compared with each other. Finally, a 2x2 patch array antenna of 5.4x6.5 cm, which was determined to have better values than antennas for evaluation purposes, was integrated into a mounted head of the military mount and the data obtained was intelligently reviewed, instantly transmitted to the commander. As a result, in an area where visibility conditions are low and it is difficult to advance, the small-level military unit commander can determine the direction of his unit personnel, thus plan friendly fires correctly and increase the command and command capability of his unit.

Keywords: Signal Intelligence, Radio Direction Finding, Patch Array Antenna, Small Level Military Unit Commander.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
TABLO LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR.....	xviii
SEMBOL LİSTESİ	xx
1. GİRİŞ	1
1.1 TEZİN AMACI.....	1
1.2 TEZ ORGANİZASONU.....	2
2. SİNYAL İSTİHBARATI.....	4
2.1 İSTİHBARATIN TANIMI	4
2.2 İSTİHBARAT EDİNME YÖNTEMLERİ	4
2.3 SİNYAL İSTİHBARATI NEDİR?	6
2.4 SİNYAL İSTİHBARATININ TARİHİ	6
3. TELSİZ YÖN TESPİT SİSTEMİ	8
3.1 TELSİZ YÖN TESPİT SİSTEM TARİHİ.....	8
3.2 TELSİZ YÖN BULMA SİSTEMİ BİLEŞENLERİ	9
3.3 UYGULAMA ALANLARI.....	10
3.4 ELEKTROMANYETİK DALGALARIN ÖZELLİKLERİ	10
4. TELSİZ YÖN TESPİT YÖNTEMLERİ	13
4.1 GENLİK KARŞILAŞTIRMALI TELSİZ YÖN TESPİT YÖNTEMLERİ.....	13
4.1.1 Dönen Yönlü Anten Kullanımı	14
4.1.2 Watson-Watt Yöntemi.....	15
4.2 FAZ KARŞILAŞTIRMALI TELSİZ YÖN TESPİT YÖNTEMLERİ.....	18

4.2.1	Doppler Yöntemi.....	18
4.2.2	Pseudo-Doppler Yöntemi.....	21
4.2.3	İnterferometri Yöntemi	22
4.3	YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜK TELSİZ YÖN TESPİT YÖNTEMLERİ.....	25
4.3.1	Geleneksel Hüzmeleme.....	25
4.3.2	MVDR Hüzmeleme Yöntemi.....	27
4.3.3	MUSIC (Multiple Signal Classification) Yöntemi.....	28
5.	KÜÇÜK SEVİYE BİRLİK KOMUTANI İÇİN MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI	30
5.1	MİKROŞERİT ANTENİN ÖZELLİKLERİ.....	32
5.2	10 GHZ MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI	32
5.2.1	Tek Yama Anten Tasarımı	34
5.2.1.1	Tek Yama Anten Simülasyonu ve Analizi	40
5.2.2	2x1 Yama Dizi Anten Tasarımı	58
5.2.2.1	2x1 Yama Dizi Anten Simülasyonu ve Analizi	61
5.2.3	2x2 Yama Dizi Anten Tasarımı	78
5.2.3.1	2x2 Yama Dizi Anten Simülasyonu ve Analizi	80
5.2.4	Tek Yama Anten, 2x1 Yama Dizi Anten ve 2x2 Yama Dizi Anten Karşılaştırması.....	99
6.	TASARLANAN MİKROŞERİT YAMA DİZİ ANTENİN KÜÇÜK BİRLİK SEVİYESİNDE YAKIN MUHAREBE ORTAMINDA KULLANIMI...	102
6.1	2x2 YAMA DİZİ ANTENİN ASKERİ ÜNİFORMAYA MONTAJI.....	103
6.2	2x2 YAMA DİZİ ANTENİN KOMUTANI TARAFINDAN KULLANIMI	105
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	107
	REFERANSLAR	110
	ÖZGEÇMİŞ	113

TABLO LİSTESİ (OPSİYONEL)

Sayfa

Tablo 2.1: İstihbarat Edinme Yöntemleri.....	5
Tablo 5.1: Tasarlanan Tek Yama Antene Ait Boyutlar	39
Tablo 5.2: Tasarlanan Tek Yama Anten Boyutlarında Yapılan Değişiklik	46
Tablo 5.3: Tasarlanan Tek Yama Anten Boyut Değişiklik Sonucu Parametre Sonuçları.....	47
Tablo 5.4: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Antene Ait Boyutlar.....	61
Tablo 5.5: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Boyutlarında Yapılan Değişiklik.....	66
Tablo 5.6: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Boyut Değişiklik Sonucu Parametre Sonuçları	67
Tablo 5.7: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Antene Ait Boyutlar.....	80
Tablo 5.8: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Boyutlarında Yapılan Değişiklik.....	85
Tablo 5.9: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Boyut Değişiklik Sonucu Parametre Sonuçları	87
Tablo 5.10: Tek Yama Anten, 2x1 Yama Dizi Anten ve 2x2 Yama Dizi Anten Karşılaştırması	100

ŞEKİL LİSTESİ (OPSİYONEL)

Sayfa

Şekil 2.1: İstihbarat Süreci.....	5
Şekil 3.1: Yön Tespit Sistemi Bileşenleri.....	9
Şekil 3.2: Elektromanyetik Dalganın Oluşumu	11
Şekil 3.3: Elektromanyetik Dalgaların Frekans Spektrumu	12
Şekil 4.1: Yönlü Anten Sinyal Seviyesi (-60^0).....	14
Şekil 4.2: Yönlü Anten Sinyal Seviyesi (10^0)	14
Şekil 4.3: Yönlü Anten Sinyal Seviyesi (30^0)	14
Şekil 4.4: Watson-Watt Yöntemi ve 4 Dipollü Adcock Anten Dizisi.....	16
Şekil 4.5: Doppler Antenin 0^0 'de Aldığı Sinyal Frekansı	19
Şekil 4.6: Doppler Antenin 80^0 'de Aldığı Sinyal Frekansı	19
Şekil 4.7: Doppler Antenin 180^0 'de Aldığı Sinyal Frekansı	20
Şekil 4.8: Doppler Antenin 260^0 'de Aldığı Sinyal Frekansı	20
Şekil 4.9: Dört Antenli Pseudo-Doppler Yöntemi.....	21
Şekil 4.10: İki Anten Arası Faz Farkı.....	23
Şekil 4.11: Antenler Arası Faz Farkı (Sinyal Kaynağı 10^0)	23
Şekil 4.12: Antenler Arası Faz Farkı (Sinyal Kaynağı 90^0)	24
Şekil 4.13: Antenler Arası Faz Farkı (Sinyal Kaynağı 190^0)	24
Şekil 4.14: Antenler Arası Faz Farkı (Sinyal Kaynağı 270^0)	25

Şekil 4.15: Farklı Açılar İçin Klasik Hüzmeleme Yöntemi İle Geliş Açısı Tahmini.....	26
Şekil 4.16: Farklı Açılar İçin Klasik ve Capon's MVDR Hüzmeleme Yöntemleri İle Geliş Açısı Tahmini Karşılaştırması.....	27
Şekil 4.17: Farklı Açılar İçin Klasik, Capon's MVDR Hüzmeleme ve MUSIC Yöntemleri İle Geliş Açısı Tahmini Karşılaştırması	29
Şekil 5.1: HFSS Anten Simülasyonu Akış Şeması	31
Şekil 5.2: Mikroşerit Antenin Genel Yapısı	32
Şekil 5.3: Dielektrik Malzeme-Bant Genişliği İlişkisi	33
Şekil 5.4: Tek Yama Anten Tasarımı	34
Şekil 5.5: Tek Yama Anten Boyut Farkı	36
Şekil 5.6: TXLINE 2003 Hesabı	39
Şekil 5.7: Tasarlanan Tek Yama Anten Görünümü	40
Şekil 5.8: Tasarlanan Tek Yama Anten Geri Dönüş Kaybı (S11) Frekans Grafiği	41
Şekil 5.9: Tasarlanan Tek Yama Anten Kazanç Faz Grafiği	42
Şekil 5.10: Tasarlanan Tek Yama Anten Yönlülük Faz Grafiği	43
Şekil 5.11: Tasarlanan Tek Yama Anten Işıma Örüntüsü	44
Şekil 5.12: Tasarlanan Tek Yama Anten Üç Boyutlu Işıma Örüntüsü	45
Şekil 5.13: Tasarlanan Tek Yama Anten VSWR Frekans Grafiği	45
Şekil 5.14: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten Görünümü	52
Şekil 5.15: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten Geri Dönüş Kaybı (S11) Frekans Grafiği	53

Şekil 5.16: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten Kazanç Grafiği	54
Şekil 5.17: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten Yönlülük Faz Grafiği	55
Şekil 5.18: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten Işıma Örüntüsü	56
Şekil 5.19: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten Üç Boyutlu Işıma Örüntüsü ...	57
Şekil 5.20: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten VSWR Grafiği.....	57
Şekil 5.21: 2x1 Yama Dizi Anten Tasarımı	58
Şekil 5.22: 100Ω TXLINE 2003 Hesabı	59
Şekil 5.23: 50Ω TXLINE 2003 Hesabı	60
Şekil 5.24: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Görünümü.....	62
Şekil 5.25: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Geri Dönüş Kaybı (S11) Frekans Grafiği....	62
Şekil 5.26: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Kazanç Faz Grafiği.....	63
Şekil 5.27: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Yönlülük Faz Grafiği.....	64
Şekil 5.28: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Işıma Örüntüsü	64
Şekil 5.29: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Üç Boyutlu Işıma Örüntüsü	65
Şekil 5.30: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten VSWR Frekans Grafiği	66
Şekil 5.31: Değişiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten Görünümü.....	73
Şekil 5.32: Değişiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten Geri Dönüş Kaybı (S11) Frekans Grafiği	73
Şekil 5.33: Değişiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten Kazanç Grafiği	74

Şekil 5.34: Değişiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten Yönlülük Faz Grafiği.....	75
Şekil 5.35: Değişiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten Işıma Örüntüsü	76
Şekil 5.36: Değişiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten Üç Boyutlu Işıma Örüntüsü	77
Şekil 5.37: Değişiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten VSWR Grafiği.....	78
Şekil 5.38: 2x2 Yama Dizi Anten Tasarımı	79
Şekil 5.39: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Görünümü.....	81
Şekil 5.40: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Geri Dönüş Kaybı (S11) Frekans Grafiği....	81
Şekil 5.41: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Kazanç Faz Grafiği.....	82
Şekil 5.42: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Yönlülük Faz Grafiği.....	83
Şekil 5.43: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Işıma Örüntüsü	83
Şekil 5.44: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Üç Boyutlu Işıma Örüntüsü	84
Şekil 5.45: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten VSWR Frekans Grafiği	85
Şekil 5.46: Değişiklik 19 İle Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten Görünümü.....	93
Şekil 5.47: Değişiklik 19 İle Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten Geri Dönüş Kaybı (S11) Frekans Grafiği	94
Şekil 5.48: Değişiklik 19 İle Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten Kazanç Grafiği	95
Şekil 5.49: Değişiklik 19 İle Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten Yönlülük Faz Grafiği.....	96

Şekil 5.50: Değişiklik 19 İle Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten Işıma Örüntüsü	97
Şekil 5.51: Değişiklik 19 İle Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten Üç Boyutlu Işıma Örüntüsü	98
Şekil 5.52: Değişiklik 19 İle Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten VSWR Grafiği	99
Şekil 6.1: Zorlu Arazide İntikal Eden Küçük Birliğin Komutanı	102
Şekil 6.2: Askeri Birlik İlerleme Düzeni	103
Şekil 6.3: 2x2 Yama Dizi Antenin Kompozit Başlığa Montajı	104
Şekil 6.4: Kompozit Başlığına 2x2 Yama Dizi Anten Monte Edilen Askeri Personel	104
Şekil 6.5: Akıllı Gözlük Ekranı (Belirlenen İstikamette Personel Mevcut)	105
Şekil 6.6: Akıllı Gözlük Ekranı (Belirlenen İstikamette Personel Mevcut Değil)	106

KISALTMALAR

RDF	: Radio Direction Finding (Telsiz Yön Tespiti)
MVDR	: Minimum Variance Distortionless Response (Minimum Varyans Gürültüsüz Yanıt)
MUSIC	: Multiple Signal Classification (Çok Kanallı Sinyal Sınıflandırması)
HFSS	: High Frequency Structural Simulator (Yüksek Frekanslı Yapısal Simülatör)
İNSİST	: İnsan İstihbaratı
AKİST	: Açık Kaynak İstihbaratı
SİBİST	: Siber İstihbarat
GÖRİST	: Görüntü İstihbaratı
COMİST	: Coğrafi Mekânsal İstihbarat
SİNYİST	: Sinyal İstihbaratı
İLİST	: İletişim İstihbaratı
ELİST	: Elektronik İstihbarat
YATSİST	: Yabancı Teçhizat Sinyalleri İstihbaratı
TELİST	: Telemetry İstihbaratı
ÖLÇİST	: Ölçü ve İşaret İstihbaratı
TEKİST	: Teknik İstihbarat
BİYOİST	: Biyometrik İstihbarat

MALİST	:	Mali İstihbarat
DF	:	Direction Finding (Yön Tespit)
ESPRIT	:	Estimation of Signal Parameters Via Rotational Invariance Technique (Sinyal Parametrelerinin Rotasyonel Değişmezlik Tekniği İle Tahmini)
SOI	:	Signal of Interest (İlgi Sinyali)
DOA	:	Direction of Arrival (İşaret Geliş Açısı)
CBF	:	Conventional Beamforming (Geleneksel Hüzmeleme)
HPBW	:	Half Power Beam Width (Yarım Güç Hüzme Genişliği)
VSWR	:	Voltage Standing Wave Ratio (Gerilim Duran Dalga Oranı)

SEMBOL LİSTESİ

E	: Elektrik alan vektörü
B	: Manyetik alan vektörü
c	: Işık hızı
λ	: Dalga boyu
μ	: Boşluğun geçirgenliği
Hz	: Hertz
$S(t)$	: Doğrusal düzlem dalgası
Θ	: Sinyal varış istikamet açısı
V	: Anten voltaj değeri
k	: Dalga numarası
d	: Merkez noktanın antenlere olan mesafesi
$I(t)$	: Anten dizisi merkezinde alınan sinyal değeri
r	: Anten dizisinin yarıçapı
N	: Dizilimdeki anten sayısı
$\Delta\Phi$	: Antenlere gelen dalganın faz farkı
$X_k[n]$	: n anında alınan sinyal değeri
W_k	: Hüzmelemenin ağırlık vektörü
$P(\Theta)$	: Sinyal geliş açısı gücü
$u(t)$	: Anten çıkışından alınan toplam işaret

$n(t)$	: Gürültü vektörü
$a(\Theta_j)$	: j 'inci işarete ait geliş açısına karşılık dizi izleme vektörü
P_{MUSIC}	: MUSIC spektrum ifadesi
h	: Dielektrik malzeme yüksekliği
ϵ_r	: Dielektrik sabiti
L	: Yama antenin uzunluğu
W	: Yama antenin genişliği
δ	: Dielektrik tanjant kaybı
L_g	: Yama anten yarık girinti uzunluğu
W_g	: Yama anten yarık girinti genişliği
W_{100}	: 100Ω besleme empedansının genişliği
L_{100}	: 100Ω besleme empedansının uzunluğu
L_a	: Alt tabaka uzunluğu
W_a	: Alt tabaka genişliği
f_c	: Çalışma frekansı
ΔL	: Saçaklanma sonucu oluşan boyut farkı
ϵ_{reff}	: Efektif bağlı geçirgenlik sabiti
R_{in}	: Giriş empedansı
G_1	: Tek yarık kondüktansı
G_{12}	: Ortak kondüktans

dB	: Desibel
GHz	: Giga Hertz
MHz	: Mega Hertz
S ₁₁	: Geri dönüş kaybı
W ² ₁₀₀	: Yama antenler ile besleme arası 100Ω besleme empedansının uzunluğu
L ₅₀	: 50Ω empedans uzunluğu
W ₅₀	: 50Ω empedans genişliği
L ² ₁₀₀	: İkili yamalar arası 100Ω besleme empedansının uzunluğu
d ₁	: Tek yama antenler arasında yatay boşluk mesafesi
d ₂	: Tek yama antenler arasında düşey boşluk mesafesi

1. GİRİŞ

İstihbarat, devletlerin kendilerine tehdit durumunda olan veya daha sonraki zaman diliminde tehdit olabilecek devlet veya unsurlara karşı, gizli olarak yürüttükleri bilgi toplama faaliyeti ile toplanan bu bilgilerin sistemli bir şekilde değerlendirmeye tabi tutulması sürecidir.

Değişik yöntemler kullanmak suretiyle elde edilen istihbarat, hedef unsur veya ülkenin silahlı kuvvetlerine ait karargâh ve birliklerinin yeri, sahip olduğu imkân ve kabiliyetler, silahlarının özellikleri, destek güçlerinin nitelikleri ve yerleri, teknolojik olarak gelişmiş sistemlerinin özellikleri ve konumu gibi bilgilerin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Sinyal istihbaratı, teknolojinin gelişmesine paralel olarak önemi her geçen gün artan istihbarat edinme yöntemlerinden bir tanesidir. Sinyal istihbaratı, frekans bandının tamamını kapsayacak şekilde yayınlanmış olan sinyallerin tespit edilerek analiz edilmesi ve müteakiben yayın yapan sinyal kaynağının konumunun tespit edilmesidir. (Schleher, 2004:35) Özellikle yayın yapan verici konumunun gerçeğe yakın doğrulukla tespit edilmesi suretiyle, hedef unsurun konumu hakkında bilgi sahibi olunması günümüzde önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir.

Harekât esnasında, hedef unsura ait konum hakkında bilgi sahibi olunması yanında, dost unsur konumunun tespit edilmesi de önem arz etmektedir. Küçük seviye askeri birlik komutanının, özellikle görüş şartlarının az ve ilerlemenin zor olduğu arazide, kendi birlik personelinin istikametini tespit edebilmesi ile dost ateşlerini doğru olarak planlaması kolaylaşır ve birliğine yönelik emir komuta kabiliyeti önemli derecede artar.

1.1 TEZİN AMACI

Bu çalışmada; küçük seviye askeri birlik komutanının, görüş şartlarının az ve ilerlemenin zor olduğu bir arazide, emir komuta ettiği birlik personelinin konumunu anlık olarak tespit edebilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, HFSS 15.0 (Yüksek Frekanslı Yapısal Simülatör) programı vasıtası ile telsiz yön tespitinde kullanılacak en ideal mikroşerit anten elde edilmeye çalışılmıştır. İlk olarak tek yama anten tasarımı yapılmış, hesaplanan boyutlarda değişiklik yapılmak suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal tek yama anten elde

edilmeye çalışılmıştır. İkinci olarak, elde edilen en ideal tek yama anten boyutlarından faydalanmak suretiyle 2x1 yama dizi anten tasarımı yapılmış, tek yama antende olduğu gibi tasarımı yapılan 2x1 yama dizi antende de boyutlar değiştirilmek suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal 2x1 yama dizi anten elde edilmeye çalışılmıştır. Üçüncü olarak, elde edilen en ideal 2x1 yama dizi anten boyutlarından faydalanmak suretiyle 2x2 yama dizi anten tasarımı yapılmıştır. Tek yama anten ve 2x1 yama dizi antende olduğu gibi tasarımı yapılan 2x2 yama dizi antende de boyutlar değiştirilmek suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal 2x2 yama dizi anten elde edilmeye çalışılmıştır. Müteakiben, elde edilen en ideal antenin kullanım maksadımıza uygun olarak, askeri üniformada bulunan kompozit başlığa entegre edilmesi ve elde edilen verinin akıllı gözlük vasıtasıyla, komutana anlık olarak iletilmesi planlanmıştır.

1.2 TEZ ORGANİZASYONU

İkinci bölümde, istihbaratın tanımı yapılarak istihbarat edinme yöntemlerine değinilmiş, müteakiben istihbarat edinme yöntemlerinden sinyal istihbaratı açıklanarak, sinyal istihbaratının tarihine değinilmiştir.

Üçüncü bölümde, telsiz yön tespit (RDF) sisteminin tarihine değinilmiş, sistem bileşenleri ile RDF uygulama alanları açıklanarak elektromanyetik dalgaların özellikleri detaylı olarak anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, telsiz yön tespit yöntemleri detaylı olarak açıklanmıştır. Genlik karşılaştırmalı RDF yönteminde, dönen yönlü anten kullanımı ile Watson-Watt yöntemi, faz karşılaştırmalı RDF yönteminde ise Doppler, Pseudo-Doppler ve Interferometri yöntemleri sırasıyla tanıtılarak incelenmiştir. Geleneksel hümeleme, Minimum Variance Distortionless Response (MVDR) hümeleme ve Multiple Signal Classification (MUSIC) yöntemleri yüksek çözünürlük telsiz yön tespit yöntemleri olarak incelenmiştir.

Beşinci bölümde, küçük askeri birlik seviyesinde komutanın ihtiyaçları doğrultusunda, birlik komutanının emir komuta ettiği birlik personelinin arazideki konumunu tespit edebilmesi için dost telsiz yön tespiti maksadı ile kullanabileceği mikroşerit anten tasarımı HFSS programı vasıtasıyla yapılmıştır. Bu maksatla, ilk olarak tek yama anten tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan

tek yama anten boyutlarında değişiklik yapılmak suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal tek yama anten elde edilmeye çalışılmıştır. İkinci olarak, elde edilen en ideal tek yama anten boyutlarından faydalanmak suretiyle 2x1 yama dizi anten tasarımı yapılmıştır. Tek yama antende olduğu gibi tasarımı yapılan 2x1 yama dizi antende de boyutlar değiştirilmek suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal 2x1 yama dizi anten elde edilmeye çalışılmıştır. Üçüncü olarak, elde edilen en ideal 2x1 yama dizi anten boyutlarından faydalanmak suretiyle 2x2 yama dizi anten tasarımı yapılmıştır. Tek yama anten ve 2x1 yama dizi antende olduğu gibi tasarımı yapılan 2x2 yama dizi antende de boyutlar değiştirilmek suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal 2x2 yama dizi anten elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen en ideal tek yama anten, 2x1 yama dizi anten ve 2x2 yama dizi anten belirlenen kıstaslar açısından birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölümde, küçük seviye askeri birlik komutanının görüş şartlarının az ve ilerlemenin zor olduğu arazide kendi birlik personelinin istikametini tespit ve bu sayede dost ateşlerini doğru olarak planlaması ile birliğine emir komuta kabiliyetinin artması sağlanmıştır. Bu maksatla, elde edilen 2x2 yama dizi antenin, askeri üniformanın bir parçası olan kompozit başlığın ön kısmında bulunan aksesuar bölmesine monte edilmek suretiyle kullanılması planlanmıştır. Montajın yapılmasını müteakip, anten örüntüsü ve yönlülük değerinden yararlanmak suretiyle elde edilen bilgi sayesinde, dost personelin arazideki konumuna ait istikametini tespit edilebilmesi düşünülmüştür. Elde edilen verinin eş zamanlı olarak akıllı gözlüğe aktarımı sayesinde ise birlik komutanının anlık bilgiye ulaşması, dost ateşlerini doğru olarak yönlendirebilmesi ve birliğine emir komuta kabiliyetinin artması planlanmıştır. Ayrıca, 2x2 yama dizi anten bant değişliği (264 MHz), birlik personel sayısı kadar telsiz kanalına bölünmek suretiyle, her bir birlik personeline bir kanal tahsis edilmesi planlanmış, anten örüntü ve yönlülük değeri ile alınan değerin belirli bir eşik seviyesinin üstünde olması durumunda, döndürülen istikamette anten tarafından alınan verinin analiz edilmesini müteakip akıllı gözlük ekranına aktarılması düşünülmüştür.

Son olarak yedinci bölümde, elde edilen sonuç ve önerilere değinilmiştir.

2. SİNYAL İSTİHBARATI

Gerçek zamana yakın istihbarat elde edilmesi ülkeler için çok önemlidir. Çünkü ülkeler veya unsurlar, kendileri için önem arz eden ve bu nedenle öğrenilmesini istemedikleri birtakım bilgilere sahiptirler. Hedef ülkenin haberleşme cihazları tarafından yayınlanan elektro-manyetik enerjinin, sahip olduğumuz teknolojiye ait cihazlarla dinlenmesi, müteakiben yorumlanması ve anlamlandırılması ile bu istihbarat elde edilebilir.

2.1 İSTİHBARATIN TANIMI

Kelime kökeni açısından Arapça kökene sahip olan istihbarat kelimesi, “*yeni öğrenilen bilgiler, haberler, duyumlar*” ve “*bilgi toplama ve haber alma*” anlamlarına gelmektedir. (TDK, 2011: 1215) İstihbaratı tanımlamadan önce haber ve bilginin ne anlama geldiğini tanımlamak daha doğru olacaktır.

Haber, değerlendirilmemiş verilerdir. Her türlü kaynaktan elde edilebileceği gibi teyit edilmiş veya edilmemiş, tam veya noksan, gerçek veya gerçeğe aykırı olabilir. İstihbarat açısından düşünüldüğünde ise istihbaratın elde edilmesi için kullanılan ham madde niteliğindedir. Bilgi ise değerlendirilen haberdur. Belirli bir zaman diliminde doğru ve geçerli olması gerekir.

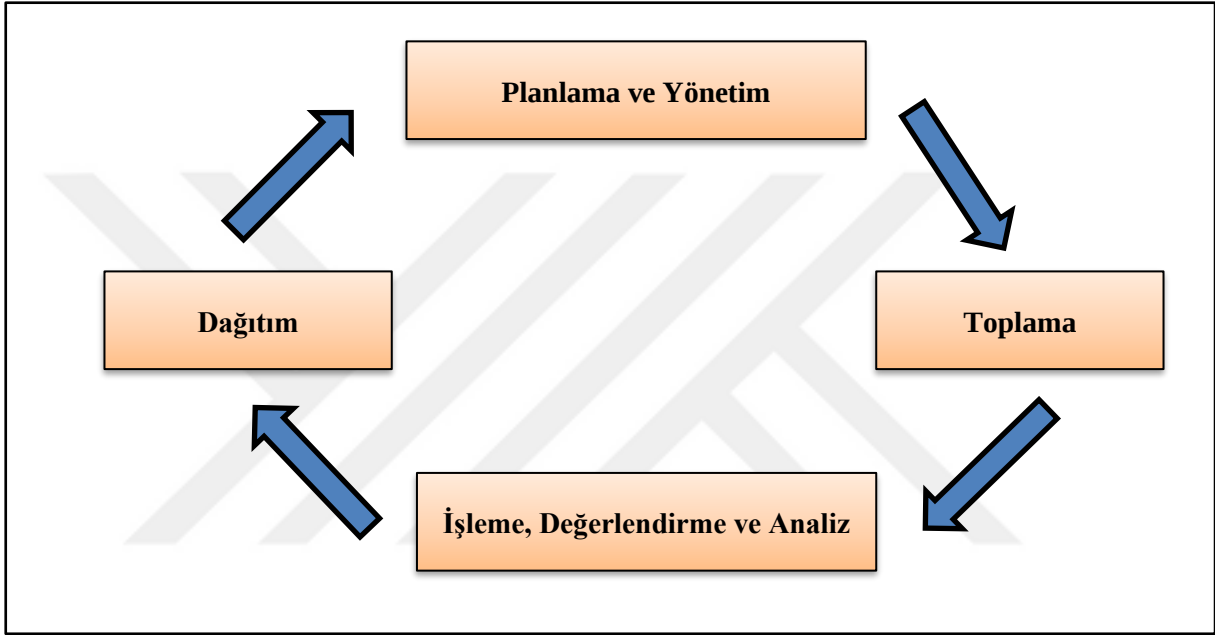
Bu kapsamda istihbarat, “*ulaşılabilen bütün açık, yarı açık ve/veya gizli kaynaklardan her türlü aracın kullanılması sonucunda elde edilen her türlü veri, malumat ve bilginin ulusal genel veya ulusal özel plandaki politikaların gerçekleştirilmesi ve ulusal politikalara zarar verilmesinin engellenmesi amacı ile toplandıktan sonra önemine ve doğruluğuna göre sınıflandırılması, karşılaştırılması, analiz edilerek değerlendirilmesi süreci sonucunda ulaşılan bilgidir.*” (Özdağ, 2008: 30)

2.2 İSTİHBARAT EDİNME YÖNTEMLERİ

İstihbarat süreci, istihbarat döngüsü (intelligence cycle) olarak adlandırılan ve dört ana bölümden oluşan bir yapıdan oluşur. (Frini ve Boury-Brisset, 2011: 3)

Bu yapı Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, ihtiyaç ve önceliklerin belirlendiği planlama ve yönetim

ile başlar. Müteakiben, istihbarat gereksinimlerinin karşılanması için çeşitli kaynaklardan bilgi ve istihbarat toplanır ve belirli gruplara ayrılır. Daha sonra, toplanan bilgi ve istihbarat değerlendirme ve analiz işlemine tabi tutulur. Son olarak, anlamlı ve değerlendirilmiş istihbarat ihtiyaç makamına ulaştırılır. (Frini ve Boury-Brisset, 2011: 4)



Şekil 2.1: İstihbarat Süreci

Süreç içinde istihbaratın toplanması aşamasında birbirinden farklı yöntemler kullanılır. Bunları farklı kaynaklar farklı şekilde sınıflandırmıştır. Genel olarak istihbarat edinme yöntemleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: İstihbarat Edinme Yöntemleri

İSTİHBARAT EDİNME YÖNTEMLERİ		
S.NO	KISALTMASI	YÖNTEM ADI
1	İNSİST	İnsan İstihbaratı
2	AKİST	Açık Kaynak İstihbaratı
3	SİBİST	Siber İstihbarat
4	GÖRİST	Görüntü İstihbaratı
5	COMİST	Coğrafi Mekânsal İstihbarat

Tablo 2.1: İstihbarat Edinme Yöntemleri (devamı)

6	SİNYİST	Sinyal İstihbaratı
7	İLİST	İletişim İstihbaratı
8	ELİST	Elektronik İstihbarat
9	YATSİST	Yabancı Teçhizat Sinyalleri İstihbaratı
10	TELİST	Telemetre İstihbaratı
11	ÖLÇİST	Ölçü ve İşaret İstihbaratı
12	TEKİST	Teknik İstihbarat
13	BİYOİST	Biyometrik İstihbarat
14	MALİST	Mali İstihbarat

2.3 SİNYAL İSTİHBARATI NEDİR?

Sinyal istihbaratı, hedef unsura ait elektronik muhabere cihazlar tarafından yayımlanan elektromanyetik enerjinin, kendimize ait cihazlar vasıtasıyla tespit edilerek dinlenmesi ve bu sayede elde edilen bilgilerin analiz edilmesi faaliyetidir. (Özdağ, 2008: 135) Analiz sonucunda düşman veya karşıt unsurun niyeti, imkân ve kabiliyeti hakkında detaylı bilgi elde edilir.

Sinyal, bilginin taşınma aracı olarak düşünülebilir. Bu sinyalin tespiti, analizi ve kullanılması ile elde edilen istihbarat çeşitli alanlarda kullanılır. Bu kapsamda, sinyal istihbaratı kullanım alanlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Terör örgütü mensuplarının telsiz görüşmelerinden faydalanarak konumlarının tespit edilmesi,
- Düşmana ait silah ve teçhizatın imkân ve kabiliyetinin tespit edilmesi,
- Güvenliğimiz için tehlikeli olabilecek sinyallerin engellenmesi,
- Kendi kuvvetlerimizin konum takibi,
- Devlete ait gizli kalması istenen bilgilerin saklanması,
- Güvenlik ile ilgili politikamızın oluşturulması,
- Düşmana ait bilgilerin elde edilmesidir.

2.4 SİNYAL İSTİHBARATININ KISA TARİHİ

Sinyal istihbaratı, devletlerin birbirlerinin şifreli resmi dokümanlarını ele geçirmek maksadı ile

şifreleri çözme yöntemlerini geliştirmeleri ile ortaya çıkmıştır. 19. Yüzyılda, ilk olarak telgraf haberleşmelerinin şifreleri çözülmüştür.

Birinci Dünya Savaşı esnasında, Alman donanması tarafından İngiliz donanması İskoçya kıyılarına sıkıştırılmıştır. Ancak Alman şifrelerini çözmek suretiyle onların telsiz görüşmelerini dinlemiş ve bu sayede donanmaları kurtulabilmiştir. (Aldrich, 1998: 36-58)

İkinci Dünya Savaşı esnasında da, Amerika ve İngiltere tarafından Alman şifrelerinin çözülmesi ile birlikte haberleşmenin dinlenmesi savaşın daha erken sonuçlanmasına neden olmuştur.

Gelişmiş olan ülkelerde bulunan sinyal istihbaratı ile ilgili birimler I. ve II. Dünya Savaşları esnasında basit anlamda şifre çözmek ile başladıkları yolda teknolojinin gelişmesi ile uçakların, denizaltıların, insansız hava araçlarının ve uyduların kullanılması ve sinyal tespitin bu vasıtalarla da yapılmaya başlamasıyla teknolojik üstünlüğe sahip örgütler olmuşlardır. (Acar, 2011:169)

3. TELSİZ YÖN TESPİT SİSTEMİ

Yön bulma olarak dilimize çevrilen Direction Finding (DF), en genel anlamı ile yayın yapan telsiz kaynağının yön ve yerinin tespit edilmesidir. Verici kaynağını sadece telsiz olarak sınırlandırmak doğru olmayacağından, RDF ifadesinin kullanılması daha doğru olacaktır.

3.1 TELSİZ YÖN TESPİT SİSTEM TARİHİ

19. yüzyılın başlarında, Hertz, Marconi ve Zenneck tarafından yönlendirilmiş anten kullanılarak başlayan telsiz verici yön tespiti, 20. Yüzyılın başlarından itibaren önemi giderek artan bir konu haline gelmiştir. Bu alandaki ilk tecrübeler, 1906 yılında Marconi tarafından yapılmıştır. Bu anlamda, yönlü bir anten yatay düzlemde 360^0 döndürüldüğünde, gelen sinyalin tepe noktasındaki en yüksek genliği, yayın kaynağının geliş açısı istikametinde oluşur. (Jenkins 1991:53)

I. Dünya Savaşının ardından, yön tespit teknolojisinde çok önemli gelişmeler yaşanmıştır. Her ne kadar bu dönemdeki yön tespit sistemleri mevcut teknolojiye göre çok basit olsa da, günümüz gelişmiş sistemlerinin temelini oluşturmaları açısından önem taşımaktadırlar. Yönlü antenin 360^0 döndürülmesi ile başlayan telsiz yön tespit süreci, çoklu anten dizilimleri ve karmaşık bilgisayar algoritmaları kullanılması ile son yüzyılda gelişme göstermiştir. (Bailey et al. 2012: 44-68).

II. Dünya Savaşından sonra ise, gelen sinyalin faz farkından yararlanmak suretiyle yeni yöntemler geliştirilmiştir. Elektron tüplerinin ve transistörlerin kullanılmaya başlanması ile yüksek frekansların kullanılması ekonomik açıdan mümkün kılınmıştır. Tüm bu değişimleri ise yön tespit yöntemlerinin ve kullanım alanlarının artmasını sağlamıştır. (Liang and Chia 2001: 363).

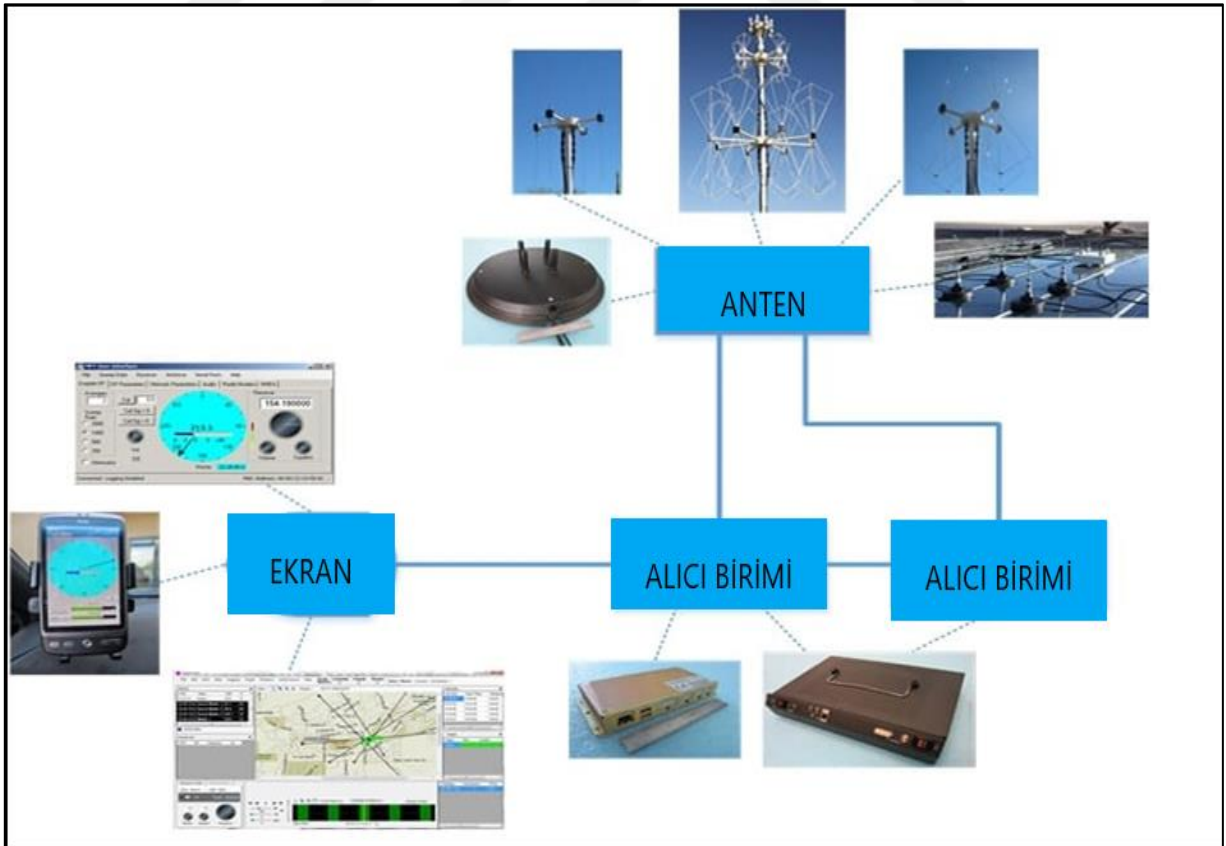
1970'li yıllardan itibaren, yüksek çözünürlük algoritmaları kullanılmaya başlanmıştır. MUSIC algoritması 1977 yılında Schmidt tarafından, Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Technique (ESPRIT) algoritması ise 1989 yılında Roy ve Kailath tarafından önerilmiştir.

3.2 TELSİZ YÖN BULMA SİSTEMİ BİLEŞENLERİ

Yön bulma sistemi temel olarak Şekil 3.1’de gösterildiği gibi,

- Anten dizisi,
- Alıcı Birimi,
- İşlemci Birimi ve
- Görüntüleme Birimi (Ekran)’nden meydana gelmektedir.

Anten dizisi, havadaki elektromanyetik dalgayı almak için tek bir anten olarak birlikte çalışan birden çok bağlı anten kümesidir. Anten dizisi tarafından alınan radyo dalga frekansın (RF) çok yüksek olması halinde, DF işlemci birimi tarafından nispeten düşük frekanslı ara frekansa (IF) dönüştürülür. (Kebeli 2015: 3)



Şekil 3.1: Yön Tespit Sistemi Bileşenleri

3.3 UYGULAMA ALANLARI

Askeri alanda kullanımından sivil birimler tarafından kullanılmasına, hükümet tarafından kullanımından araştırma merkezleri tarafından kullanımına kadar çok çeşitli uygulama alanı bulunan telsiz yön tespitinin başlıca dört uygulama alanı aşağıda sunulmuştur;

- Askeri: Tehdit unsur veya düşman ile bunlara ait haberleşme vasıtalarının yerinin tespit edilmesi ve bu sayede düşmana karşı üstünlük sağlanması.
- Arama ve kurtarma: Kayıp veya yardıma ihtiyacı bulunan personele arama kurtarma görevi bulunan birimler tarafından ulaşılması maksadıyla yerinin tespit edilmesi.
- Bilim: Araştırma birimleri tarafından bazı hayvanların bilim amaçlı konumlarının tespit edilmesi ve izlenmesi.
- Radyo İzleme: Parazit kaynaklarının ve yasadışı vericilerin konumlarının tespit edilmesi.

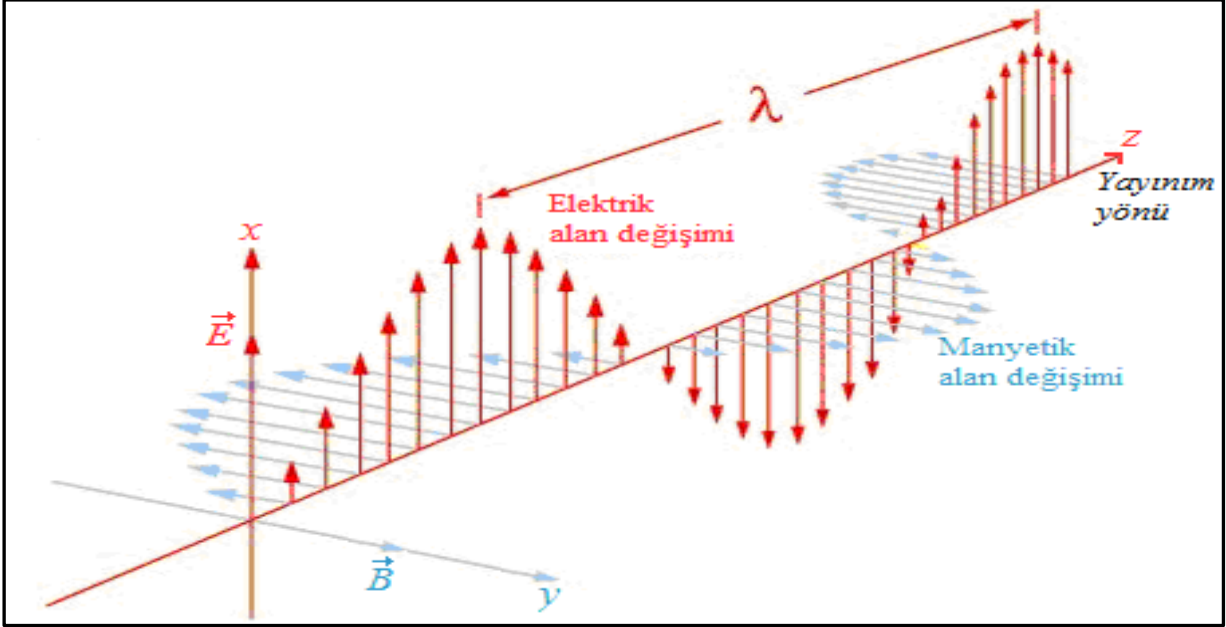
3.3 ELEKTROMANYETİK DALGALARININ ÖZELLİKLERİ

Elektromanyetik dalgalar temel olarak, ivmeli bir şekilde hareket eden elektrik yükleri tarafından oluşur. Sürekli olarak kendini tekrarlayan yani harmonik olarak hareket eden bir elektronun titreşimini buna örnek olarak verebiliriz. Bu elektronlar bir radyo vericisindeki birçok elektrondan biri olabilir. Buradaki her bir elektrik yükü 10^6 Hz frekansla titreşir. Sonuçta, elektron ivmelenir ve elektromanyetik dalga yayar.

Herhangi bir noktada meydana gelen manyetik alan değişimi bir elektrik alan değişimine, elektrik alan değişimi de bir manyetik alan değişimine sebep olur. Bu iki alanın değişim vektörleri birbirlerine diktir. Bir noktada enerji harcanarak periyodik bir alan değişimi meydana getirilirse, bu enerji ışık hızıyla, aynı periyotlu elektrik ve manyetik alan dalgaları olarak uzaya yayılır. Bu olaya elektromanyetik dalgaların ışıması denir.

Elektrik alan vektörü E, manyetik alan vektörü B ye diktir ve her biri zamanla sinüzoidal olarak

değişir. E ve B ikisi birlikte aynı fazdadır ve dalga ile ilerleme yönüne diktir. Bundan dolayı elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır. Elektrik alan ile manyetik alan arasında, $E = c.B$ bağıntısı vardır. E/B oranı sabit ve ışık hızına (c) eşittir. Şekil 3.2’de elektromanyetik dalgaların oluşumu gösterilmektedir.



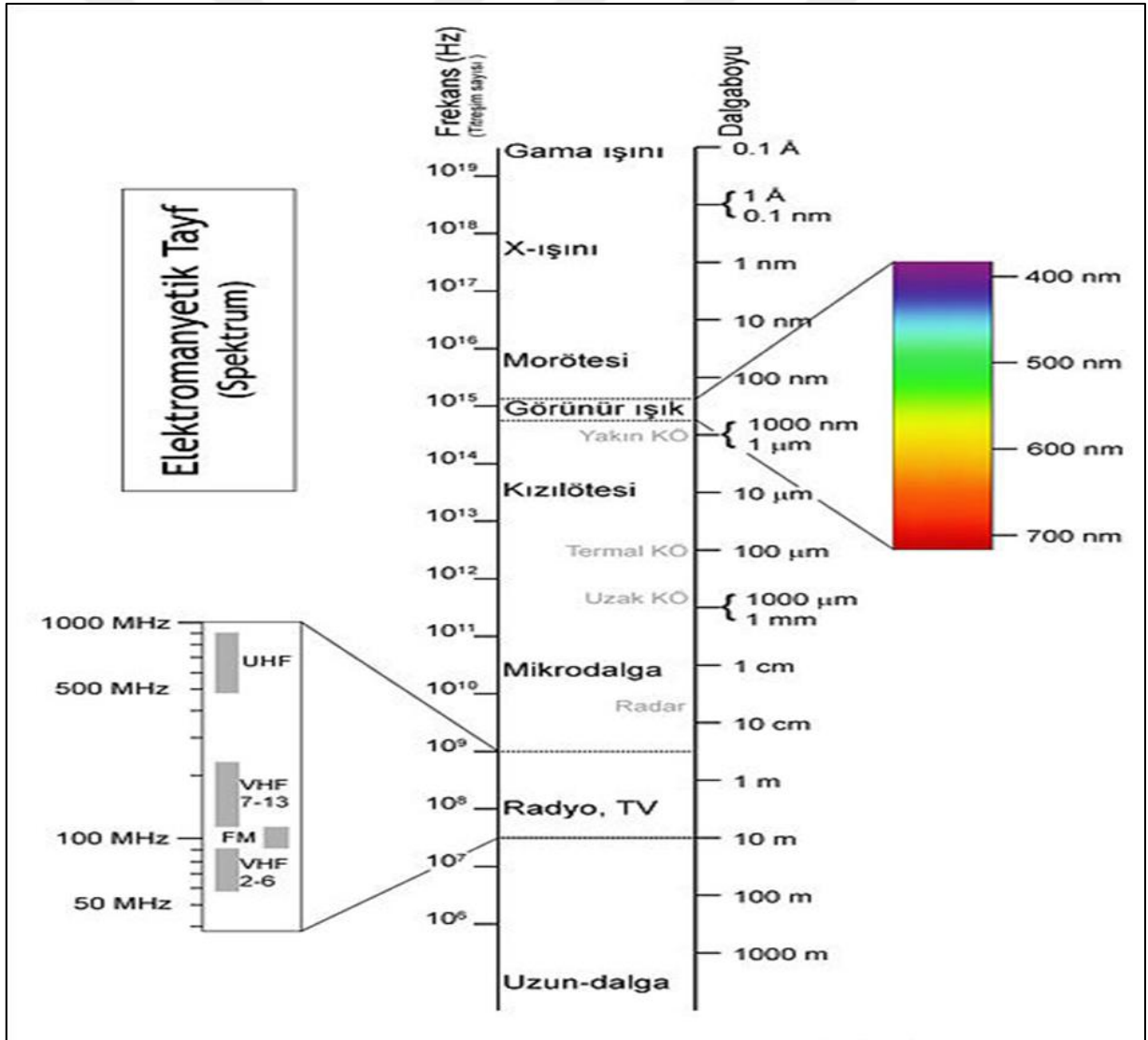
Şekil 3.2: Elektromanyetik Dalganın Oluşumu.

Elektromanyetik dalgaların frekans ve dalga boyu değerleri farklı da olsa bu değerlerin çarpımı daima ışık hızına eşittir. Dalga boyu birbirinden farklı olan elektromanyetik dalgalar farklı özelliklere sahiptir. Çok çeşitli kullanım alanları olan bu elektromanyetik dalgalara örnek olarak aşağıdaki ışınlar verilebilir.

- Radyo dalgaları,
- Televizyon dalgaları,
- Mikrodalgalar,
- Kızılötesi dalgalar,
- Radar dalgaları,

- Görülebilir ışık dalgaları,
- Ultra-viole ışınları,
- X ışınları,
- Gamma ışınları.

Dalga boylarının büyüklüğüne göre elektromanyetik dalgaların sıralandığı cetvele ise elektromanyetik spektrum denir. Şekil 3.3'te elektromanyetik spektrum gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Elektromanyetik Dalgaların Frekans Spektrumu.

4. TELSİZ YÖN TESPİT YÖNTEMLERİ

Telsiz sistemlerinin yön ve konum tespiti, değişik yöntemler ve bu yöntemlere bağlı değişik anten yapıları kullanılarak yapılmaktadır. Genel olarak bu yöntemlerin üç ana sınıflandırması şu şekildedir:

- Genlik Karşılaştırmalı Yön Bulma Yöntemleri,
- Faz Karşılaştırmalı Yön Bulma Yöntemleri,
- Yüksek Çözünürlük Yön Bulma Yöntemleri.

Tarihsel olarak incelendiğinde, ilk yön tespit sistemlerinde genlik karşılaştırma yöntemi içinde değerlendirilen yönlü anten kullanımı ile Watson-Watt yönteminin kullanıldığı görülmektedir (Gurel, 2018: 4). Genlik karşılaştırmalı yöntemlerde, antene gelen sinyallerin genlik farklarından yararlanmak suretiyle yön tespiti yapılır. Watson-Watt yöntemi, genlik karşılaştırmalı yön tespit sistemlerinde en yaygın kullanılan yöntemdir (Charge, Wang, and Saillard, 2000: 3045).

Faz karşılaştırmalı yöntemlerde ise, antene gelen sinyallerin faz farklarından yararlanmak suretiyle yön tespiti yapılır. Interferometri ve doppler etkisinin kullanımı gibi yöntemler faz karşılaştırmalı yöntemlerdir. Antenler arasındaki mesafe nedeniyle, elektromanyetik dalga antenler tarafından farklı fazlarda tespit edilir. Antenler arasındaki faz farkı kullanılmak suretiyle elektromanyetik dalganın geliş istikameti belirlenir (Saraç, 2009: 419).

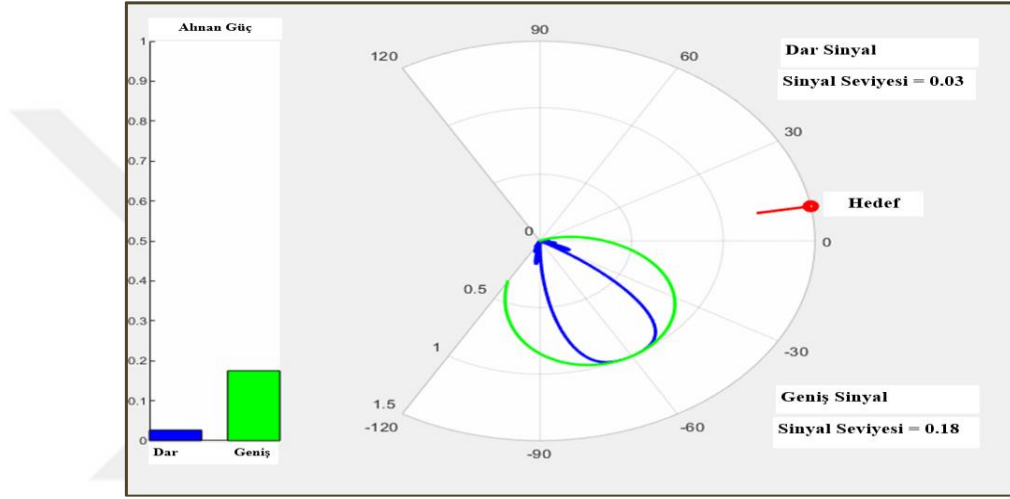
Yön bulma teknolojisinde meydana gelen gelişmeler sonucunda, ışın şekillendirme (Beamforming) ve MUSIC (Çok kanallı sinyal sınıflandırması) gibi yüksek çözünürlük yön bulma yöntemleri ortaya çıkmıştır (Wu, 1991: 375).

4.1 GENLİK KARŞILAŞTIRMALI YÖN TESPİT YÖNTEMLERİ

Genlik karşılaştırmalı yön tespit yöntemleri olarak, dönen yönlü anten kullanımı ile Watson-Watt yöntemlerinden bahsedilecektir.

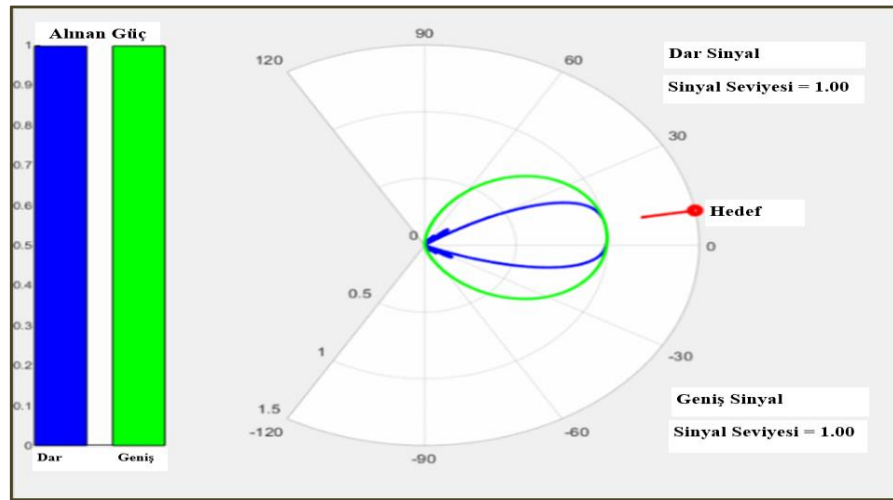
4.1.1 Döner Yönlü Anten Kullanımı

Döner yönlü anten kullanımı yönteminde, dar huzmeli bir yönlü anten kendi etrafında sürekli olarak 360° döndürülür. Horn, spiral, sinüs, vivaldi veya log-periodic antenler bu yöntemde kullanılan anten çeşitleridir.(Lipsky, 2004: 298) Şekil 4.1’de görüldüğü gibi -60° için sinyal seviyesi dar ve geniş huzme için sırasıyla 0.03 ve 0.18 olarak ölçülmüştür.



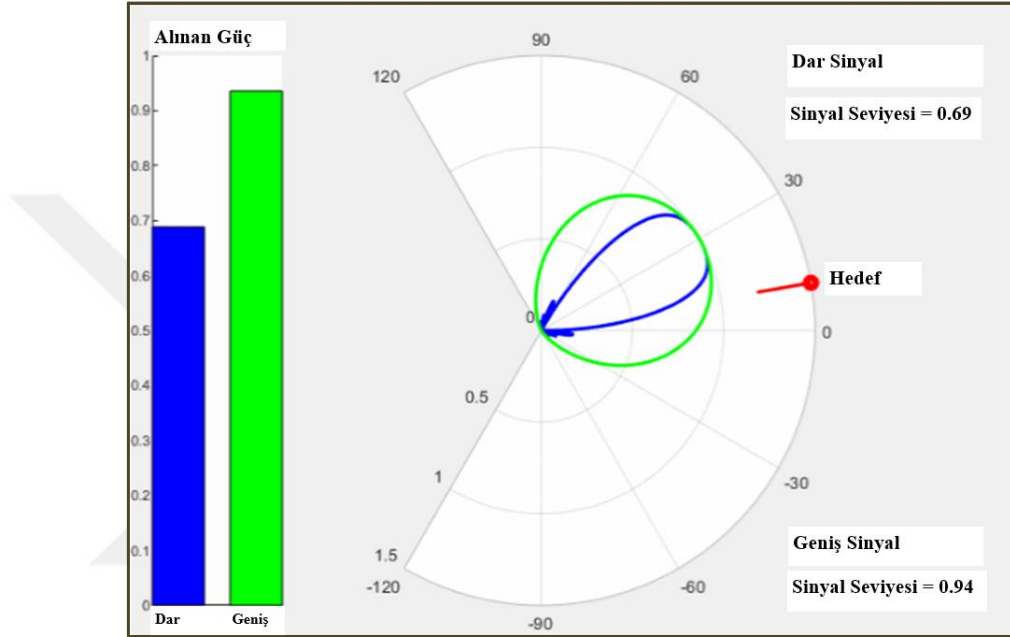
Şekil 4.1: Yönlü Anten Sinyal Seviyesi (-60°)

Anten döndürülmeye devam ettiğinde Şekil 4.2’de gösterildiği gibi 10° ’de (hedef istikametinde) sinyal seviyesi dar ve geniş huzme için 1.00 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.2: Yönlü Anten Sinyal Seviyesi (10°)

Yönlü anten döndürülmeye devam ettiği sürece, hedef istikametine yaklaştıkça sinyal seviyesi giderek artar ve en yüksek olduğu istikamet ise hedef istikametidir. Ancak Şekil 4.3'te görüldüğü gibi hedef istikametinden sonra döndürülmeye devam ederse, elde edilen sinyal seviyesi giderek azalır.



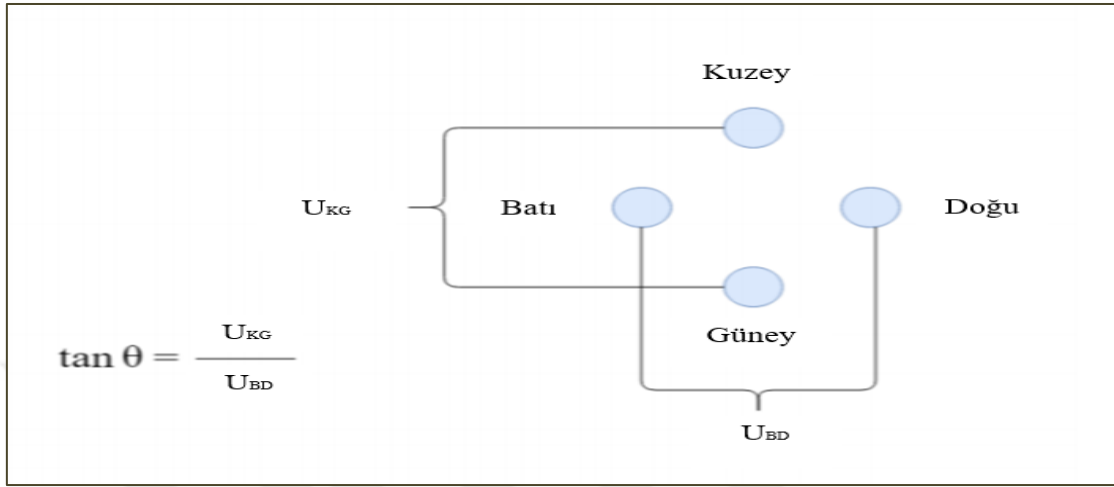
Şekil 4.3: Yönlü Anten Sinyal Seviyesi (30°)

Diğer yöntemler ile kıyaslandığında, yönlü anten kullanımı, diğer yöntemlere göre daha basit, kullanımı kolay ve maliyet açısından daha uygundur. Ancak, dönme hareketine bağlı olarak, özellikle darbe genişliği düşük ve darbe tekrarlama aralığı büyük sinyal formlarının yakalanması ve yön tespitinin yapılması için uygun değildir.

4.1.2 Watson-Watt Yöntemi

Watson-Watt yöntemi, genlik karşılaştırma prensibi temelinde kullanılan en yaygın yöntemdir. İlk olarak Robert Alexander Watson-Watt tarafından atmosferik olayları izlemek amacı ile kullanılması nedeni ile bu ismi almıştır. (Watt 1926: 74) Bu yöntemde genelde Adcock ve döngü (Loop) antenler kullanılır. Bir Adcock anten dizisinde dört anten çiftler halinde gruplandırılır ve her çift bir referans eksenini boyunca konumlandırılır. Şekil 4.4'te gösterildiği gibi çiftlerden biri Kuzey-Güney (K-G) ekseninde (Y), diğeri ise Doğu-Batı (D-B) ekseninde (X) yer alan bir

çifttir.



Şekil 4.4: Watson-Watt Yöntemi ve 4 Dipollü Adcock Anten Dizisi

Anten dizisi, K-G ve D-B eksenini boyunca uzanan her bir anten çifti ile yapılandırıldıktan sonra, ilgili sinyalinin (SOI) varış istikametinin (DOA) belirlenmesi gerekmektedir.

Doğrusal düzlem dalgasının $s(t)$ ve varış istikamet açısının (θ) olduğunu varsayalım. Ayrıca, kuzey istikametinin Y düzleminde, doğu istikametinin X düzleminde olduğu XY düzlemi olsun. Merkez noktasının, XY düzleminin kesiştiği noktada olduğunu ve antenlere olan mesafenin d olduğunu düşünelim. Bu durumda her bir anten voltajı Eşitlik (4.1)'de gösterilmektedir.

$$V_K(t) = s(t) e^{j k d \sin(\theta)} \quad (4.1)$$

$$V_G(t) = s(t) e^{-j k d \sin(\theta)}$$

$$V_D(t) = s(t) e^{j k d \cos(\theta)}$$

$$V_B(t) = s(t) e^{-j k d \cos(\theta)}$$

Burada k , dalga numarasıdır. Kuzey ve güney antenlerine ait voltaj farkına ait denklem ise Eşitlik (4.2)'de gösterilmektedir.

$$V_K(t) - V_G(t) = s(t) (e^{j k d \sin(\theta)} - e^{-j k d \sin(\theta)}) \quad (4.2)$$

Bilinen Eşitlik (4.3) kullanılarak,

$$\sin(x) = \frac{1}{2j}(e^{jx} - e^{-jx}) \quad (4.3)$$

Eşitlik (4.2), Eşitlik (4.4)'te gösterildiği gibi sadeleştirilir.

$$V_K(t) - V_G(t) = s(t)2j \sin(kd \sin(\theta)) \quad (4.4)$$

Dalga sayısının değeri düşük olduğunda, yani $k \ll 1$ ise, $\sin(x) \approx x$ olur. Böylece denklem daha da sadeleşir ve Eşitlik (4.5) elde edilir.

$$V_K(t) - V_G(t) = s(t)2j kd \sin(\theta) \quad (4.5)$$

Benzer şekilde, Doğu ve batı antenleri arası voltaj farkı basit olarak Eşitlik (4.6)'da ifade edilmiştir.

$$V_D(t) - V_B(t) = s(t)2j kd \cos(\theta) \quad (4.6)$$

Geliş açısı ise Eşitlik (4.7) sayesinde bulunur;

$$\frac{V_{KG}}{V_{DB}} = \frac{V_K(t) - V_G(t)}{V_D(t) - V_B(t)} = \frac{s(t)2j kd \sin(\theta)}{s(t)2j kd \cos(\theta)} = \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta)} \quad (4.7)$$

ve Eşitlik (4.8) ile hesaplanır.

$$\theta = \arctan \frac{V_{KG}}{V_{DB}} \quad (4.8)$$

Sonuç olarak, Eşitlik (4.8)'den anlaşılacağı üzere sinyalin seviyesi her antenden alınan sinyal seviyeleri kullanılarak belirlenir ve genlik seviyeleri oranlandıktan sonra ters tanjant dönüşümü ile geliş açısı tespiti yapılır.

Watson-Watt yöntemi, uygulamasının kolay olması ve yer ihtiyacının az olması sayesinde taşınabilir sistemlerde kullanılabilmektedir. Dezavantaj olarak, darbe genişliği düşük kısa süreli sinyallerde ve darbe tekrarlama aralığı büyük sinyallerde yön bulma işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Çapraz döngü anten kullanıldığında, antenlerin kısa açıklığı nedeni ile

çok yollu sinyal yayılımlarının fazla olduğu ortamlarda hatalar meydana gelir. Adcock antenleri sayesinde, antenler arası mesafe açılabilirdiğinden çok yolluluk etkisi ile oluşan hata indirgenebilir (Poisel, 2014: 319)

4.2 FAZ KARŞILAŞTIRMALI YÖN TESPİT YÖNTEMLERİ

Doppler etkisinin kullanımı ve interferometri yöntemleri, faz karşılaştırmalı yön tespit yöntemleridir.

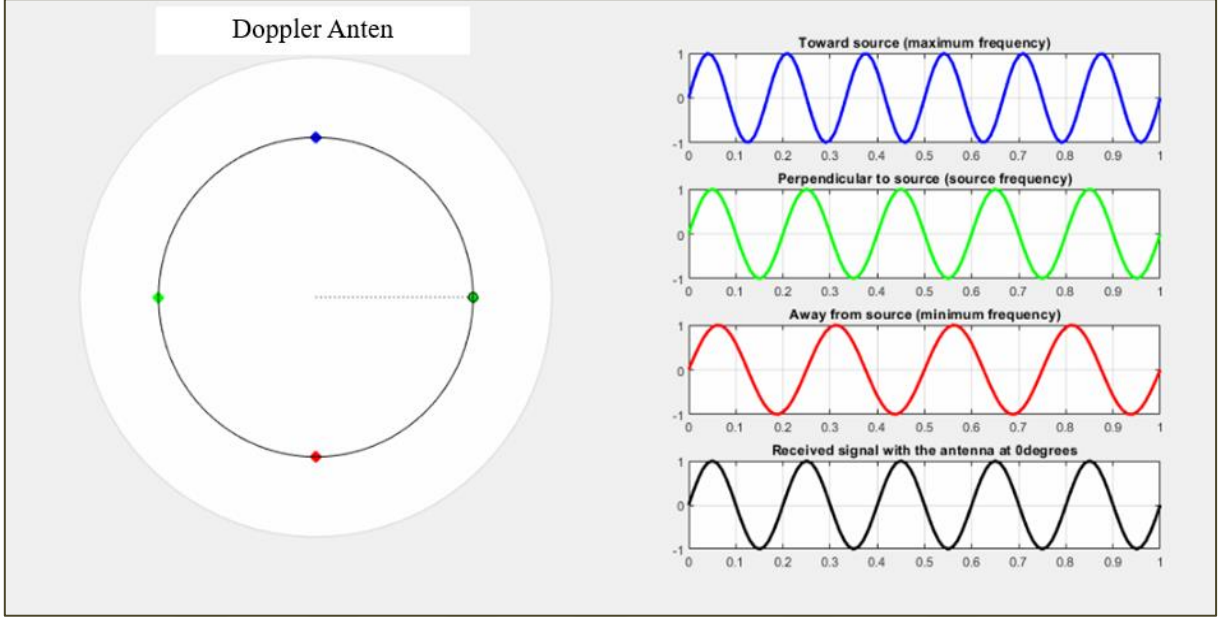
4.2.1 Doppler Yöntemi

Doppler yön tespit yöntemi, 1842 yılında Avusturyalı fizikçi Christian Doppler tarafından tanımlanan “Doppler Etkisi”nden ortaya çıkmıştır. Doppler etkisi, hareket eden bir kaynaktan alıcıya gelen dalga frekansının kaynak ve alıcının göreceli hızı ile orantılı olarak değişimi olarak tanımlanır. Bu tanıma göre, hareket eden kaynak alıcıya yaklaştıkça dalga frekansı yükselir, uzaklaştıkça azalır (Kebeli, 2015: 13).

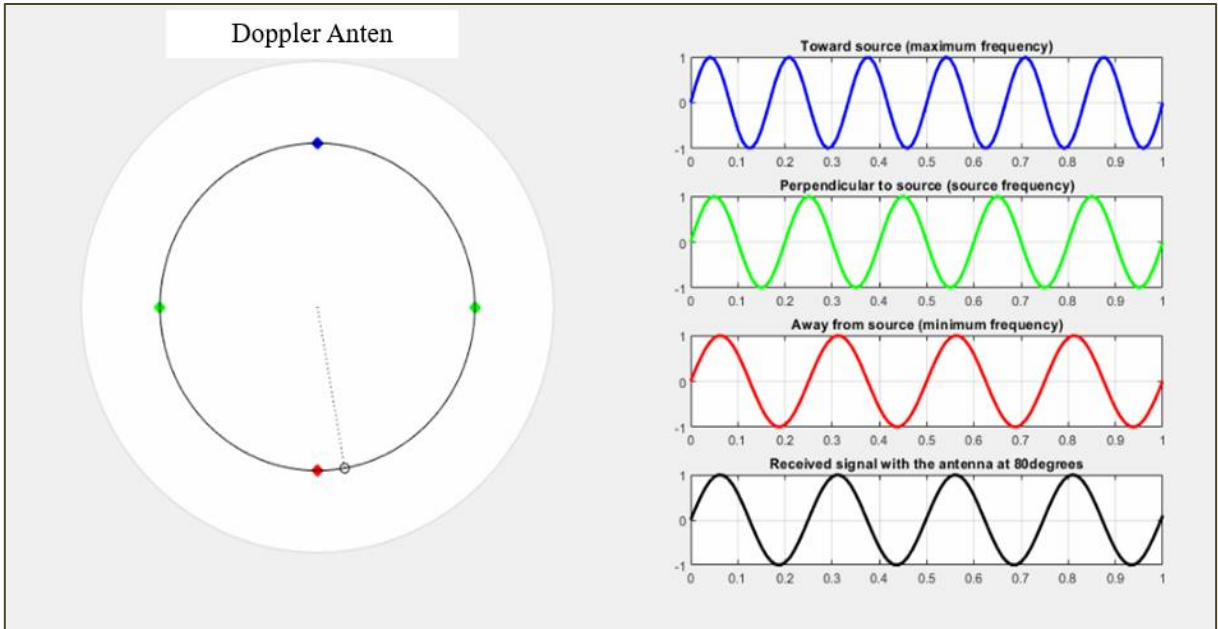
Earp and Godfrey of Standard Telephones and Cables Ltd, ilk kez 1947 yılında “Doppler Etkisi”ni resmi olarak Doppler yön tespitine uyarlamıştır (Products, 1998). Yöntemde dairenin çevresinde fiziksel olarak döndürülen çok yönlü bir antene bağlı tek bir alıcı kullanılır. Anten sinyal kaynağına doğru ilerledikçe Doppler Etkisi alınan frekansı artıracak ve anten kaynaktan uzaklaştıkça alınan frekans azalacaktır.

Anten yörüngesi boyunca hareket ederken farklı konumlarda alınan frekans, Şekil 4.5’te 0^0 , Şekil 4.6’da 80^0 , Şekil 4.7’de 180^0 ve Şekil 4.8’de 260^0 için gösterilmiştir. Anten sinyal kaynağından uzaklaştıkça kırmızı renkli grafikte gösterildiği gibi frekans azalır, sinyal kaynağına yaklaştıkça mavi grafikte gösterildiği gibi frekans artar. Yeşil grafikte antenin sinyal kaynağına dik konumdaki frekansı, siyah grafikte ise antenin farklı konumları için ölçülen frekans gösterilmektedir. Antenin farklı konumları için alınan frekansın nasıl değiştiği siyah grafikteki frekans görüntüleri kıyaslandığında açıkça görülmektedir. Anten tarafından alınan sinyal, dönmeye bağlı olarak değişen frekans modülasyonlu bir sinyal olacaktır. Anten çıkışı bir demodülatöre bağlandığında, dönmeye bağlı frekans değerine sahip yine aynı sinyal elde

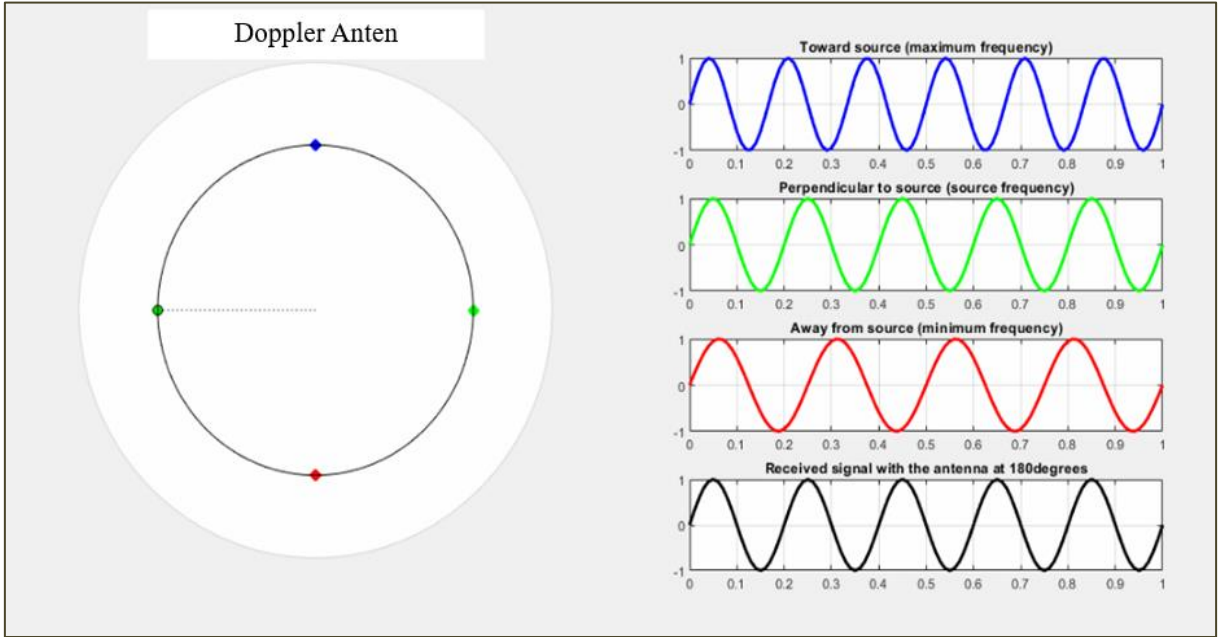
edilecek ve aradaki tek fark sinyalin faz farkı olacaktır. İşte bu faz farkından yararlanılarak sinyal istikameti bulunur (Products, 1998).



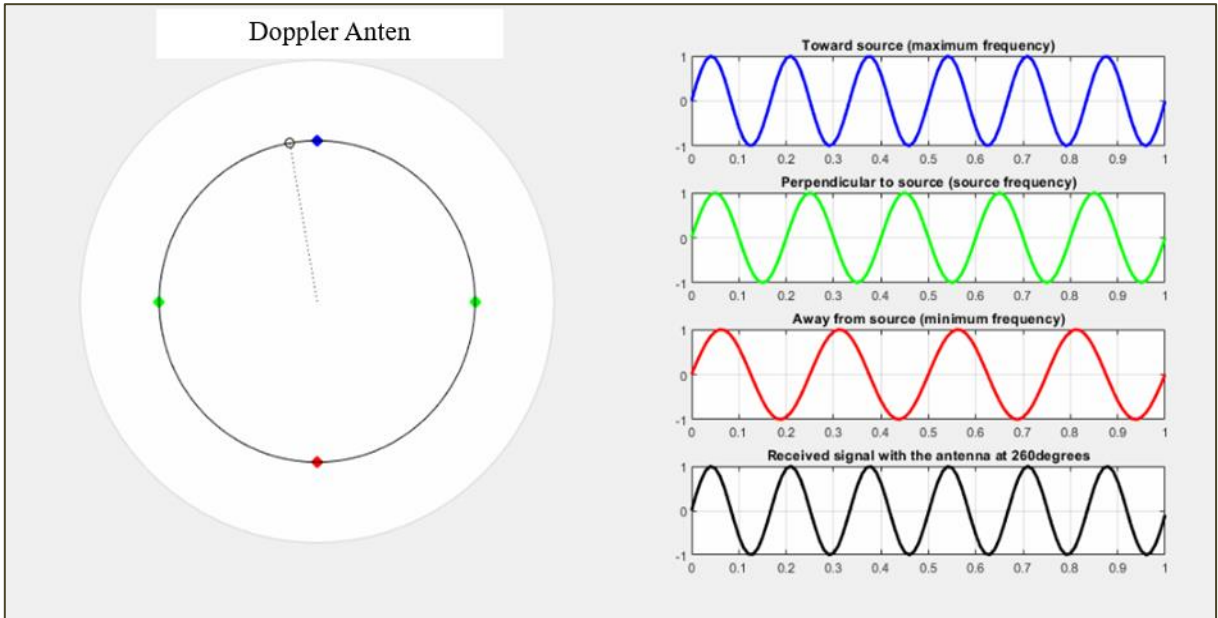
Şekil 4.5: Doppler Antenin 0^0 'de Aldığı Sinyal Frekansı



Şekil 4.6: Doppler Antenin 80^0 'de Aldığı Sinyal Frekansı



Şekil 4.7: Doppler Antenin 180°'de Aldığı Sinyal Frekansı

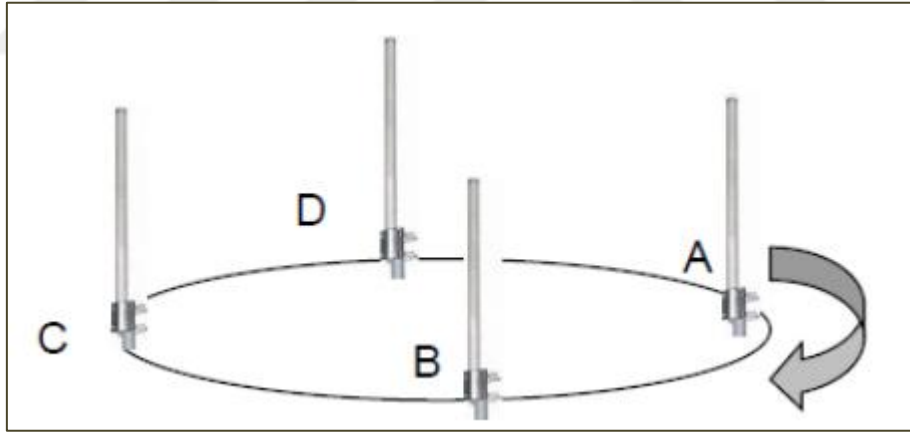


Şekil 4.8: Doppler Antenin 260°'de Aldığı Sinyal Frekansı

4.2.2 Pseudo-Doppler Yöntemi

Pseudo-Doppler yöntemi Doppler yönteminin teknolojik olarak geliştirilmiş halidir. Doppler yönteminde dairesel bir yörüngede hareket ettirilen anten yerine, Pseudo-Doppler yönteminde bu dairesel yörüngeye belirli aralıklar ile antenler yerleştirilir. Bu sayede Doppler yönteminde karşılaşılan anteni döndürme zorluğu ortadan kaldırılmış olur.

Doppler yönteminde, daha önce bahsedildiği gibi, Doppler etkisi ile oluşan frekans kaymasından yararlanılarak sinyal geliş açısı hesaplanır. Ancak antenin belirli ve sabit bir hız ile döndürülmesi zordur. Bu güçlüğü ortadan kaldırmak için Pseudo-Doppler yöntemi geliştirilmiştir. Yöntemde, Doppler frekans kayması eşit ve dairesel olarak yerleştirilmiş alıcı antenlerin anahtarlanarak değiştirilmesi ile oluşturulur. Anten çıkışı ise bir demodülatöre bağlanarak demodülatörün çıkışından elde edilen bilgiler kullanılmak suretiyle faz farklılığı belirlenir ve sinyal istikameti hesaplanır (Cianos, 1993: 372-376).



Şekil 4.9: Dört Antenli Pseudo-Doppler Yöntemi

Şekil 4.9’da birbiri ile aynı özellikte dört adet anten dairesel bir yörüngede ve birbirine kaynak sinyal dalga boyunun (λ) yarısı veya daha az bir mesafede olacak şekilde yerleştirilmiştir. Her bir anten tarafından alınan sinyal bir önceki anten tarafından alınan sinyal ile karşılaştırıldığında bir faz kaymasına sahip olacaktır. Faz kaymasının derecesi, sinyal dalgasının geliş açısına, frekansa ve antenin konumuna bağlıdır. Bu kapsamda; her bir anten tarafından oluşturulan sinyali Eşitlik (4.9)’da olduğu gibi ifade edebiliriz;

$$S(t, i) = I(t) X_i \quad (4.9)$$

Her bir anten için,

$$X_i = e^{j\frac{2\pi r}{\lambda} \cos(-\frac{2\pi i}{N} + \Phi_{AOA})} = e^{j\theta_i(\Phi_{AOA})} \quad (4.10)$$

$I(t)$ anten dizisinin merkezinde alınan sinyal değeri, r anten diziliminin metre cinsinden yarıçapı, λ sinyalin metre cinsinden dalga boyu, N dizilimdeki anten sayısı, Φ_{AOA} sinyal geliş açısı ve i kaçınıcı anten olduğudur.

Anten çıkışı demodülatöre bağlanıp, demodülatörün çıkışından elde edilen bilgiler filtrelendiğinde bir sinüs dalgası oluşturulur. Oluşan sinüs dalgalarının faz değişimlerinden faydalanmak suretiyle sinyal geliş istikameti hesaplanır.

4.2.2 İnterferometri Yöntemi

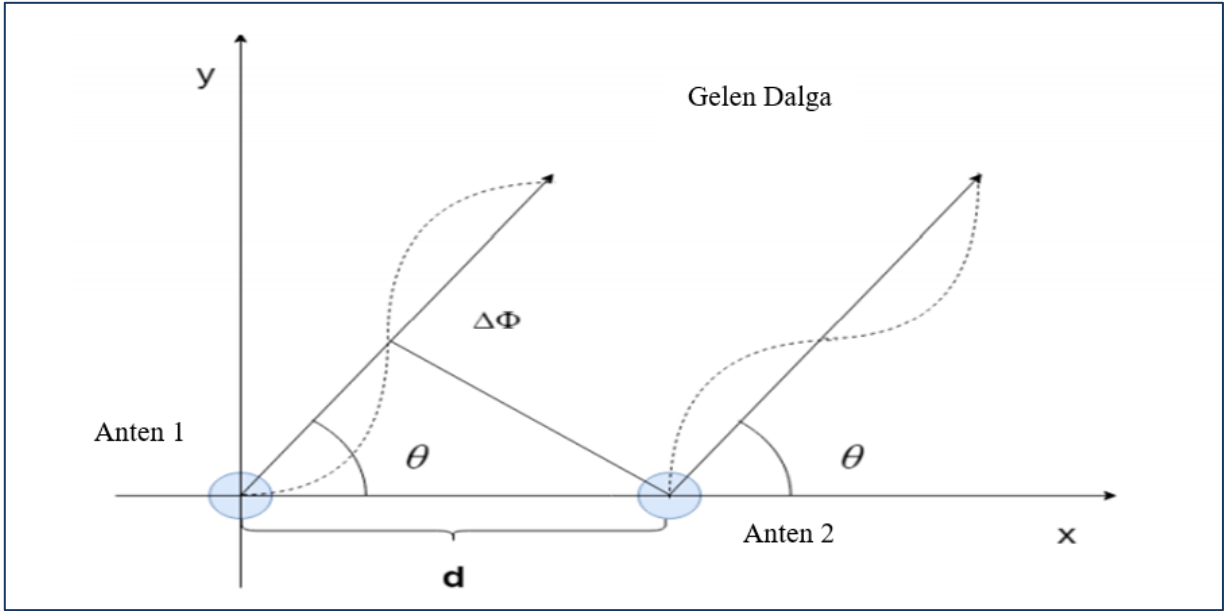
İnterferometri yönteminde, antenler arasındaki faz farkı ölçülmektedir (Jacobs and Ralston 1981). Şekil 4.10'da gösterildiği gibi iki adet anten birbirine d mesafesi kadar uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilmiştir. Sinyal dalgasının antenlere θ açısı ile geldiğini ve antenlere gelen dalganın faz farkını $\Delta\Phi$ olduğunu farz edersek;

Antenler arasındaki faz farkı Eşitlik (4.11)'de,

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \theta \quad (4.11)$$

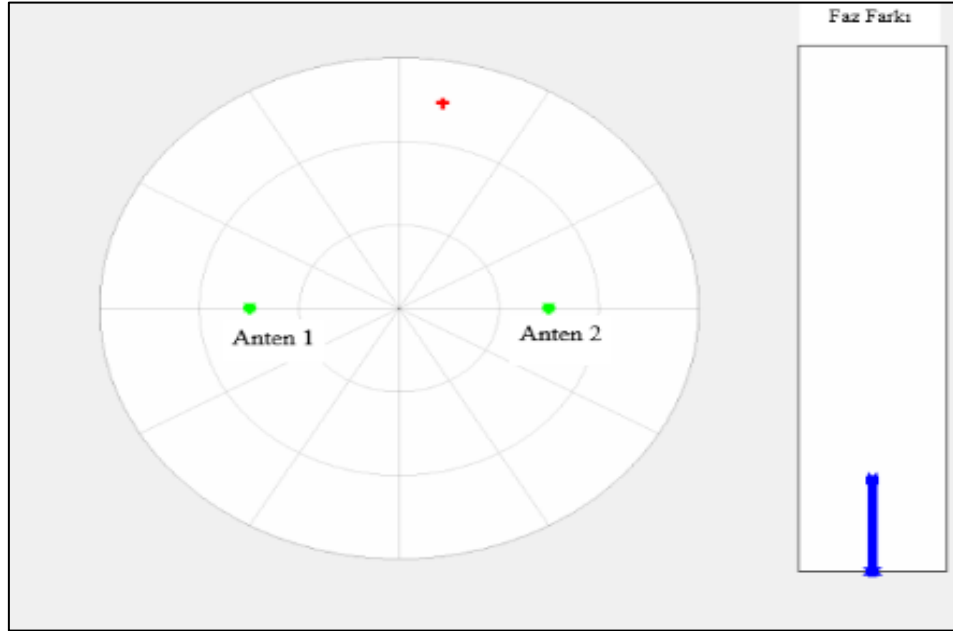
Sinyal geliş açısı ise Eşitlik (4.12)'de gösterilmiştir.

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\lambda\Delta\Phi}{2d\pi}\right) \quad (4.12)$$

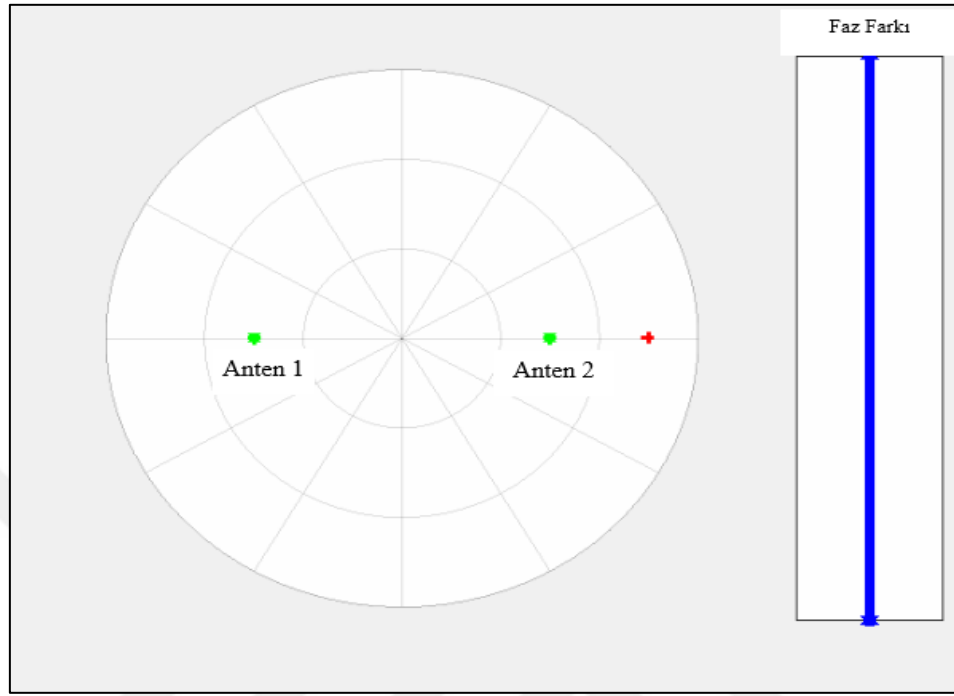


Şekil 4.10: İki Anten Arası Faz Farkı

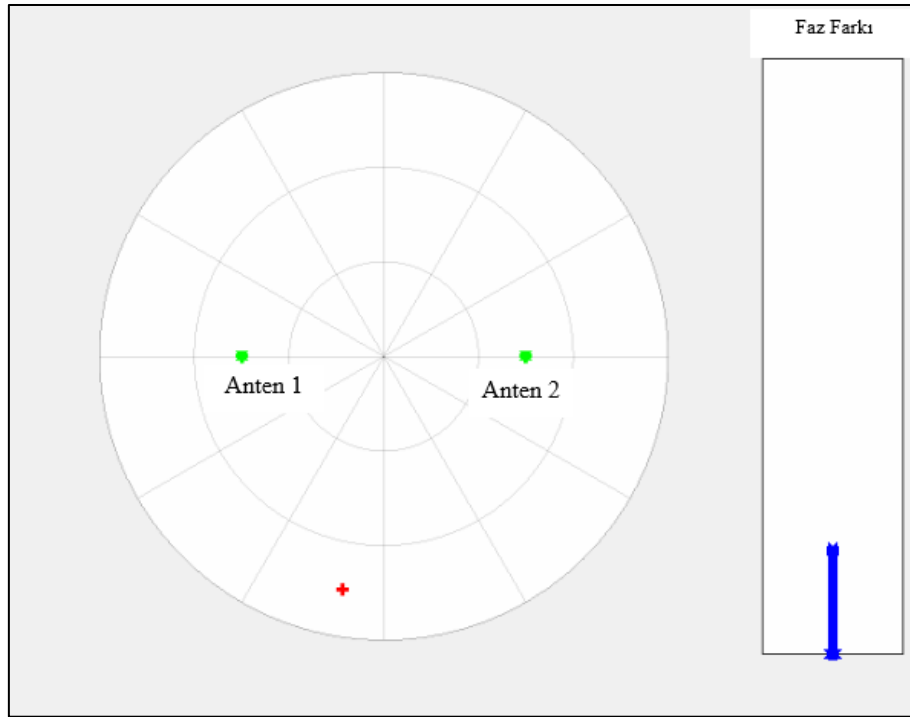
Antenler arasındaki faz farkı, sinyal kaynağının konumuna göre değişir. Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te sinyal kaynağının farklı konumları için antenler arasında oluşan faz farkı gösterilmektedir.



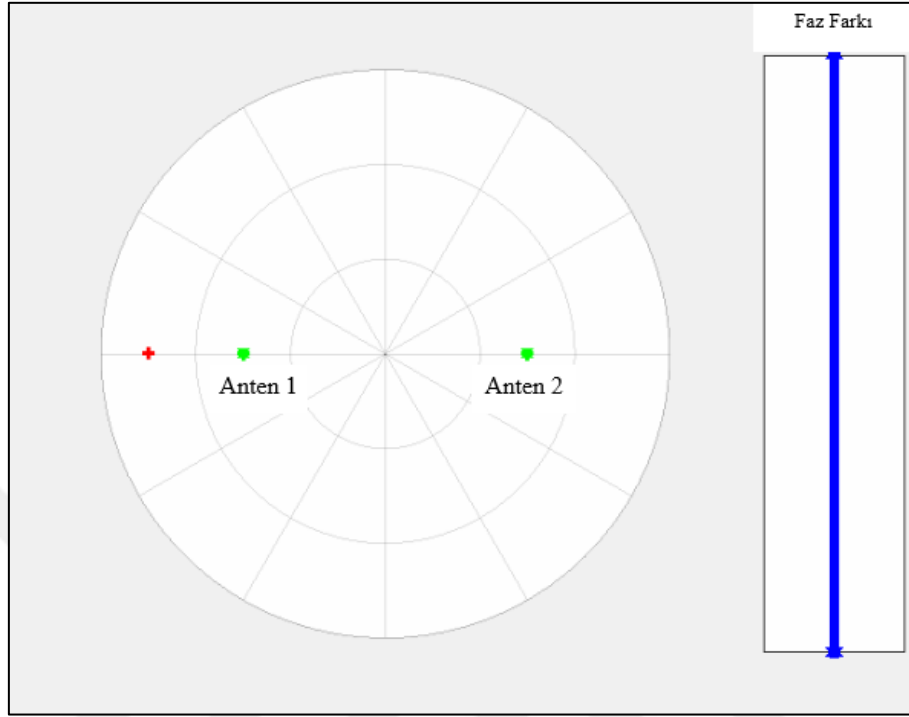
Şekil 4.11: Antenler Arası Faz Farkı (Sinyal Kaynağı 10^0)



Şekil 4.12: Antenler Arası Faz Farkı (Sinyal Kaynağı 90^0)



Şekil 4.13: Antenler Arası Faz Farkı (Sinyal Kaynağı 190^0)



Şekil 4.14: Antenler Arası Faz Farkı (Sinyal Kaynağı 270°)

4.3 YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜK YÖN TESPİT YÖNTEMLERİ

Yön tespit algoritmaları genel olarak iki ana gruba ayrılır. Bunlar, geleneksel algoritma (geleneksel hüzmleme yöntemi, MVDR hüzmleme) ve alt uzay algoritması (MUSIC)'dır.

4.3.1 Geleneksel Hüzmleme

Geleneksel hüzmleme yöntemi (CBF) Bartlett yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Yöntem, ilgili açısal bölgenin taranarak gelen dalganın gücünün her geliş açısında ölçülmesi temeline dayanır. En yüksek gücün ölçüldüğü geliş açısı sinyalin geliş açısı olacaktır.

Bir hüzmleme sistemi Eşitlik (4.13)'te olduğu gibi ifade edilir;

$$y[n] = \sum_{k=1}^N w_k x_k[n] \quad (4.13)$$

$x_k[n]$, n anında alınan sinyal, w_k hüzmlemenin ağırlık vektörü, N anten dizilimindeki anten sayısıdır.

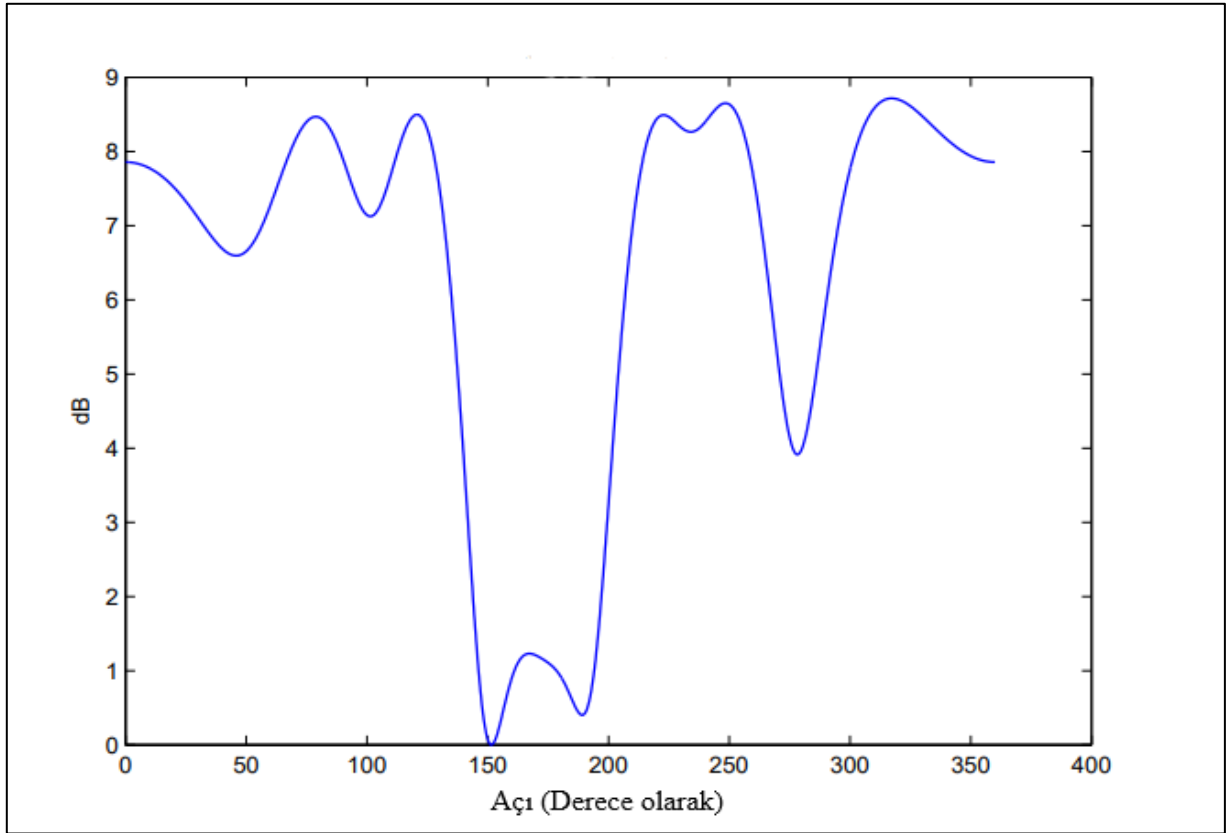
Eşitlik (4.13)'te bulunan vektörü, $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ ve $x_n = [x_1[n], x_2[n], \dots, x_N[n]]^T$ olarak ifade edersek Eşitlik (4.14) elde edilir.

$$y[n] = w^H x_n \quad (4.14)$$

Böylece, her bir geliş açısının gücü Eşitlik (4.15) ile ölçülür.

$$P(\theta) = E[|w^H x_n|^2] \quad (4.15)$$

Şekil 4.15'te farklı açılar için klasik hüzmleme yöntemi ile geliş açısı tahmini gösterilmektedir.



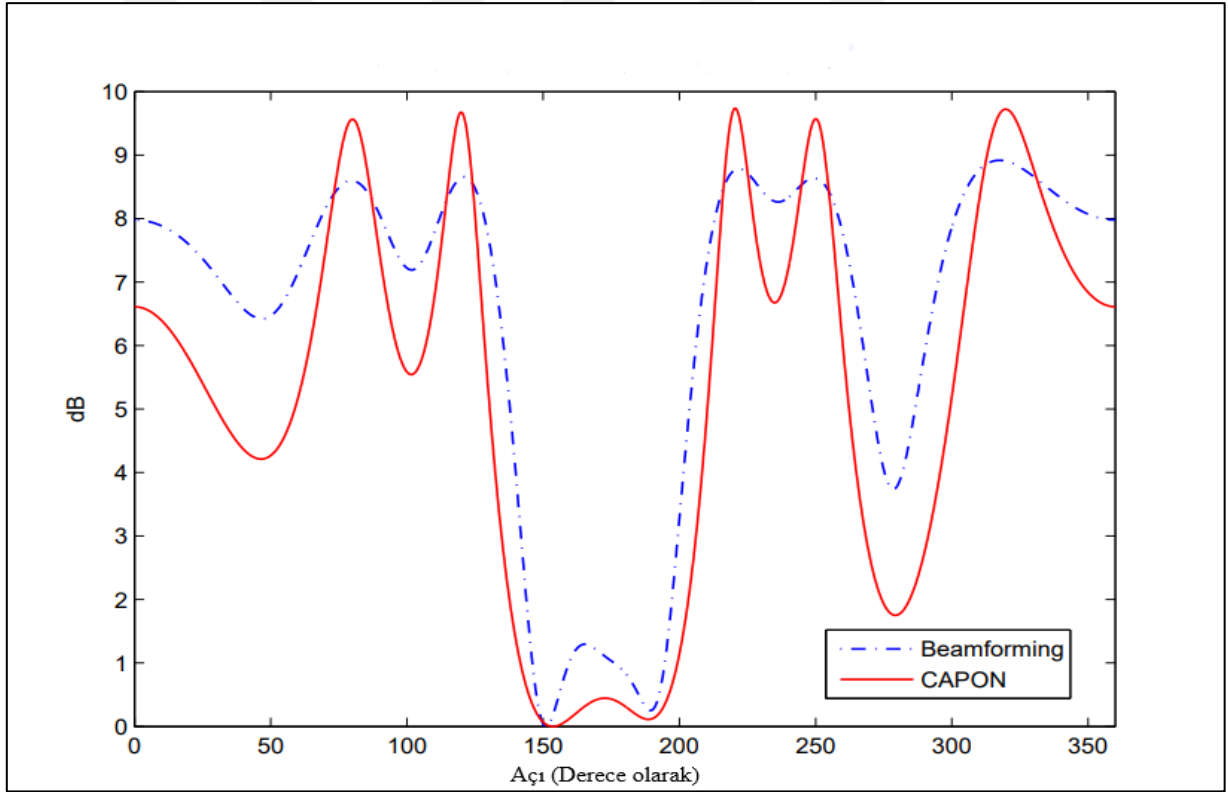
Şekil 4.15: Farklı Açılar İçin Klasik Hüzmleme Yöntemi İle Geliş Açısı Tahmini

Hesaplama açısından basit olmasına rağmen, klasik hüzmlemelerde yan lobların yükseklik ve genişlikleri yüksektir. Her ne kadar sinyal kaynağı açısında oluşan lobun genişliği dar olsa da yan lobların uzun olması yöntemin çözünürlük seviyesini düşürür (Kebeli, 2015: 19).

4.3.2 MVDR Hüzmeleme Yöntemi

MVDR veya Capon's minimum variance distortionless response olarak bilinen yöntem, 1969 yılında J.Capon tarafından önerilmiştir (Capon, 1969: 1408-1518). Mümkün olan her geliş açısı için sinyalin gücünün ölçülmesi prensibine dayanması nedeniyle klasik hüzmeleme yöntemine çok benzer. Yöntemde, hüzme kazancı, sinyalin geliş açısında 1'e ayarlanarak diğer yönlerden gelen sinyallerin çıkış gücü en aza indirilir. Aslında bu kasıtlı olarak yapılan bir küçültmedir.

Şekil 4.16'da farklı açılar için klasik ve Capon's MVDR hüzmeleme yöntemleri ile geliş açısı tahmini karşılaştırması gösterilmektedir.



Şekil 4.16: Farklı Açılar İçin Klasik ve Capon's MVDR Hüzmeleme Yöntemleri İle Geliş Açısı Tahmini Karşılaştırması

MVDR hüzmeleme, klasik hüzmelemeye göre daha yüksek çözünürlük sağlar ancak, yüksek düzeyde korelasyonlu sinyallerin mevcut olması durumunda zayıf duruma gelebilecek bir ters matris hesaplaması gerekli olması dezavantaj olarak karşımıza çıkar (Foutz, Spanias, and

Banavar, 2008: 1-79).

4.3.3 MUSIC (Multiple Signal Classification) Yöntemi

MUSIC algoritması 1976 yılında Schmidt tarafından önerilmiştir (Schmidt 1986). Yöntem, giriş kovaryans matrisinin değerlerini kullanarak gelen sinyal sayısını ve geliş istikametini doğrulukla hesaplayabilen alt uzay tabanlı bir yöntemdir.

Bir doğru boyunca ve birbirine eşit uzaklıkta yerleştirilmiş M adet antenden oluşan bir anten dizisi düşünelim. Bu anten dizisine D adet sinyal kaynağından toplamda alınan işaret Eşitlik (4.16)'da gösterildiği gibi ifade edilir (Schmidt, 1986: 276-280).

$$u(t) = \sum_{i=0}^{D-1} a(\theta_i) s_i(t) + n(t) \quad (4.16)$$

Anten dizisi çıkışından alınan ve $u(t)$ ile ifade edilen toplam işaret Eşitlik (4.17)'de gösterilmiştir.

$$u(t) = [a(\theta_0) \ a(\theta_1) \ \dots \ a(\theta_{D-1})] \begin{bmatrix} \mathbf{S0}(t) \\ \mathbf{S1}(t) \\ \vdots \\ \mathbf{SD-1}(t) \end{bmatrix} + n(t) \quad (4.17)$$

$$= \mathbf{A} \mathbf{s}(t) + n(t)$$

Eşitlik (4.17)'de bulunan $\mathbf{S}(t) = [S_0(t) \ S_1(t) \ \dots \ S_{D-1}(t)]^T$ gelen işarete ait vektör, $\mathbf{n}(t) = [n_0(t) \ n_1(t) \ \dots \ n_{m-1}(t)]^T$ gürültü vektörüdür. $a(\theta_j)$, j 'inci işarete ait geliş açısına karşılık dizi izleme vektörüdür.

Anten dizisi çıkışından alınan toplam işaret kullanılmak suretiyle elde edilen kovaryans matrisi Eşitlik (4.18)'de gösterilmiştir.

$$\mathbf{R}_{uu} = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \mathbf{u}_k \mathbf{u}_k^H \quad (4.18)$$

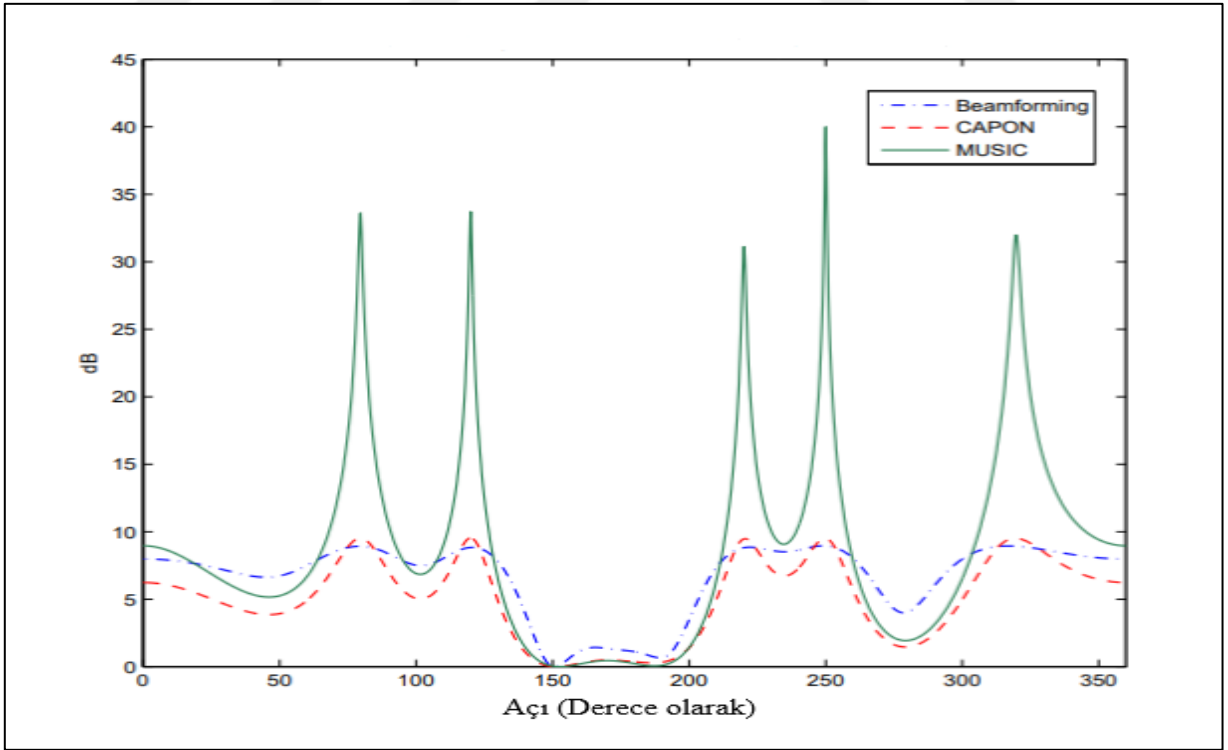
Daha sonra, R_{uu} matrisine $R_{uu} V = V\Lambda$ olacak şekilde özdeğer ayrışımı uygulanır. $\Lambda = \text{diag}\{\lambda_0, \lambda_1, \lambda_{M-1}\}$ özdeğerler ve $V = [q_0 \ q_1 \ \dots \ q_{M-1}]$ özvektörler hesaplanır. R_{uu} matrisinin özdeğerlerinden K tanesi 0 değerini alır ve gelen D işaret sayısı, $D = M - K$ olarak bulunur (Schmidt, 1986: 276-280).

Müteakiben MUSIC spektrum ifadesi Eşitlik (4.19)'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$P_{MUSIC}(\theta) = \frac{\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{a}(\theta)}{\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{V}_n \mathbf{V}_n^H \mathbf{a}(\theta)}, \quad \mathbf{V}_n = [q_D \ q_{D+1} \ \dots \ q_{M-1}] \quad (4.19)$$

$P_{MUSIC}(\theta)$ ifadesinde, D adet tepe değeri bulunarak işaretlere ait geliş açıları hesaplanır (Liberti and Rappaport 1999).

Şekil 4.17'de Klasik, Capon's MVDR hüzmleme ve MUSIC yöntemlerinin farklı açılar için karşılaştırılması gösterilmektedir. Diğer yöntemlere göre MUSIC yönteminin daha iyi performans gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.17: Farklı Açılar İçin Klasik, Capon's MVDR Hüzmleme ve MUSIC Yöntemleri İle Geliş Açısı Tahmini Karşılaştırması

5. KÜÇÜK SEVİYE ASKERİ BİRLİK KOMUTANI İÇİN MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

Harekâtı seviyelerine göre incelediğimizde, küçükten büyüğe doğru taktik, operatif ve stratejik seviye olmak üzere üç seviyeye ayırabiliriz. Bu kapsamda, tümen ve daha küçük birlikler taktik seviye, ordu ve kolordu birlikleri operatif seviye ve kuvvet komutanlıkları ile daha üst birlikler ise stratejik seviye olarak kabul edilir.

Savaş alanının değişen ortamı, karar vericiyi kısa süre içinde durumu değerlendirerek uygun birlikleri harekâta sokmaya zorlar. (Chmielewski, 2020: 559-566). Harekât alanına sevk edilen ve taktik seviyedeki muharebeleri icra eden bu küçük seviye birliklerin kullandıkları taktikler ve sahip oldukları teçhizat ise sürekli değişim halindedir. Günümüzde, taktik seviyede harekât icra eden komutanlar kendilerine yardımcı olan özel yazılım yüklü mobil cihazlar ile donatılmıştır (Chmielewski, 2020: 559-566).

Özellikle iç güvenlik harekât ortamında, küçük seviye askeri birlik komutanı terörist unsurlar hakkında birçok bilgiye ihtiyaç duyar. Harekâtın planlanması safhasında, arazide ihtiyaç duyulan bilginin bir kısmı çeşitli vasıtalar aracılığı ile üst komutanlık tarafından ast unsurlara sağlanır. Ancak harekât esnasında, değişen duruma yönelik ilave bilgilerin elde edilmesi dost unsurların bekası açısından çok önemlidir. Bu ihtiyaç duyulan bilginin başında, terörist unsurların arazideki konum bilgisi gelir.

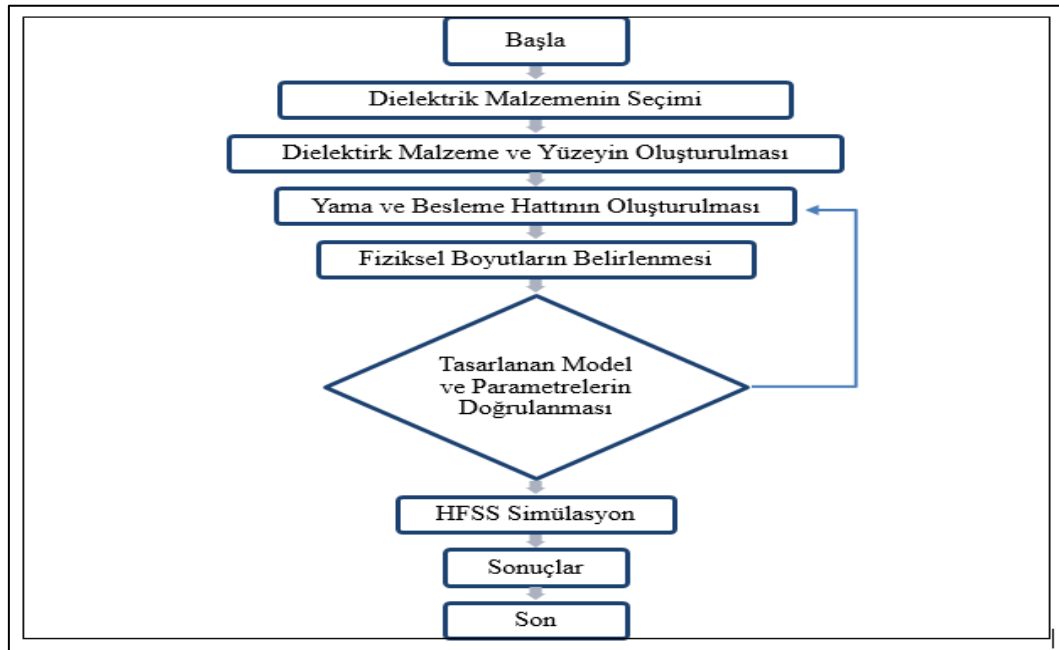
Hedef unsur konumu hakkında bilgi sahibi olunması yanında dost unsur konumunun tespiti de önem taşımaktadır. Küçük seviye askeri birlik komutanının, özellikle görüş şartlarının az ve ilerlemenin zor olduğu arazide, kendi birlik personelinin istikametini tespit edebilmesi ile dost ateşlerini doğru olarak planlaması kolaylaşır ve emir komuta kabiliyeti artar.

Bu bölümde, küçük askeri birlik seviyesinde komutanın ihtiyaçları doğrultusunda, birlik komutanının emir komuta ettiği birlik personelinin arazideki konumunu tespit edebilmesi için maksadıyla dost telsiz yön tespitinde kullanılacak mikroşerit anten tasarımı HFSS 15.0 programı vasıtasıyla yapılmıştır. Bu maksatla, ilk olarak tek yama anten tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan tek yama anten boyutlarında değişiklik yapılmak suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal

tek yama anten elde edilmeye çalışılmıştır. İkinci olarak, elde edilen en ideal tek yama anten boyutlarından faydalanmak suretiyle 2x1 yama dizi anten tasarımı yapılmıştır. Tek yama antende olduğu gibi tasarımı yapılan 2x1 yama dizi antende de boyutlar değiştirilmek suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal 2x1 yama dizi anten elde edilmeye çalışılmıştır. Üçüncü olarak, elde edilen en ideal 2x1 yama dizi anten boyutlarından faydalanmak suretiyle 2x2 yama dizi anten tasarımı yapılmıştır. Tek yama anten ve 2x1 yama dizi antende olduğu gibi tasarımı yapılan 2x2 yama dizi antende de boyutlar değiştirilmek suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal 2x2 yama dizi anten elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen en ideal tek yama anten, 2x1 yama dizi anten ve 2x2 yama dizi anten belirlenen kıstaslar açısından birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Geleneksel antenlere göre mikroşerit yama antenlerin daha hafif, daha düşük maliyetli ve düşük profile sahip olması bakımından yaya intikal halinde olan hareketli unsurlara avantaj sağlaması nedeniyle tasarlanan anten olarak mikroşerit anten tercih edilmiştir.

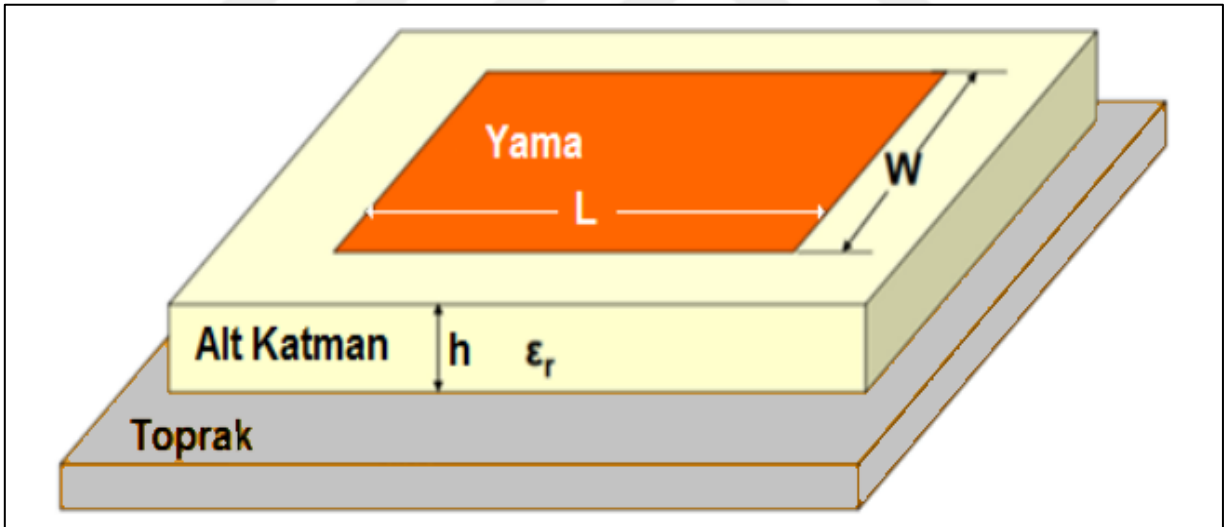
Bu kapsamda, Şekil 5.1’de HFSS 15.0 programı ile anten tasarımının akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 5.1: HFSS Anten Simülasyonu Akış Şeması

5.1 MİKROŞERİT ANTENİN ÖZELLİKLERİ

Şekil 5.2’de gösterildiği gibi mikroşerit anten, iki adet iletken malzeme arasına dielektrik bir malzeme yerleştirilmesi ile elde edilir. İletken malzemelerden birisi toprak, diğeri ise besleme bağlanmak suretiyle ışıma yapan yüzeydir. Profilinin ve boyutlarının diğeri antenlere göre daha küçük olması sayesinde uçak ve insansız hava taşıtları gibi alanlarda yüzeye yapışık olarak kullanılır. Dielektrik malzemenin yüksekliği (h) genelde dalga boyuna oranla çok küçük olarak ($0.003\lambda < h < 0.05\lambda$), dielektrik sabiti (ϵ_r), $2 < \epsilon_r < 12$ olarak, yama uzunluğu ise (L), $3/2\lambda_0 < L < \lambda_0$ olarak seçilir. Dielektrik katsayısı düşük ve kalın malzemeler tercih edilirse bant genişliği artar ve ışıma daha iyi olur ama diğeri malzemelerin boyutları artar. Aksine dielektrik katsayısı yüksek olan ve ince malzeme tercih edilirse kayıp artar ama diğeri malzemelerin boyutları azalır ve bu da kullanışlılığı olumlu yönde etkiler (Constantine A. Balanis, 2016: 283-286).



Şekil 5.2: Mikroşerit Antenin Genel Yapısı

5.2 10 GHZ MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

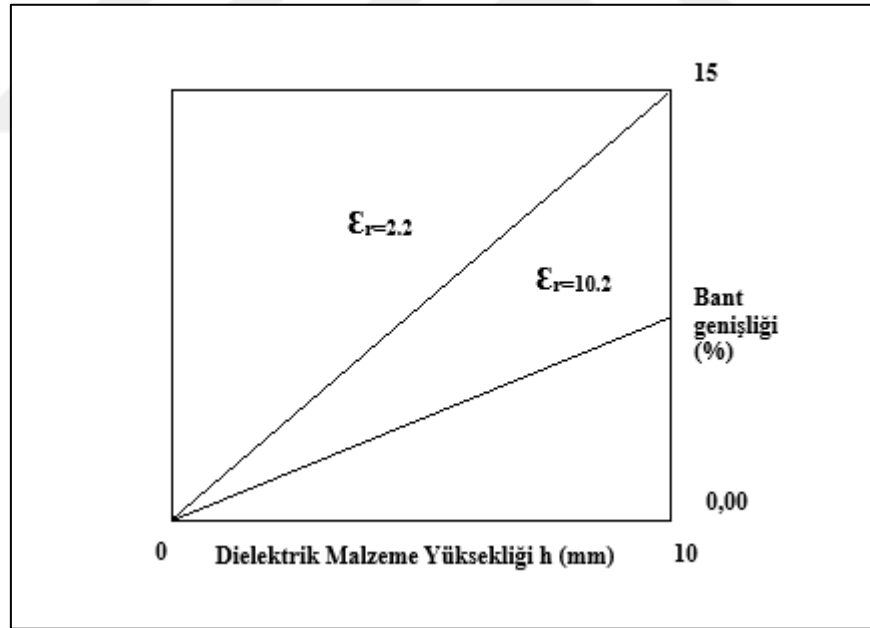
Anten tasarımı ve benzetimi ANSYS HFSS 15.00 programı kullanılmak suretiyle yapılmıştır. Öncelikle tek yama anten, daha sonra 2x1 ve 2x2 dizi yama antenler tasarlanarak birbiriyle karşılaştırılmak suretiyle analiz edilmiştir. Anten tasarımının iyi olması için her bir tasarım için

birden fazla benzetim yapılmıştır.

Daha yüksek kazanç değerleri elde edilebildiği için anten tipi olarak mikroşerit yama anten dizisi seçilmiştir. Tasarımı yapılan antenler kazanç, yönlülük, VSWR, geri dönüş kaybı, bant genişliği, merkez frekansı, ışıma örüntüsü ve hüzme açısı gibi parametreler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

Tasarımı yapılan antenlerin çalışma frekansı, askeri uygulamalarda yaygın kullanımı nedeni ile X bandında bulunan 10 GHz olarak seçilmiştir.

Şekil 5.3'te gösterildiği gibi dielektrik malzemenin yüksekliğinin (h) fazla ve dielektrik katsayısının küçük olması bant genişliğinin yüksek olmasını sağlar. Tasarımda frekans düşük ise, anten boyutlarını düşürmek için dielektrik katsayısı yüksek tutulur.



Şekil 5.3: Dielektrik Malzeme-Bant Genişliği İlişkisi

Bu tasarımda, kalınlığı $h=1$ mm, bağıl geçirgenlik sabiti $\epsilon_r=3.2$ olan Rogers RO4232(tm) alt tabaka malzemesi tercih edilmiştir. Bu seçilen malzemenin, kayıp tanjantı ise ($\delta = 0.0018$)'dir. Tasarlanan tüm antenlerin bağıl geçirgenlik malzeme yüksekliği ise $h=1$ mm'dir. Bu kapsamda, anten parametreleri aşağıda sunulmuştur.

Yalıtkan malzeme = Rogers RO4232(tm)

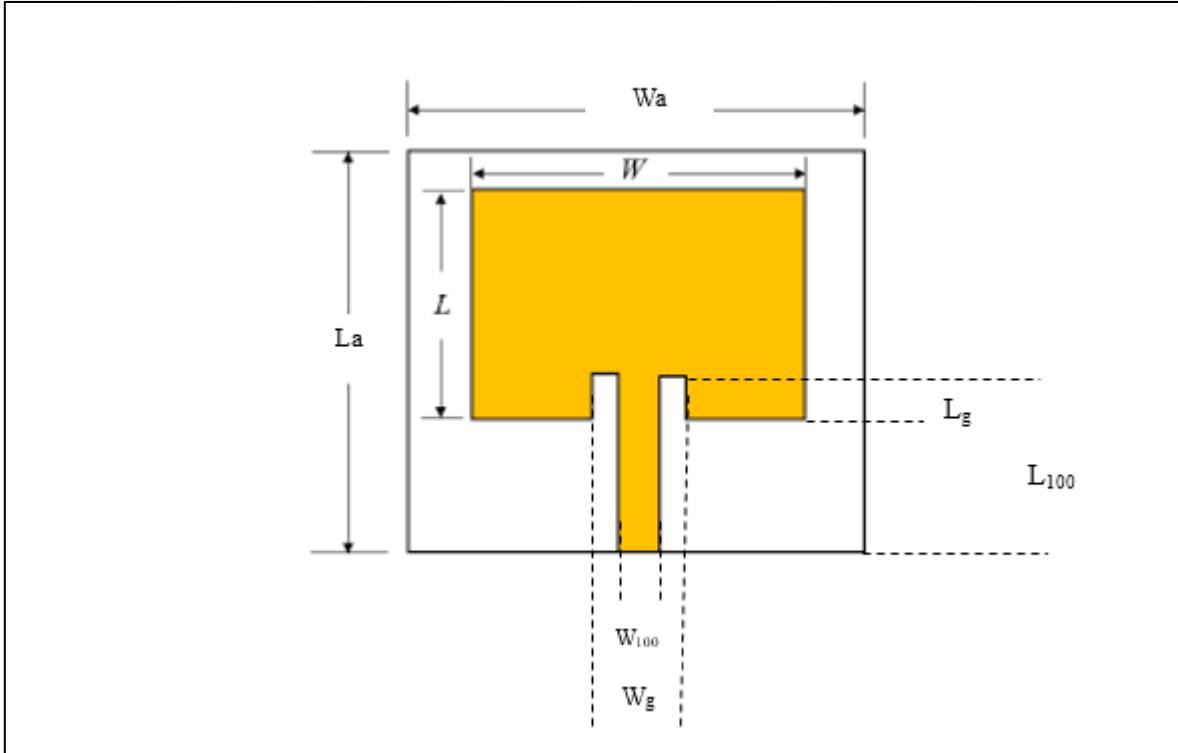
Yalıtkan malzeme dielektrik sabiti $\epsilon_r = 3.2$

Yalıtkan malzeme kalınlığı $h = 1 \text{ mm}$

Dielektrik tanjant kaybı $\delta = 0.0018$

5.2.1 Tek Yama Anten Tasarımı

Tasarımı yapılan tek yama anten temel yapısı Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Şekilde gösterilen L yama antenin uzunluğunu, W yama antenin genişliğini, L_g girinti yüksekliğini, W_g girinti genişliğini, W_{100} giriş empedans genişliğini, L_{100} giriş empedans uzunluğunu, L_a alt tabakanın uzunluğunu, W_a alt tabakanın genişliğini ifade etmektedir.



Şekil 5.4: Tek Yama Anten Tasarımı

Yama boyutunu hesaplariken dielektrik malzemenin dielektrik katsayısı ϵ_r , dielektrik malzemenin yüksekliği h ve belirlenen çalışma frekansı f_c göz önüne alınır. Tasarlanan antenin genişliği Eşitlik (5.1) ile bulunmuştur.

$$W = \frac{c}{2f_c} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (5.1)$$

Bu kapsamda;

$$C = 3 \times 10^8 \text{ m/sn.}$$

$$\epsilon_r = 3.2$$

$$f_c = 10 \text{ GHz} = 10 \times 10^9 \text{ Hz ise yama genişliği } W;$$

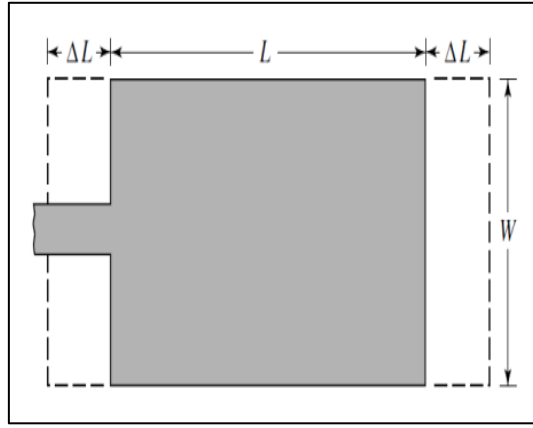
$$W = \frac{c}{2f_c} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 10 \times 10^9} \sqrt{\frac{2}{3.2 + 1}} = 0,015 \times 0,69$$

$$W = 0.01035 \text{ m.} = 10.35 \text{ mm. olarak bulunur.}$$

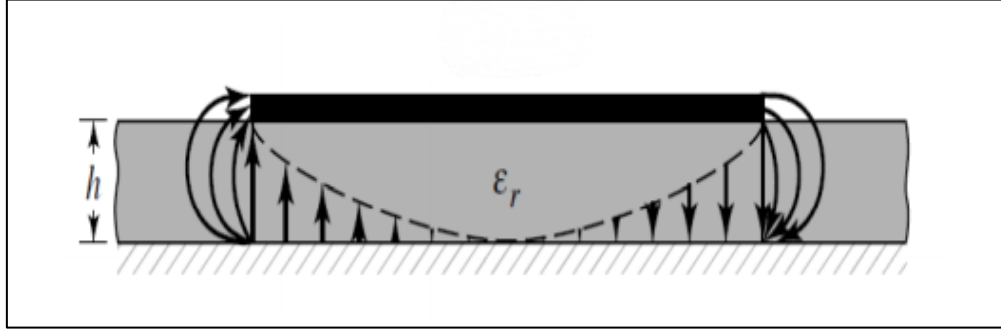
Tasarlanan antenin yüksekliği ise Eşitlik (5.2) ile bulunmuştur.

$$L = \frac{c}{2f_c \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L \quad (5.2)$$

Saçaklanma etkisi sonucunda, anten boyutları normal boyutlardan daha uzun görünür (C. A. Balanis, 2009: 818) Normal boyut ile görünen boyutlar arası fark ΔL ile gösterilir. Şekil 5.6'da aradaki fark gösterilmiştir. ϵ_{reff} , efektif bağıl geçirgenlik sabitidir ve boyut arası farkın ΔL hesaplanmasında kullanılır (C. A. Balanis, 2009: 817)



(a)



(b)

Şekil 5.5: Tek Yama Anten Boyut Farkı

Efektif bağıl geçirgenlik sabiti ϵ_{reff} , Eşitlik 5.3'den,

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12h}{W} \right]^{-1/2} \quad (5.3)$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12h}{W} \right] = \frac{3,2 + 1}{2} + \frac{3,2 - 1}{2} \left[1 + \frac{12 \times 1}{10,35} \right]^{-1/2}$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = 2,1 + 1,1 \times 0,680 = 2,848 \text{ olarak bulunur.}$$

Saçaklanma sonucu oluşan boyut farkı ΔL ise, Eşitlik 5.4'den,

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (5.4)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{\text{eff}} + 0.3)(\frac{W}{h} + 0.264)}{(\epsilon_{\text{eff}} - 0.258)(\frac{W}{h} + 0.8)} = 0,412 \times 1 \times \frac{(2.848 + 0.3)(\frac{10.35}{1} + 0.264)}{(2.848 - 0.258)(\frac{10.35}{1} + 0.8)}$$

$$\Delta L = 0,412 \times 1 \times \frac{(3.148)(10.614)}{(2.59)(11.15)}$$

$$\Delta L = 0,412 \times 1,157$$

$$\Delta L = 0.476 \text{ mm. olarak bulunur.}$$

Böylece tasarlanan antenin yüksekliği Eşitlik (5.2)'den,

$$L = \frac{c}{2fc\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} - 2\Delta L$$

$$L = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 10 \times 10^9 \sqrt{2.848}} - 2 \times 0.476$$

$$L = \frac{0.015}{1.687} - 0.952$$

$$L = 0,0089 \text{ m} - 0.952 \text{ mm}$$

$$L = 8.9 - 0.952 = 7,93 \text{ mm. olarak bulunur.}$$

Bu durumda, $W = 10.35 \text{ mm}$, $L = 7.93 \text{ mm}$. olarak hesaplanmıştır.

Bant genişliğini arttırmak için kullanılan yöntemlerden birisi, antenin besleme hattı ile birleştiği yerden yarıklar açılmasıdır. Tasarlanan antenin bant genişliğini arttırmak maksadıyla bu yöntemden faydalanmak suretiyle, antenin besleme hattının anten ile birleştiği yerden aynı boyutlarda yarıklar açılmıştır.

L_g uzunluğunu bulmak için bu noktada oluşan kapasitans etkisinden yararlanılır. Bu kapasitans çalışma frekansını etkiler. Eşitlik (5.5)'de, R_{in} giriş empedansı, G_1 tek yarık kondüktansı ve G_{12} ortak kondüktansı ifade etmektedir (Yıldıran, 2017: 6).

$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1 + G_{12})} \quad (5.5)$$

R_{in} değerini bulmak için ise aşağıdaki eşitlikler kullanılır (C. A. Balanis 2009: 297-300).

$$G_1 = \frac{I_1}{120 \pi^2} \quad (5.6)$$

$$I_1 = \int_0^\pi \left[\frac{\sin(\frac{k_0}{2} W \cos\Theta)}{\cos\Theta} \right]^2 \sin^3\Theta d\Theta = -2 + \cos(x) + x Si(x) + \frac{\sin(x)}{x} \quad (5.7)$$

$$x = k_0 W \quad (5.8)$$

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi} \int_0^\pi \left[\frac{\sin(\frac{k_0}{2} W \cos\Theta)}{\cos\Theta} \right]^2 J_0(k_0 L \sin\Theta) \sin^3\Theta d\Theta \quad (5.9)$$

Müteakiben, L_g girinti uzunluğu Eşitlik 5.10 ile hesaplanır.

$$Z_0 = R_{in} \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) \quad (5.10)$$

W_g giriş empedans genişliği ise W_{100} değeri ile iki yandaki boşluk genişliği toplamından oluşur. Boşluk değeri Eşitlik 5.11 ile hesaplanır.

$$g = \frac{V_0 x 4.65 x 10^{-12}}{\sqrt{2 x \epsilon_{reff} x f}} \quad (5.11)$$

Bu durumda girinti noktasının uzunluğu $L_g = 2.72$ mm, girinti noktasının genişliği ise $W_g = 0.754$ mm. olarak hesaplanmıştır.

Toprak tabaka ile alt tabaka boyutları uzunluk ve genişlik açısından eşit olarak tasarlanmıştır. Bu kapsamda alt tabaka uzunluk L_a Eşitlik 5.12 ve genişliği W_a Eşitlik 5.13 ile hesaplanır.

$$L_a = 6h + L \quad (5.12)$$

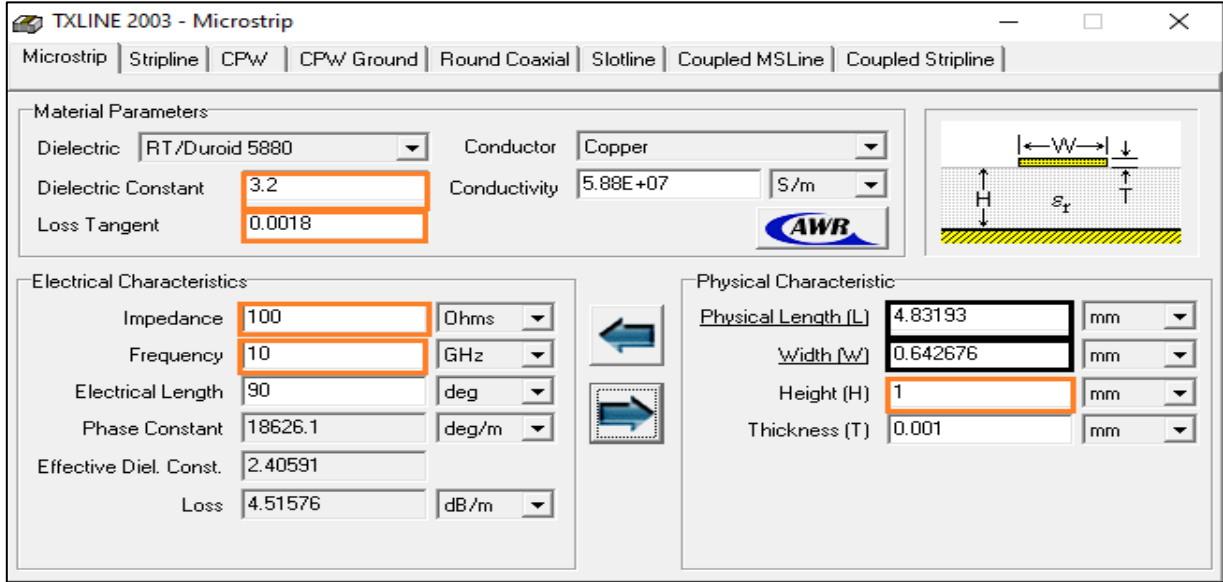
$$L_a = 6x1 + 7.93 = 13.93 \text{ mm olarak bulunur.}$$

$$W_a = 6h + W \quad (5.13)$$

$$W_a = 6x1 + 10.35 = 16.35 \text{ mm olarak bulunur.}$$

Besleme hattının genişliği W_{100} ve uzunluğu L_{100} hesabı, TXLINE 2003 aracı vasıtası ile

yapılmıştır. Şekil 5.6’da TXLINE 2003 aracının ara yüzü gösterilmektedir. Alt tabaka malzemesi olarak seçilen Rogers RO4232(tm) malzemenin bağıl geçirgenlik sabiti $\epsilon_r = 3.2$, yüksekliği $h = 1$ mm ve kayıp tanjantı ($\delta = 0.0018$) ilgili alanlara yazılmıştır.



Şekil 5.6: TXLINE 2003 Hesabı

İlgili alanların doldurulmasını müteakip, besleme hattının boyutları L_{100} ve W_{100} , sırasıyla 4.83 mm. ve 0.64 mm. olarak hesaplanmıştır.

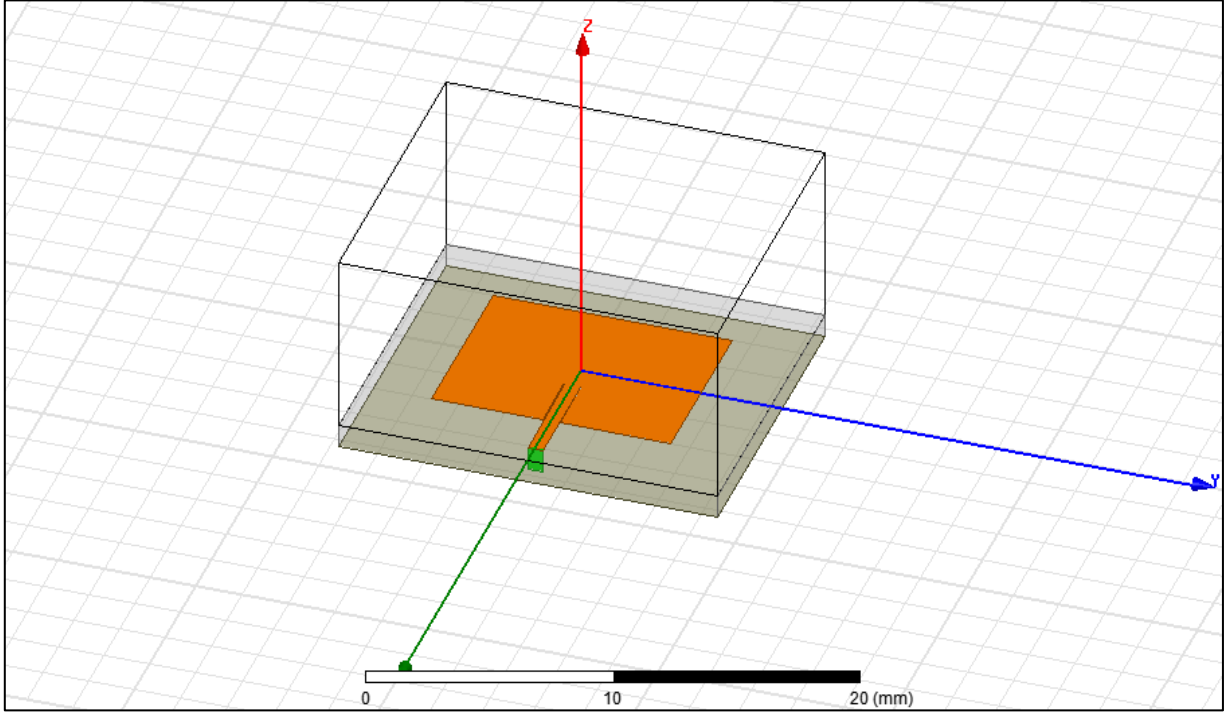
Böylece, tek yama antenin tasarımında kullanılacak tüm hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1: Tasarlanan Tek Yama Antene Ait Boyutlar

S.No	Anten Değer	Hesaplanan Değer (mm)
1	W	10.35
2	L	7.93
3	W_g	0.754
4	L_g	2.72
5	W_{100}	0.64
6	L_{100}	4.83
7	W_a	16.35
8	L_a	13.93

5.2.1.1 Tek Yama Anten Simülasyonu ve Analizi

Tasarım aşamasında, teorik olarak elde edilen ve Tablo 5.1’de gösterilen değerler kullanılmak suretiyle, ANSYS HFSS 15.00 programı yardımıyla tek yamadan oluşan mikroşerit anten oluşturulmuştur. Bu kapsamda, oluşturulan tek yama anten görünümü Şekil 5.7’de gösterilmiştir.

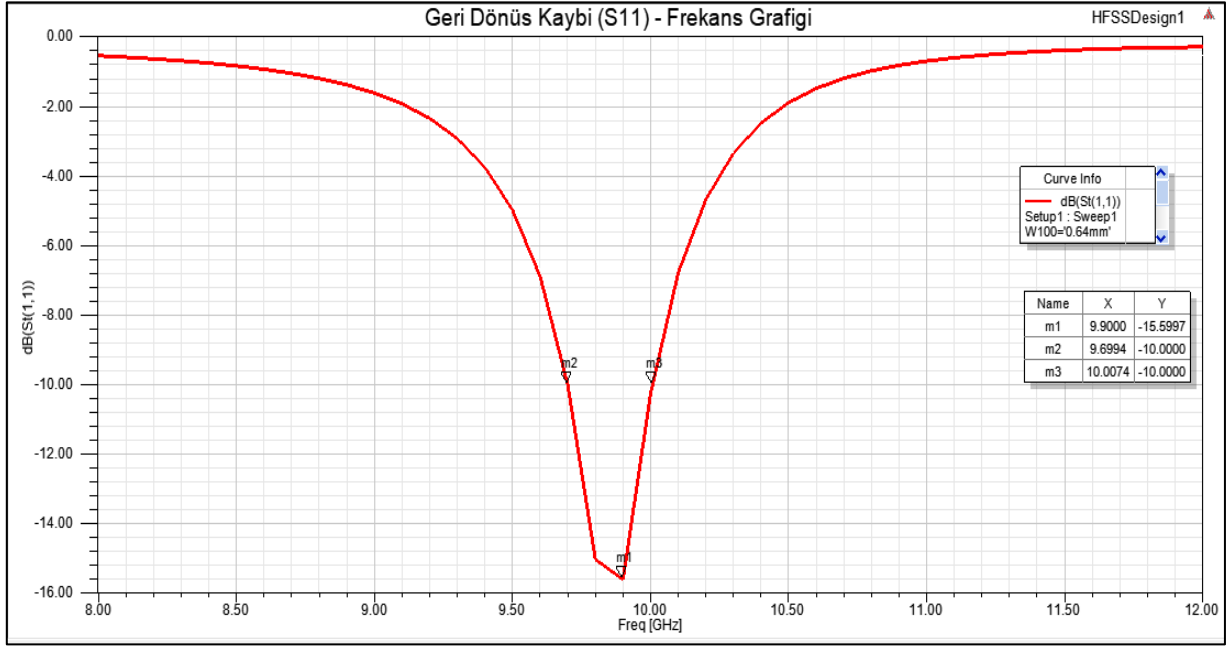


Şekil 5.7: Tasarlanan Mikroşerit Tek Yama Anten Görünümü

Tasarım aşamasında oluşturulan anten, kazanç, yönlülük, VSWR, geri dönüş kaybı, bant genişliği, merkez frekansı, ışıma örüntüsü ve hüzmeye açısı gibi parametreler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Daha sonra, anten boyutları değiştirilmek suretiyle elde edilen antenler birbiri ile karşılaştırılmış ve performans açısından en iyi anten, kazanç, yönlülük, VSWR, geri dönüş kaybı, bant genişliği, merkez frekansı, ışıma örüntüsü ve hüzmeye açısı gibi parametreler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

Öncelikle tasarlanan tek yama antenin bant genişliği ve geri dönüş kaybı değerlendirilmiştir. Şekil 5.8’de geri dönüş kaybı ve frekans grafiği gösterilmektedir. Hesaplanan değerler ile

yapılan tasarım sonucunda, m1 noktası en düşük geri dönüş kaybı değerini ifade etmektedir. Bu anlamda geri dönüş kaybı -15.59 dB olarak bulunmuştur. Bu kapsamda, geri yansımanın fazla olduğu ve anten performansının iyi olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.8: Tasarlanan Tek Yama Anten Geri Dönüş Kaybı (S11) Frekans Grafiği

Şekil 5.8’de gösterildiği gibi, m1 noktası mikroşerit yama antenin merkez frekans noktasını (9.9 GHz), m2 noktası alt sınır frekansını (9.6994 GHz) ve m3 noktası ise üst sınır frekansını (10.0074 GHz) göstermektedir. Üst sınır frekans değeri ile alt sınır frekans değeri arasındaki fark, bize bant genişliğini verir. Bu durumda bant genişliği Eşitlik (5.14)’den;

$$\text{Bant Genişliği} = \text{Üst Sınır Frekans Değeri (m3)} - \text{Alt Sınır Frekans Değeri (m2)} \quad (5.14)$$

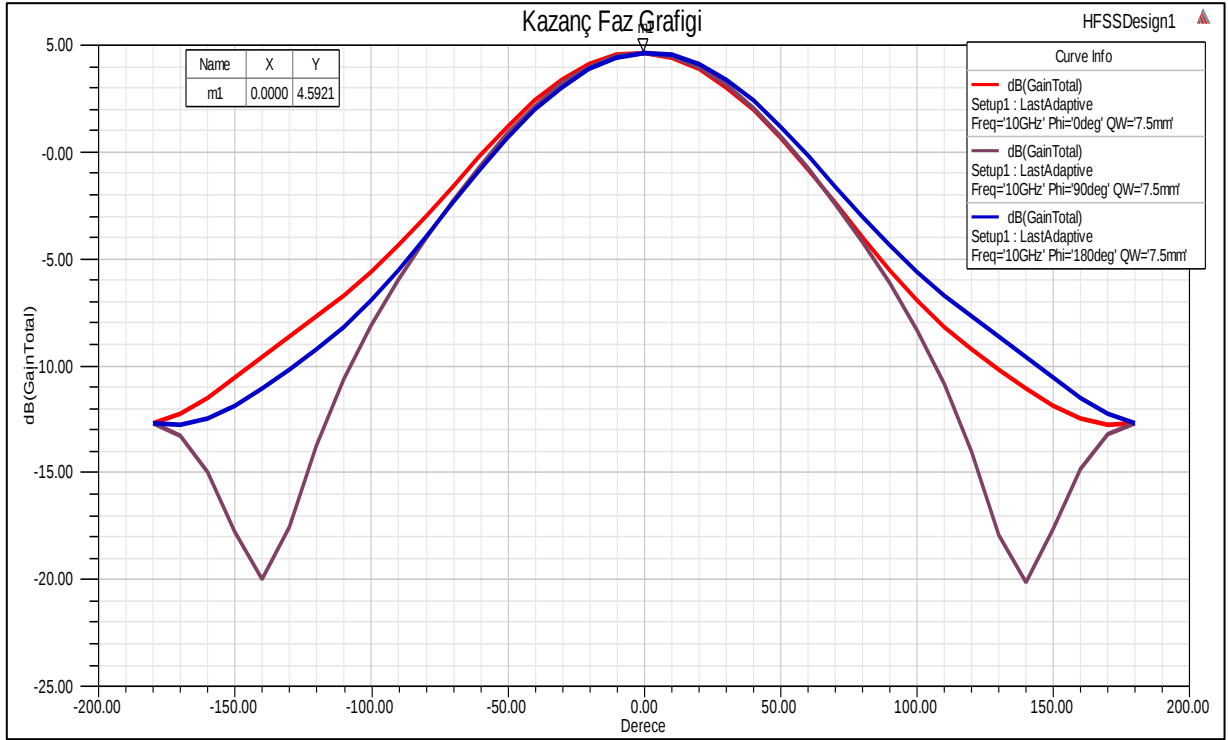
$$\text{Bant Genişliği} = 10.0074 \text{ GHz} - 9.6994 \text{ GHz}$$

$$\text{Bant Genişliği} = 308 \text{ MHz olarak bulunur.}$$

Antenin tasarımı, çalışma frekansı 10 GHz olacak şekilde yapıldığından ve merkez frekansının değeri olan m1 noktası 9.9 GHz’i gösterdiğinden, tasarımı yapılan anten merkez (çalışma)

frekansı açısından başarılı değildir.

Tasarlanan tek yama antene ait kazanç değerleri Şekil 5.9'da gösterilmektedir.



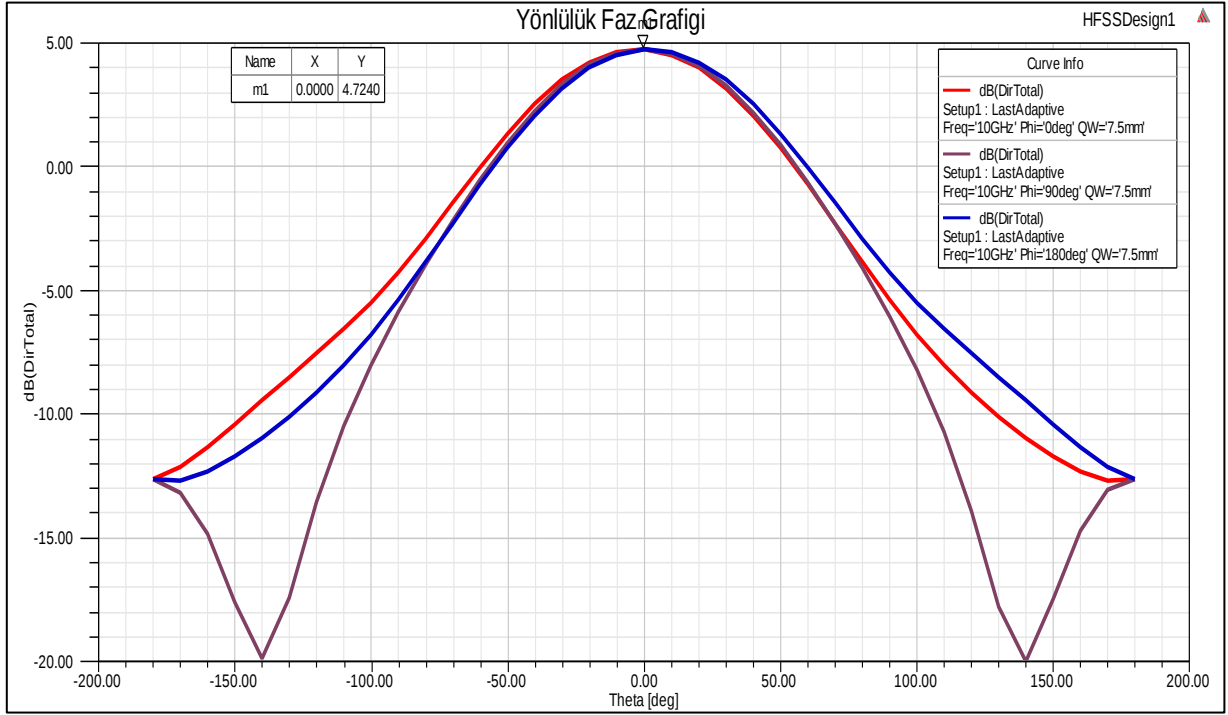
Şekil 5.9: Tasarlanan Tek Yama Anten Kazanç Faz Grafiği

Şekil 5.9'da, yatay ekseninde -180° ile $+180^{\circ}$ arasında taranan açı değerleri, dikey ekseninde ise dB cinsinden anten kazanç değerleri gösterilmektedir. Aynı zamanda, dikey düzlem ile yapılan 0° , 90° ve 180° açılarına ait anten kazançları sırasıyla kırmızı, mor ve mavi grafikler ile gösterilmiştir.

Bu kapsamda, anten kazancı 0° için m1 noktasında 4.5921 dB olarak ölçülmüştür. Bu değer bize, antene ait geri yansımanın fazla olmasında dolayı anten kazancının iyi seviyede olmadığını göstermektedir.

Ayrıca, kazancın en yüksek olduğu noktanın derecesi 0° olduğundan, faz kaymasının olmadığı anlaşılmaktadır.

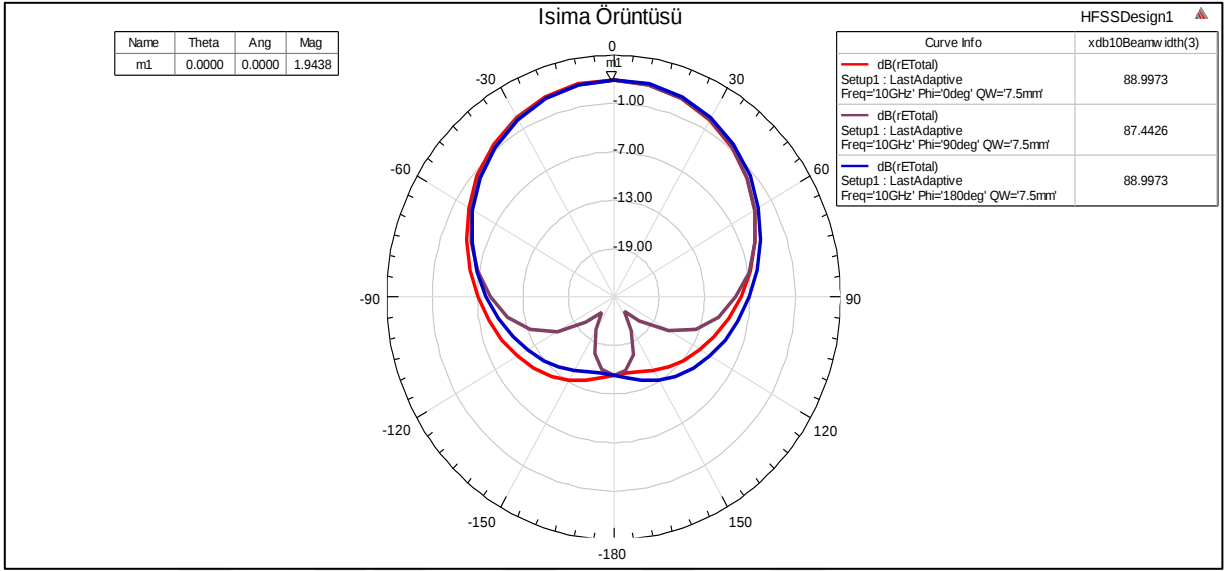
Şekil 5.10’da tasarlanan tek yama antene ait yönlülük değeri gösterilmektedir. Yatay eksen -180° ile +180° arasında taranan açı değerleri, düşey eksen ise dB cinsinden anten yönlülük değerleri gösterilmektedir. Aynı zamanda, düşey düzlem ile yapılan 0°, 90° ve 180° açılara ait anten yönlülük değerleri sırasıyla kırmızı, mor ve mavi grafikler ile gösterilmiştir.



Şekil 5.10: Tasarlanan Tek Yama Anten Yönlülük Faz Grafiği

Şekil 5.10 incelendiğinde, 0° için m1 noktasında antenin yönlülük değeri 4.7240 dB olarak ölçülmektedir. Bu kapsamda, yönlülük değeri açısından anten performansının iyi olmadığı söylenebilir.

Şekil 5.11’de tasarlanan tek yama antene ait ışıma örüntüsü gösterilmektedir. Yatay düzlemdeki tüm açılarda, düşey düzlemdeki açılardan 0, 90° ve 180° için ışıma değerleri gösterilmiştir. m1 noktasında ışıma örüntüsünde maksimum ışımanın 0°’de 1.94 dB olduğu görülmektedir.



Şekil 5.11: Tasarlanan Tek Yama Anten Işıma Örüntüsü

Şekilde 5.11’de, (Phi) açılarının yanında “xdb10Beamwidth(3)” bölümünde bazı açı değerleri mevcut olup 0° için 88.9973° , 90° için 87.4426° ve 180° için 88.9973° olarak ölçülmüştür.

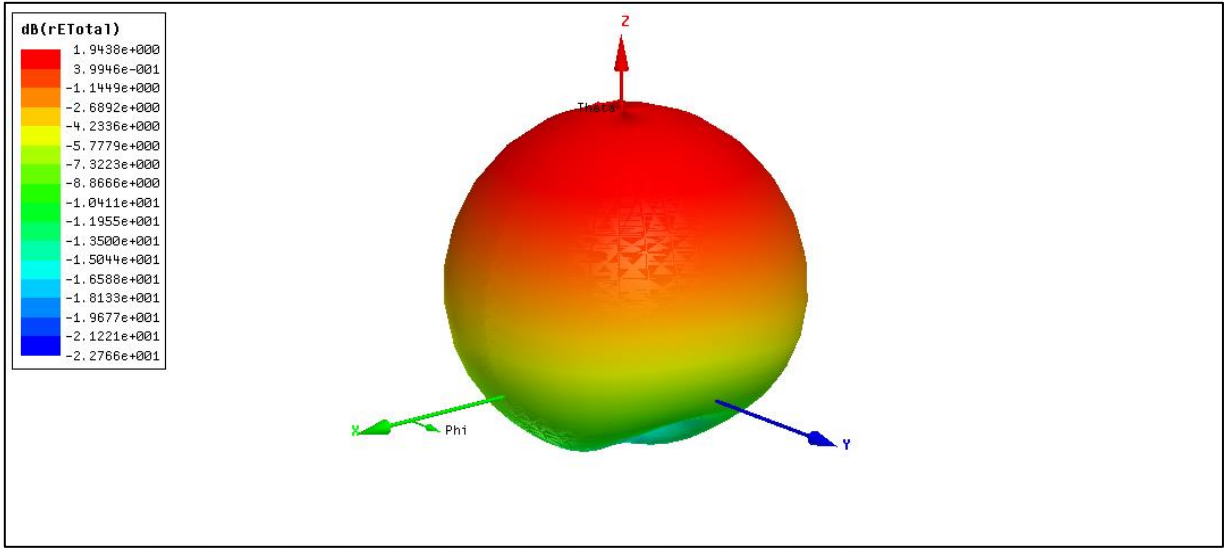
Bir ışıma örüntüsünde, maksimum ışıma yani anten yönlülüğü z ekseninde ise, xz düzleminde tüm açıları mevcut iken, 0° ’de antenin yataydaki yarım güç hüzmeye açısını (HPBW) (anten hüzmeye açısı) verir. Bu kapsamda, anten hüzmeye açısı 0° için 88.9973° ’dir.

Yataydaki hüzmeye açısı ise, azimut açısı olarak da adlandırılır. yz düzleminde tüm açıları mevcut iken, 90° ’de antenin düşeydeki HPBW değeri elde edilir. Yataydaki anten hüzmeye açısı 90° için 87.4426° ’dir.

Düşeydeki hüzmeye açısı ise, elavasyon açısı olarak da adlandırılır. Düşeydeki anten hüzmeye açısı 180° için 88.9973° ’dir.

Bu durumda, 180° ve 0° ’deki anten hüzmeye açısı değerleri aynı olduğundan, tasarlanan antenin simetrik olduğu söylenebilir.

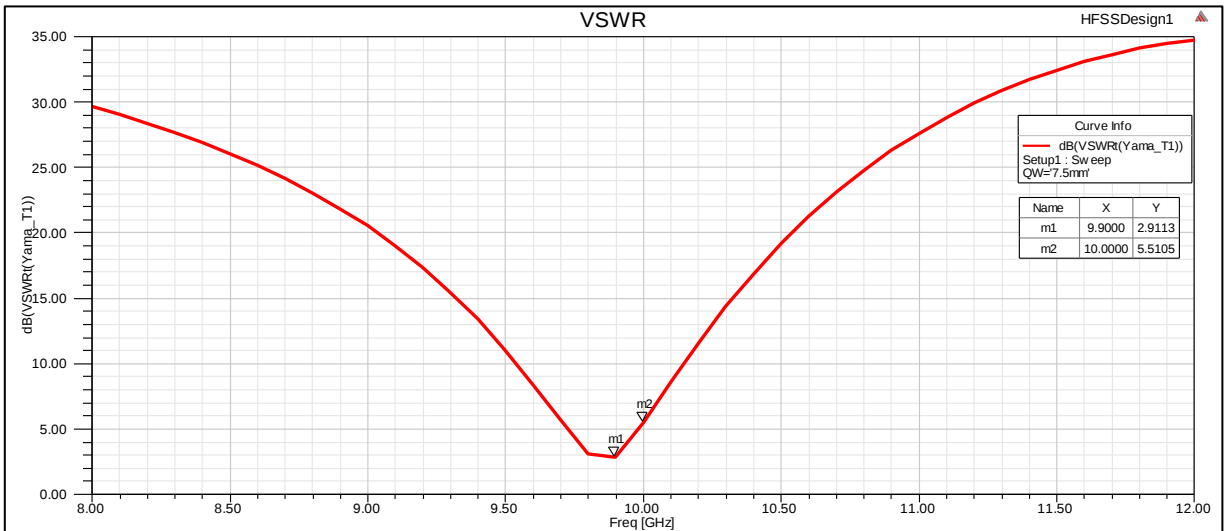
Şekil 5.12’de, tasarlanan tek yama antene ait ışıma örüntüsü üç boyutlu olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.12: Tasarlanan Tek Yama Anten Üç Boyutlu Işıma Örüntüsü

Işıma yoğunluğu, Şekil 5.12’de sol tarafta bulunan renk grafiği ile gösterilmekte olup, ışımının koyu kırmızı renk ile gösterilen z eksenı boyunca yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Işıma şiddeti yaklaşık olarak 19.43 dB’dir.

Gerilim duran dalga oranı (VSWR-Voltage Standing Wave Ratio) Şekil 5.13’te gösterilmektedir.



Şekil 5.13: Tasarlanan Tek Yama Anten VSWR Frekans Grafiği

VSWR değeri, giden ve yansıyan dalgaların maksimum genliklerinin birbirine oranı olduğundan değeri yoktur. 9,9 GHz için m1 değeri 2,91, 10 GHz için m2 değeri 5,51 olarak bulunmuştur. Bu durumda, VSWR değerinin iyi olmadığı, empedans uyumlamasının iyi olmadığı ve geri dönüş kaybının yüksek olduğu söylenebilir.

Tasarlanan anten, değerlendirilen parametreler açısından iyi olmadığından, anten boyutlarında değişiklik yapılmak suretiyle performans arttırılmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda, tasarlanan antene ait boyutlarda yapılan değişiklik Tablo 5.2’de, değişiklik sonucu parametre sonuçları Tablo 5.3’te sunulmuştur.

Tablo 5.2: Tasarlanan Tek Yama Anten Boyutlarında Yapılan Değişiklik

Tasarlanan Anten Boyutlarında Yapılan Değişiklik								
	W_a	L_a	W	L	W_g	L_g	W_{100}	L_{100}
Tasarlanan Anten	16,35	13,93	10,35	7,93	0,754	2,72	0,64	4,83
Değişiklik 1	30	30	10,35	7,93	0,754	2,72	0,64	4,83
Değişiklik 2	40	40	10,35	7,93	0,754	2,72	0,64	4,83
Değişiklik 3	30	30	10	7,5	0,754	2,72	0,64	4,83
Değişiklik 4	30	30	10	7,5	1	2,65	0,64	4,83
Değişiklik 5	30	30	10,2	7,75	1	2,65	0,64	4,83
Değişiklik 6	40	40	10,2	7,75	1	2,65	0,64	4,83
Değişiklik 7	30	30	10,2	7,75	0,9	2,65	0,64	4,83
Değişiklik 8	30	30	10,2	7,75	0,8	2,65	0,64	4,83
Değişiklik 9	30	30	10,2	7,75	0,8	2,5	0,64	4,83

Tablo 5.2: Tasarlanan Tek Yama Anten Boyutlarında Yapılan Değişiklik (devam)

Değişiklik 10	30	30	10,2	7,75	0,8	2	0,64	4,83
Değişiklik 11	30	30	10,2	7,75	0,8	1,5	0,64	4,83
Değişiklik 12	40	40	10,2	7,75	0,8	2	0,64	4,83
Değişiklik 13	30	30	10,5	7,75	0,8	1,5	0,64	4,83
Değişiklik 14	30	30	10,5	8	0,8	2	0,64	4,83
Değişiklik 15	30	30	10,5	8	0,7	2	0,64	4,83

Tablo 5.3: Tasarlanan Tek Yama Anten Boyut Değişiklik Sonucu Parametre Sonuçları

Değişiklik Sonucu Parametrelerin Sonuçları						
	S11 (dB)	Kazanç (dB)	Yönlülük (dB)	Merkez Frekans (GHz)	VSWR Değeri	Bant Genişliği (MHz)
Tasarlanan Anten	-15,59	4,59	4,72	9,9	5,51	308
Değişiklik 1	-21,9	7,59	7,63	9,8	1,39	281
Değişiklik 2	-18,21	7,29	7,33	9,8	2,14	269
Değişiklik 3	-20,23	7,53	7,57	10,3	1,69	309
Değişiklik 4	-11,59	7,49	7,54	10,3	4,68	160
Değişiklik 5	-12,28	7,46	7,55	10	4,30	163
Değişiklik 6	-11,76	7,19	7,24	10	4,58	130
Değişiklik 7	-14,66	7,46	7,54	10	3,24	218

Tablo 5.3: Tasarlanan Tek Yama Anten Boyut Değişiklik Sonucu Parametre Sonuçları (devam)

Değişiklik 8	-18,69	7,54	7,59	10	2,02	273
Değişiklik 9	-22,44	7,51	7,57	10	1,31	294
Değişiklik 10	-24,60	7,49	7,57	10	1,02	311
Değişiklik 11	-21,67	7,44	7,52	9,9	1,43	313
Değişiklik 12	-26,84	7,23	7,28	10	3,3	314
Değişiklik 13	-21,03	7,26	7,29	10	1,54	303
Değişiklik 14	-30,80	7,47	7,53	9,7	0,5	299
Değişiklik 15	-11,31	7,2	7,34	9,2	4,84	158

Tasarlanan antene ait boyutlardan, alt tabaka genişliği W_a , alt tabaka uzunluğu L_a , yama genişliği W , yama uzunluğu L , girintinin genişliği W_g , girintinin uzunluğu L_g değiştirilmek suretiyle sonuçlar S_{11} (dB), kazanç (dB), yönlülük (dB), merkez frekans (GHz), VSWR ve bant genişliği (MHz) açısından değerlendirilmiştir.

Değişiklik 1’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 30 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 30 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59’dan 21,9’a yükselmiş, kazanç (dB) değeri 4,59’dan 7,59’a yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72’den 7,63’e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 9,8 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51’den 1,39’a düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 281’e düşmüştür.

Değişiklik 2’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 40 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 40 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59’dan 18,21’e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 4,59’dan 7,29’a yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72’den 7,33’e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 9,8 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51’den 2,14’e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 269’a

düşmüştür.

Değişiklik 3'te, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 30 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 30 mm, 10,35 mm olan W değeri 10 mm ve 7,93 mm olan L değeri 7,5 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59'dan 20,23'e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 4,59'dan 7,53'e yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72'den 7,57'ye yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 10,3 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51'den 1,69'a düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 309'a yükselmiştir.

Değişiklik 4'te, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 30 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 30 mm, 10,35 mm olan W değeri 10 mm, 7,93 mm olan L değeri 7,5 mm, 0,754 mm olan W_g değeri 1 mm ve 2,72 mm olan L_g değeri 2,65 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59'dan 11,59'a düşmüş, kazanç (dB) değeri 4,59'dan 7,49'a yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72'den 7,54'e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 10,3 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51'den 4,68'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 160'a düşmüştür.

Değişiklik 5'te, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 30 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 30 mm, 10,35 mm olan W değeri 10,2 mm, 7,93 mm olan L değeri 7,75 mm, 0,754 mm olan W_g değeri 1 mm ve 2,72 mm olan L_g değeri 2,65 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59'dan 12,28'e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 4,59'dan 7,46'ya yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72'den 7,55'e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 10 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51'den 4,30'a düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 163'e düşmüştür.

Değişiklik 6'da, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 40 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 40 mm, 10,35 mm olan W değeri 10,2 mm, 7,93 mm olan L değeri 7,75 mm, 0,754 mm olan W_g değeri 1 mm ve 2,72 mm olan L_g değeri 2,65 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59'dan 11,76'ya düşmüş, kazanç (dB) değeri 4,59'dan 7,19'a yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72'den 7,24'e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 10 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51'den 4,58'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 130'a düşmüştür.

Değişiklik 7’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 30 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 30 mm, 10,35 mm olan W değeri 10,2 mm, 7,93 mm olan L değeri 7,75 mm, 0,754 mm olan W_g değeri 0,9 mm ve 2,72 mm olan L_g değeri 2,65 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59’dan 14,66’ya düşmüş, kazanç (dB) değeri 4,59’dan 7,46’ya yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72’den 7,54’e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 10 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51’den 3,24’e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 218’e düşmüştür.

Değişiklik 8’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 30 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 30 mm, 10,35 mm olan W değeri 10,2 mm, 7,93 mm olan L değeri 7,75 mm, 0,754 mm olan W_g değeri 0,8 mm ve 2,72 mm olan L_g değeri 2,65 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59’dan 18,69’a yükselmiş, kazanç (dB) değeri 4,59’dan 7,54’e yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72’den 7,55’e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 10 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51’den 2,02’ye düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 273’e düşmüştür.

Değişiklik 9’da, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 30 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 30 mm, 10,35 mm olan W değeri 10,2 mm, 7,93 mm olan L değeri 7,75 mm, 0,754 mm olan W_g değeri 0,8 mm ve 2,72 mm olan L_g değeri 2,5 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59’dan 22,44’e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 4,59’dan 7,51’e yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72’den 7,57’ye yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 10 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51’den 1,31’e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 294’e düşmüştür.

Değişiklik 10’da, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 30 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 30 mm, 10,35 mm olan W değeri 10,2 mm, 7,93 mm olan L değeri 7,75 mm, 0,754 mm olan W_g değeri 0,8 mm ve 2,72 mm olan L_g değeri 2 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59’dan 24,60’a yükselmiş, kazanç (dB) değeri 4,59’dan 7,49’a yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72’den 7,57’ye yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 10 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51’den 1,02’ye düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 311’a yükselmiştir.

Değişiklik 11’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 30 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 30 mm, 10,35 mm olan W değeri 10,2 mm, 7,93 mm olan L değeri 7,75 mm, 0,754 mm olan W_g değeri 0,8 mm ve 2,72 mm olan L_g değeri 1,5 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59’dan 21,67’ye yükselmiş, kazanç (dB) değeri 4,59’dan 7,44’e yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72’den 7,52’ye yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 olarak değişmemiş, VSWR değeri 5,51’den 1,43’e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 313’e yükselmiştir.

Değişiklik 12’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 40 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 40 mm, 10,35 mm olan W değeri 10,2 mm, 7,93 mm olan L değeri 7,75 mm, 0,754 mm olan W_g değeri 0,8 mm ve 2,72 mm olan L_g değeri 2 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59’dan 26,84’e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 4,59’dan 7,23’e yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72’den 7,28’e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 10 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51’den 3,3’e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 314’e yükselmiştir.

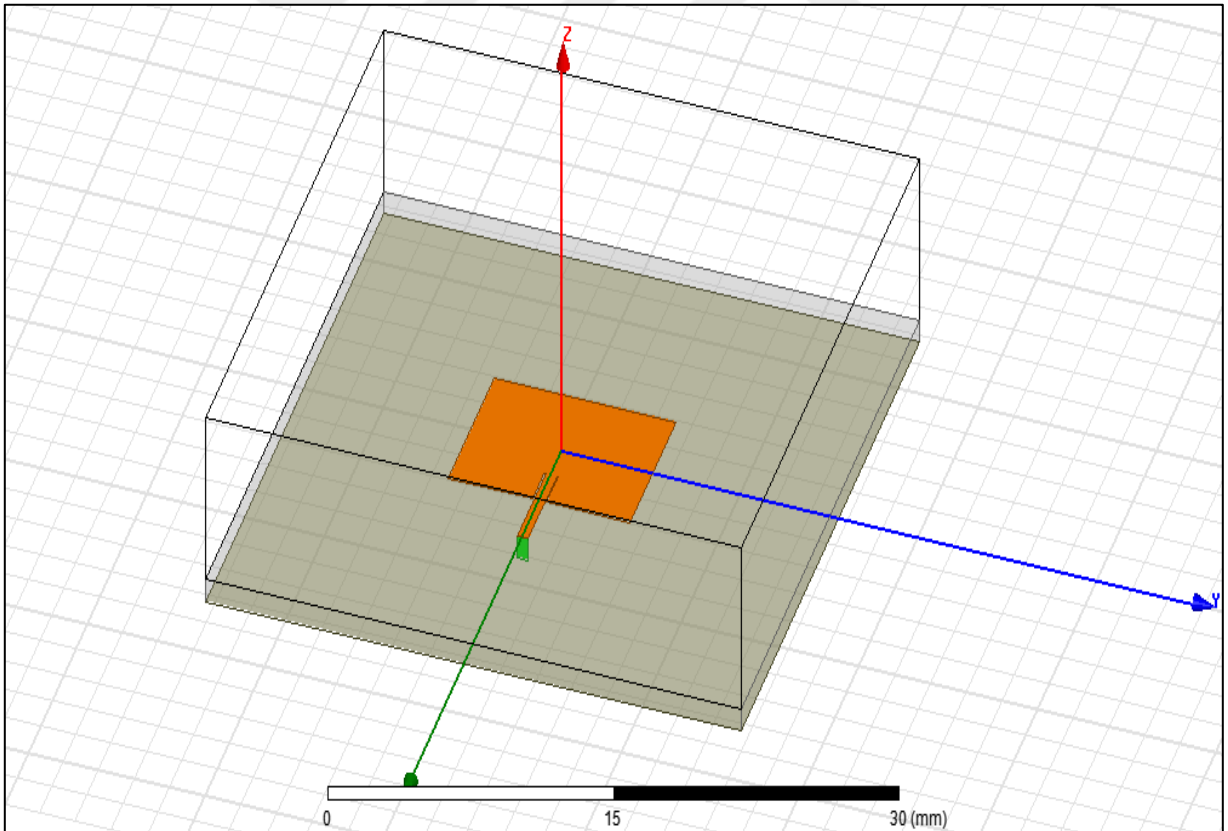
Değişiklik 13’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 30 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 30 mm, 10,35 mm olan W değeri 10,5 mm, 7,93 mm olan L değeri 7,75 mm, 0,754 mm olan W_g değeri 0,8 mm ve 2,72 mm olan L_g değeri 1,5 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59’dan 21,03’e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 4,59’dan 7,26’ya yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72’den 7,29’a yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 10 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51’den 1,54’e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 303’e düşmüştür.

Değişiklik 14’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 30 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 30 mm, 10,35 mm olan W değeri 10,5 mm, 7,93 mm olan L değeri 8 mm, 0,754 mm olan W_g değeri 0,8 mm ve 2,72 mm olan L_g değeri 2 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59’dan 30,8’e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 4,59’dan 7,47’ye yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72’den 7,53’e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 9,7 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51’den 0,5’e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 299’a düşmüştür.

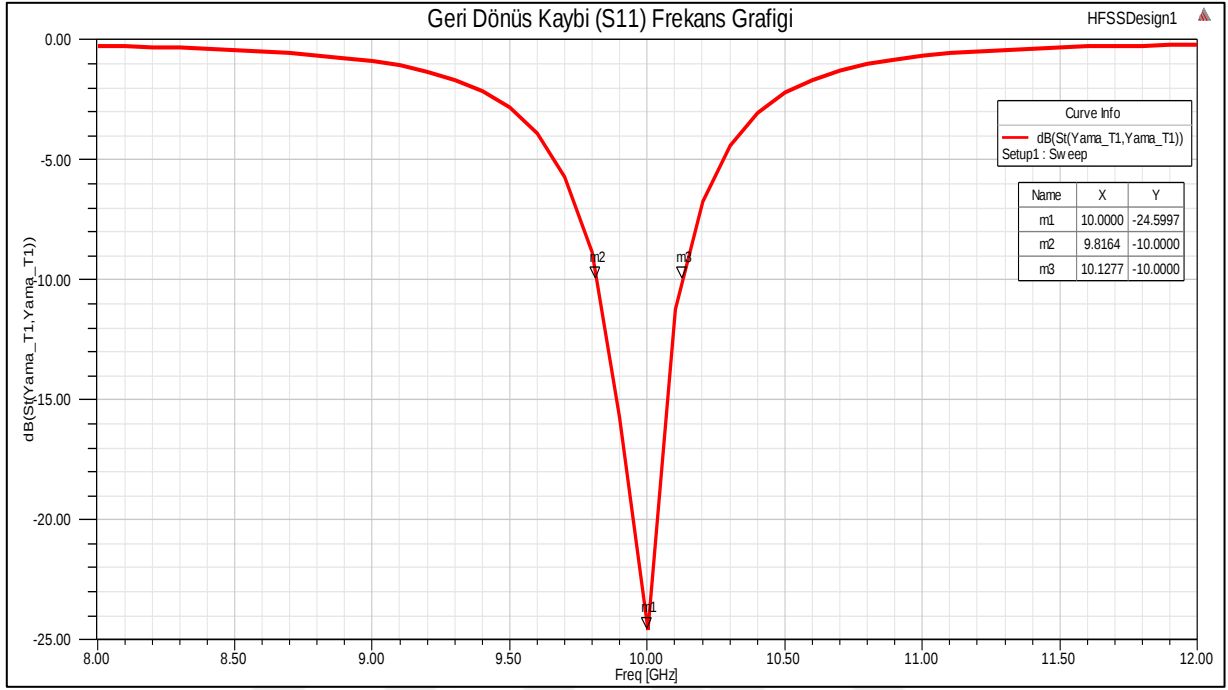
Değişiklik 15'te, tasarlanan antene ait boyutlardan 16,35 mm olan W_a değeri 30 mm, 13,93 mm olan L_a değeri 30 mm, 10,35 mm olan W değeri 10,5 mm, 7,93 mm olan L değeri 8 mm, 0,754 mm olan W_g değeri 0,7 mm ve 2,72 mm olan L_g değeri 2 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri 15,59'dan 11,31'e düşmüş, kazanç (dB) değeri 4,59'dan 7,2'ye yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 4,72'den 7,34'e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 9,9 iken 9,2 olarak değişmiş, VSWR değeri 5,51'den 4,84'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 308 iken 158'e düşmüştür.

Bu kapsamda, tasarlanan tek yama anten boyutlarında yapılan değişiklikler incelendiğinde, en iyi tek yama anten performansının değişiklik 10 ile elde edildiği anlaşılmaktadır.

Değişiklik 10 ile elde edilen tek yama anten görünümü Şekil 5.14'te gösterilmektedir.



Şekil 5.14: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten Görünümü



Şekil 5.15: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten Geri Dönüş Kaybı (S11) Frekans Grafiği

Şekil 5.15’de, değişiklik 10 ile elde edilen tek yama antene ait geri dönüş kaybı ve frekans grafiği gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde, m1 noktasının en düşük geri dönüş kaybı değerini ifade ettiği bilindiğinden, geri dönüş kaybı -24,599 dB olarak bulunur. Aynı zamanda, merkez frekansının da 10 GHz olduğu görülmektedir. S11 değerinin eksi yönde büyük olması empedans uyumlamasının ve anten performansının iyi olduğunu göstermektedir. Tasarlanan antende S11 değeri -15,59 dB, merkez frekans ise 9,9 GHz olarak bulunmuştu.

m2 ve m3 değerleri arasındaki fark, bant genişliğini ifade ettiğinden Eşitlik (5.14)’ten;

$$\text{Bant Genişliği} = \text{Üst Sınır Frekans Değeri (m3)} - \text{Alt Sınır Frekans Değeri (m2)}$$

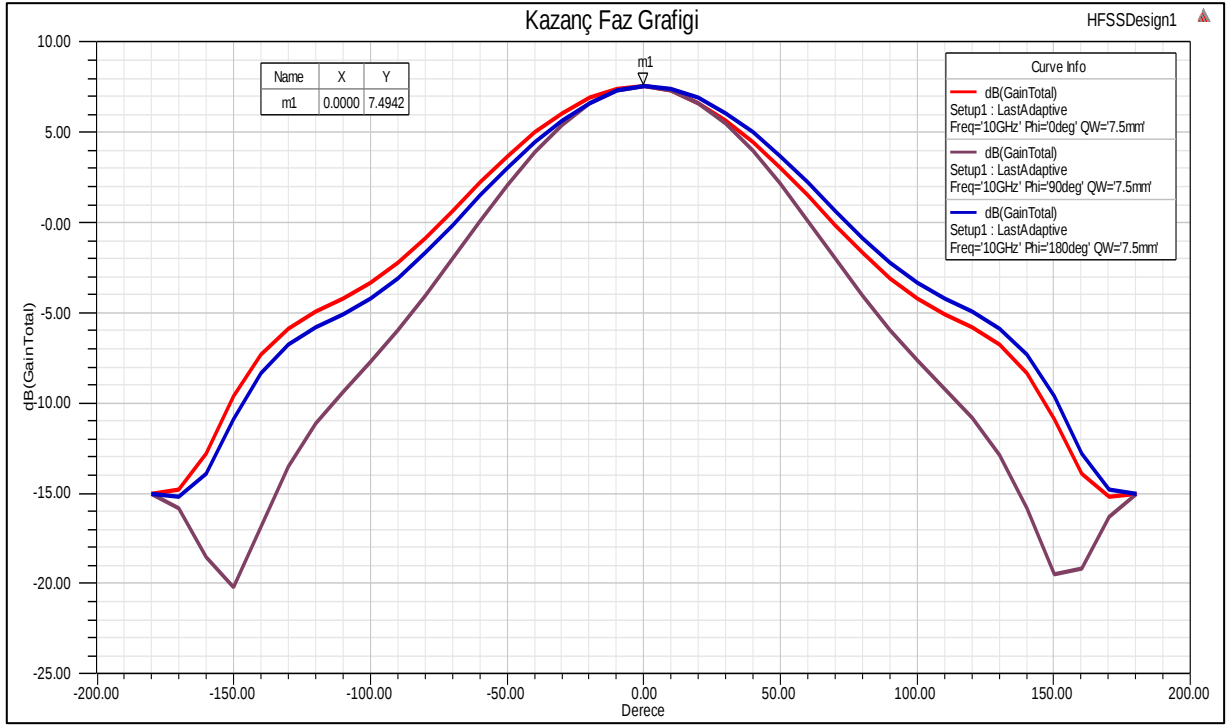
$$\text{Bant Genişliği} = 10,1277 \text{ GHz} - 9,8164 \text{ GHz}$$

$$\text{Bant Genişliği} = 311 \text{ MHz olarak bulunur.}$$

Bu kapsamda, geri dönüş kaybı, merkez frekansı ve bant genişliği açısından, değişiklik 10 ile

elde edilen antenin başarılı olduğu söylenebilir.

Şekil 5.16’da, değişiklik 10 ile elde edilen antene ait kazanç grafiği gösterilmektedir.



Şekil 5.16: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten Kazanç Grafiği

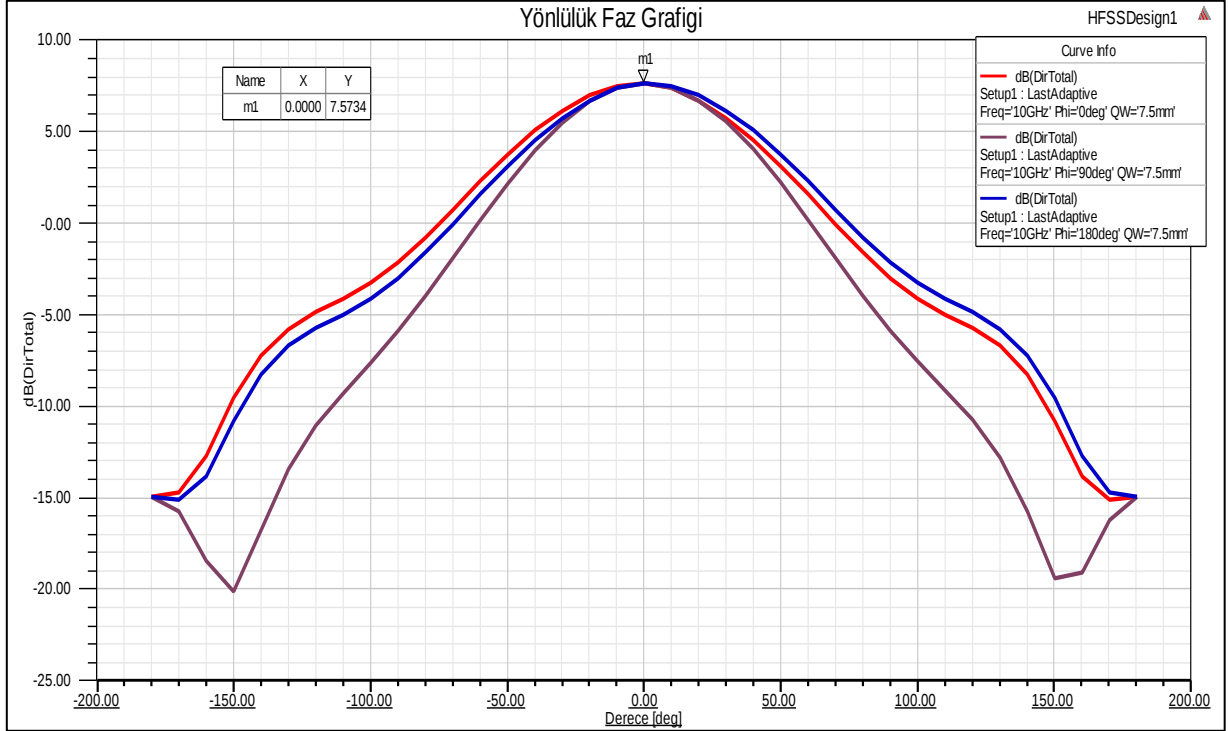
Şekil 5.16’da, 0^0 , 90^0 ve 180^0 ’de tek yama anten kazançları sırasıyla kırmızı, mor ve mavi grafikler ile gösterilmiştir. Anten kazancı 0^0 için m1 noktasında en yüksek değeri almıştır ve 7,4942 dB olarak ölçülmüştür. Tasarlanan tek yama anten kazancının 4,59 dB olduğu düşünüldüğünde, değişiklik 10 ile elde edilen tek yama anten kazancının gayet başarılı olduğu söylenebilir.

Aynı zamanda, kazancın en yüksek olduğu nokta 0^0 ‘de olduğundan, faz kaymasının olmadığı anlaşılmaktadır.

Şekil 5.17’de, değişiklik 10 ile elde edilen tek yama antene ait yönlülük grafiği gösterilmektedir. 0^0 , 90^0 ve 180^0 ’de, anten yönlülük değerleri sırasıyla kırmızı, mor ve mavi grafikler ile gösterilmiştir. 0^0 için antenin en yüksek yönlülük değerine ulaştığı ve m1 noktasında antenin

7,5734 dB yönlülük değerine sahip olduğu görülmektedir. Tasarlanan tek yama anten yönlülük değerinin 44,72 dB olduğu göz önüne alındığında, değişiklik 10 ile elde edilen tek yama antenin yönlülük değere açısından performansının iyi olduğu anlaşılmaktadır.

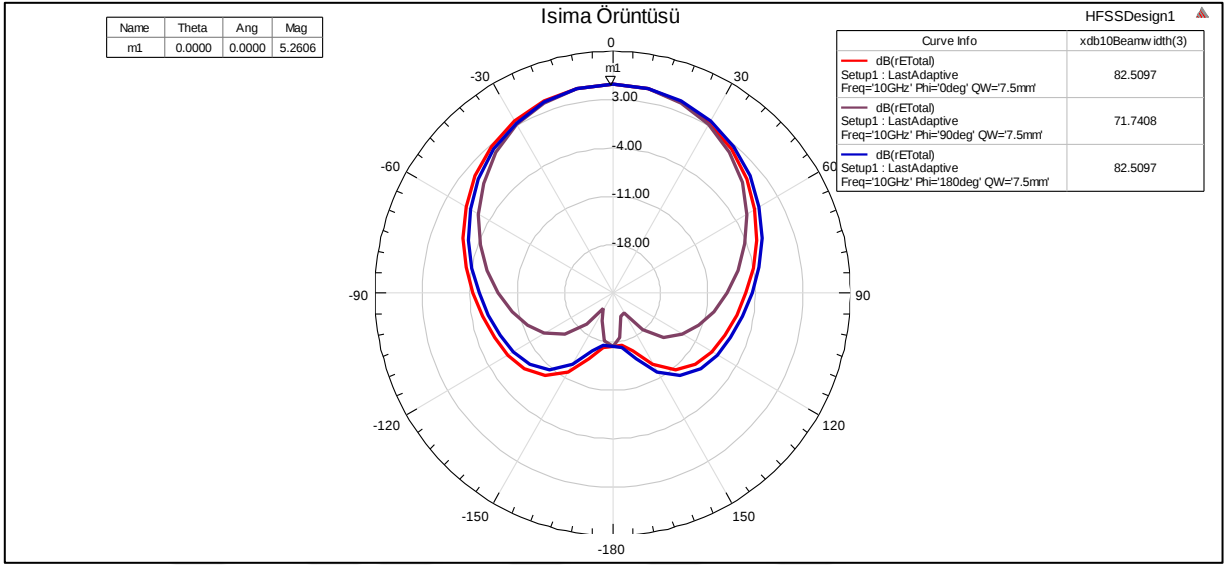
Aynı zamanda, 0^0 için anten en yüksek yönlülük değerine ulaştığından, faz kaymasının olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.17: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten Yönlülük Faz Grafiği

Şekil 5.18’de, değişiklik 10 ile elde edilen tek yama antene ait ışıma örüntüsü gösterilmektedir. 0^0 , 90^0 ve 180^0 ’de, anten genlik değerleri sırasıyla kırmızı, mor ve mavi grafikler ile gösterilmiştir. 0^0 için antenin en yüksek genlik değerine ulaştığı ve m1 noktasında 5,2606 dB olarak ölçüldüğü görülmektedir.

Ayrıca, genlik değeri en yüksek değerine 0^0 ’de ulaştığı için ışıma da faz kaymasının mevcut olmadığı anlaşılmaktadır.



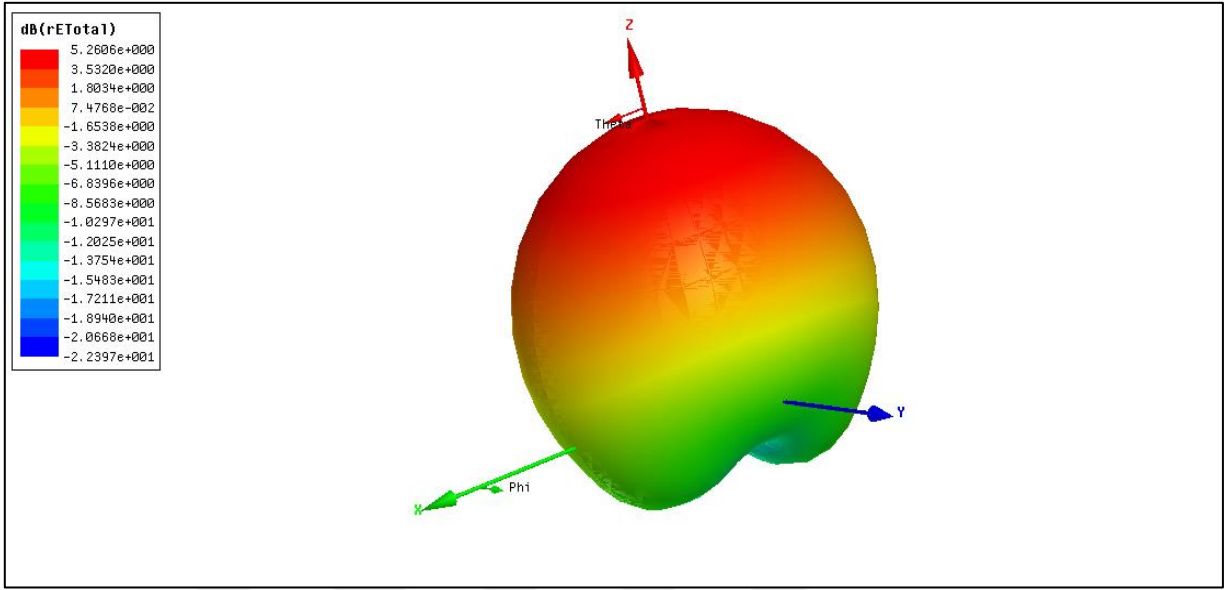
Şekil 5.18: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten Işıma Örüntüsü

Tasarlanan antende en yüksek genlik değeri 1,9438 dB iken, değişiklik 10 ile bu değer 5,2606 dB'e yükselmiştir. Bu durum, bize ışımanın daha iyi olduğunu göstermektedir.

Yatay ve düşey ekseninde (0^0 ve 90^0 için) hüzme açıları sırasıyla $82,5097^0$ ve $71,7408^0$ olarak ölçülmüştür. Tasarlanan antende bu değerler sırasıyla $88,9973^0$ ve $87,4426^0$ 'dir. Bu kapsamda, hüzme açısının yatay ekseninde $6,48^0$, düşey ekseninde ise $15,7^0$ daha dar olduğu gözlemlenir.

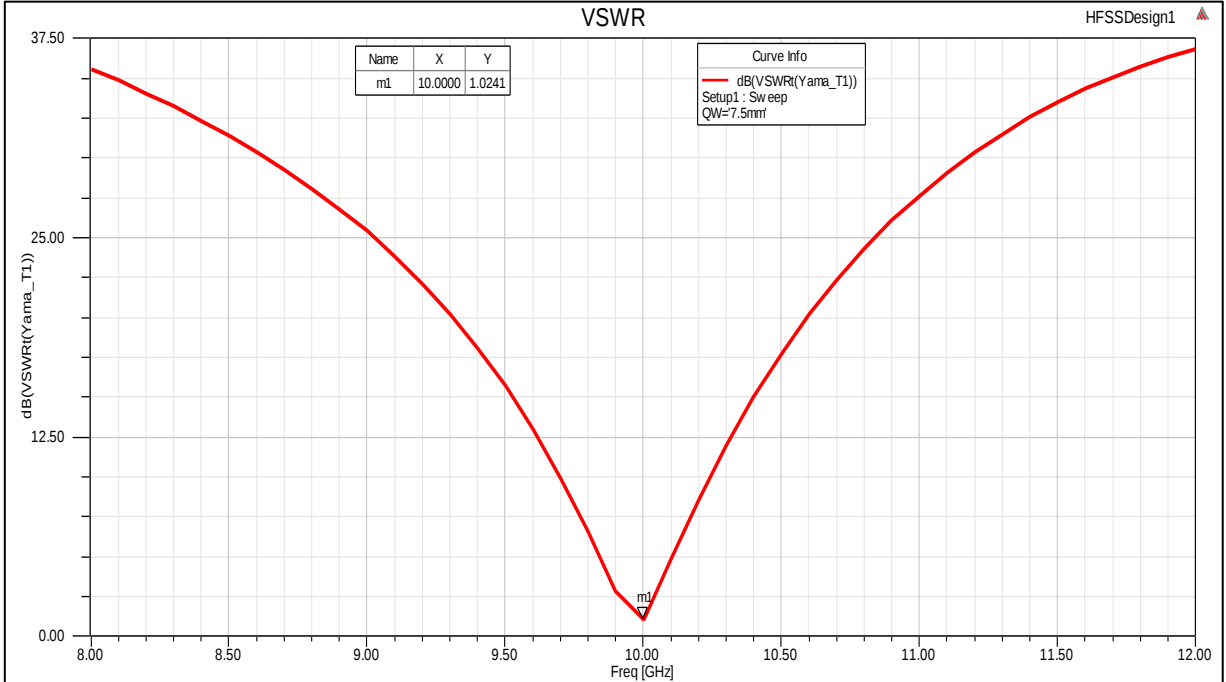
Şekil 5.19'da, değişiklik 10 ile elde edilen tek yama antene ait ışıma örüntüsü üç boyutlu olarak gösterilmektedir.

Işıma yoğunluğu, sol tarafta bulunan renk grafiği ile gösterilmekte olup, koyu kırmızı renk ile gösterilen z ekseni boyunca ışımanın yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Işıma şiddeti yaklaşık olarak 52.6 dB'dir.



Şekil 5.19: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten Üç Boyutlu Işıma Örüntüsü

Şekil 5.20’de, değişiklik 10 ile elde edilen tek yama antene ait VSWR grafiği gösterilmektedir.



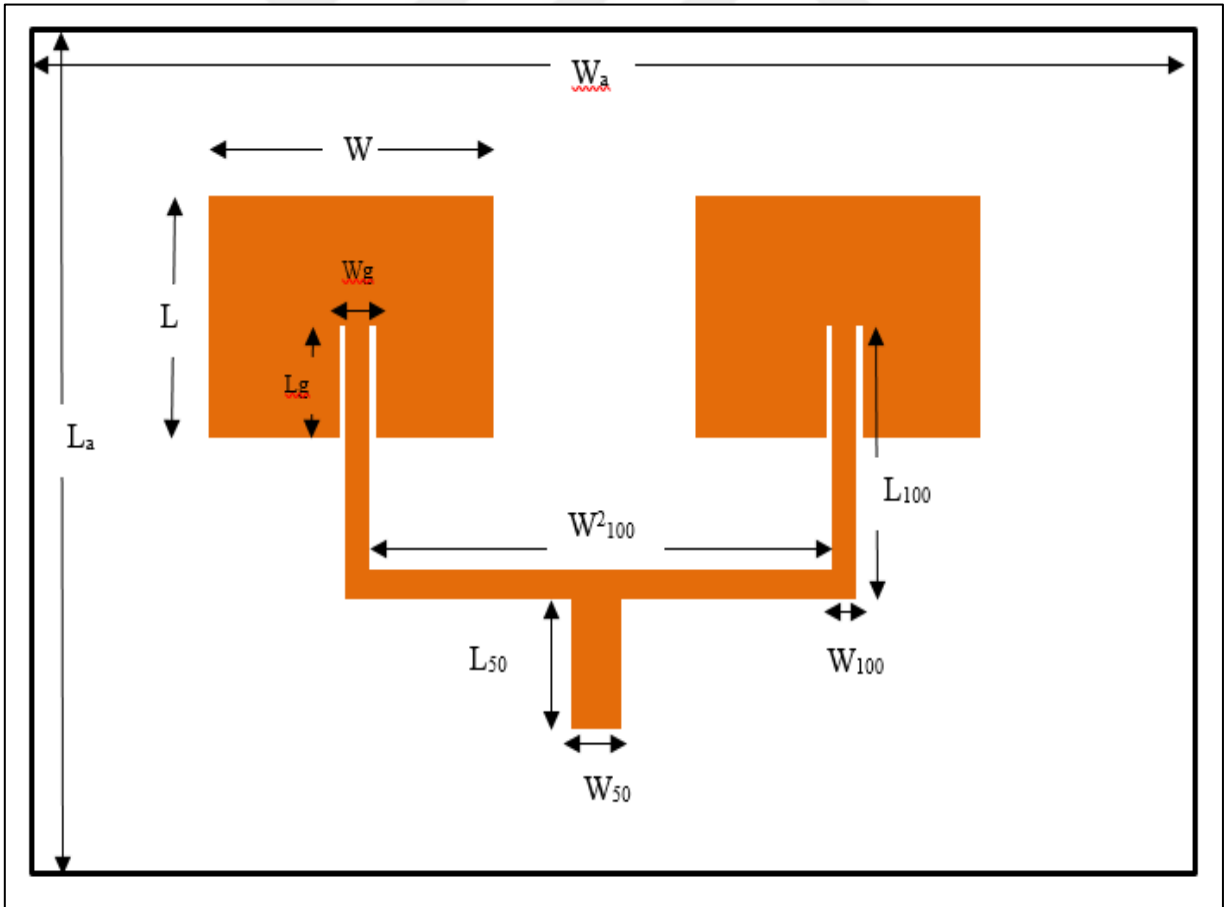
Şekil 5.20: Değişiklik 10 İle Elde Edilen Tek Yama Anten VSWR Grafiği

Şekil 5.20’de, m1 noktasında VSWR değerinin 1,0241 olduğu görülmektedir. Bu değer tasarlanan antende 5,5105 olduğu göz önüne alındığında, değişiklik 10 ile elde edilen antenin VSWR değerinin çok başarılı olduğu söylenebilir.

5.2.2 2x1 Yama Dizi Anten Tasarımı

Değişiklik 10 ile elde edilen tek yama anten boyutları kullanılmak suretiyle, 2x1 yama dizi anten tasarımı yapılmıştır. Tasarımın yapılmasını müteakip, tek yama antende olduğu gibi, anten boyutlarında değişiklik yapılmak suretiyle parametreler açısından değerlendirme aşamasına geçilmiştir.

Tasarımı yapılan 2x1 yama dizi anten temel yapısı Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.21: 2x1 Yama Dizi Anten Tasarımı

Şekilde gösterilen L yama anten elemanlarının uzunluğunu, W yama anten elemanlarının genişliğini, L_g girinti yüksekliğini, W_g girinti genişliğini, L_{100} yama anten elemanları içine giren 100Ω empedansın uzunluğunu, W_{100} yama anten elemanları içine giren 100Ω empedansın genişliğini, W_{100}^2 yama antenler ile besleme arası 100Ω empedansın uzunluğunu, L_{50} beslemeye giden 50Ω empedansın uzunluğunu, W_{50} beslemeye giden 50Ω empedansın genişliğini, L_a alt tabakanın uzunluğunu, W_a alt tabakanın genişliğini ifade etmektedir.

W_{50} , L_{50} , W_{100} ve L_{100} uzunluk ve genişliklerinin hesabı, TXLINE 2003 aracı vasıtası ile yapılmıştır. Şekil 5.22’de sırasıyla 100Ω ve 50Ω için TXLINE 2003 aracının ara yüzü gösterilmektedir. Alt tabaka malzemesi olarak seçilen Rogers RO4232(tm) malzemenin bağıl geçirgenlik sabiti $\epsilon_r = 3,2$, yüksekliği $h=1\text{ mm}$ ve kayıp tanjantı ($\delta = 0,0018$) ilgili alanlara yazılmıştır.

The screenshot shows the TXLINE 2003 - Microstrip software window. The 'Material Parameters' section is active, showing the following values:

- Dielectric: RT/Duroid 5880
- Conductor: Copper
- Dielectric Constant: 3.2
- Conductivity: 5.88E+07 S/m
- Loss Tangent: 0.0018

The 'Electrical Characteristics' section shows:

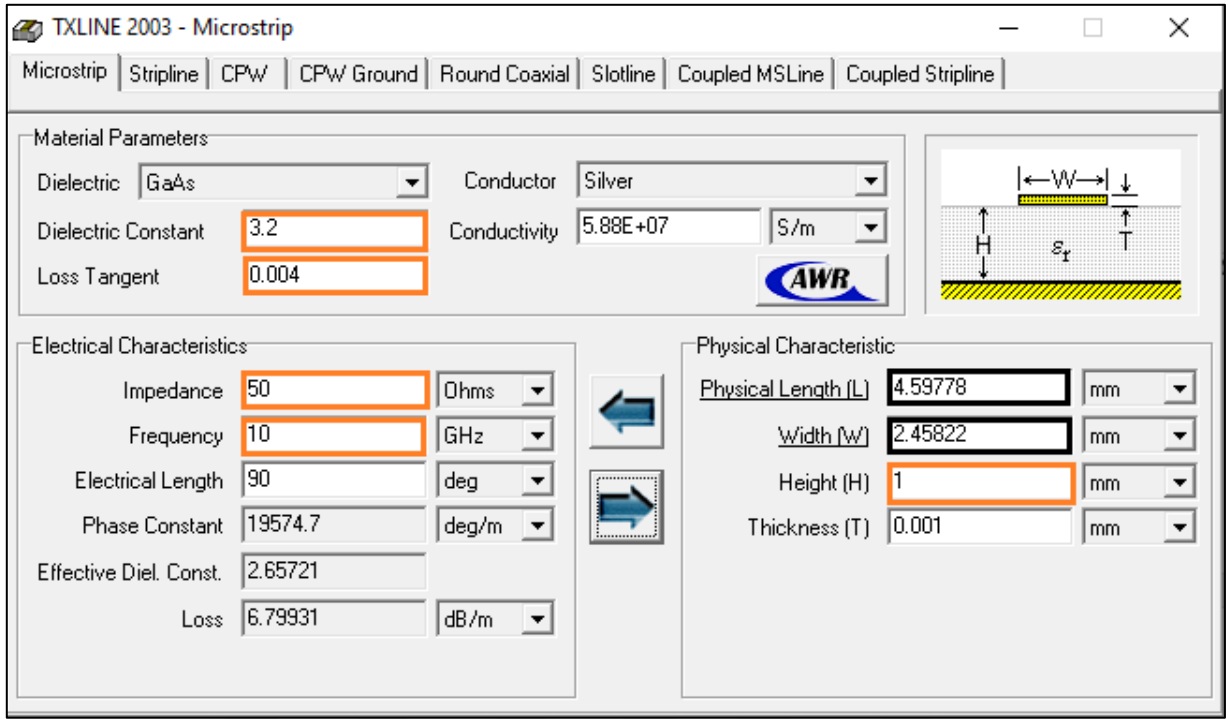
- Impedance: 100 Ohms
- Frequency: 10 GHz
- Electrical Length: 90 deg
- Phase Constant: 18626.1 deg/m
- Effective Diel. Const.: 2.40591
- Loss: 4.51576 dB/m

The 'Physical Characteristic' section shows:

- Physical Length (L): 4.83193 mm
- Width (W): 0.642676 mm
- Height (H): 1 mm
- Thickness (T): 0.001 mm

A diagram on the right shows a cross-section of a microstrip line with width W, height H, and thickness T, with a dielectric constant ϵ_r .

Şekil 5.22: 100Ω TXLINE 2003 Hesabı



Şekil 5.23: 50Ω TXLINE 2003 Hesabı

Antenler arasındaki mesafe (d) bir tam dalga boyundan küçük olduğu zaman ($d < \lambda$) ana sinyal etrafında oluşacak yan sinyalin seviyesi azalır (Constantine A. Balanis 2016) Eğer mesafe yarım dalga boyundan küçük ise ($d < \lambda/2$) ışıma örüntüsünde tek bir ana sinyal oluşur ve yine yan sinyal seviyesi azalır (Constantine A. Balanis 2016)

Dalga boyu λ , 10 GHz için, Eşitlik (5.15)'den,

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (5.15)$$

$\lambda = 30$ mm olarak bulunur.

Bu kapsamda, antenler arası mesafe (d) $\lambda/2 = 15$ mm olarak seçilmiştir.

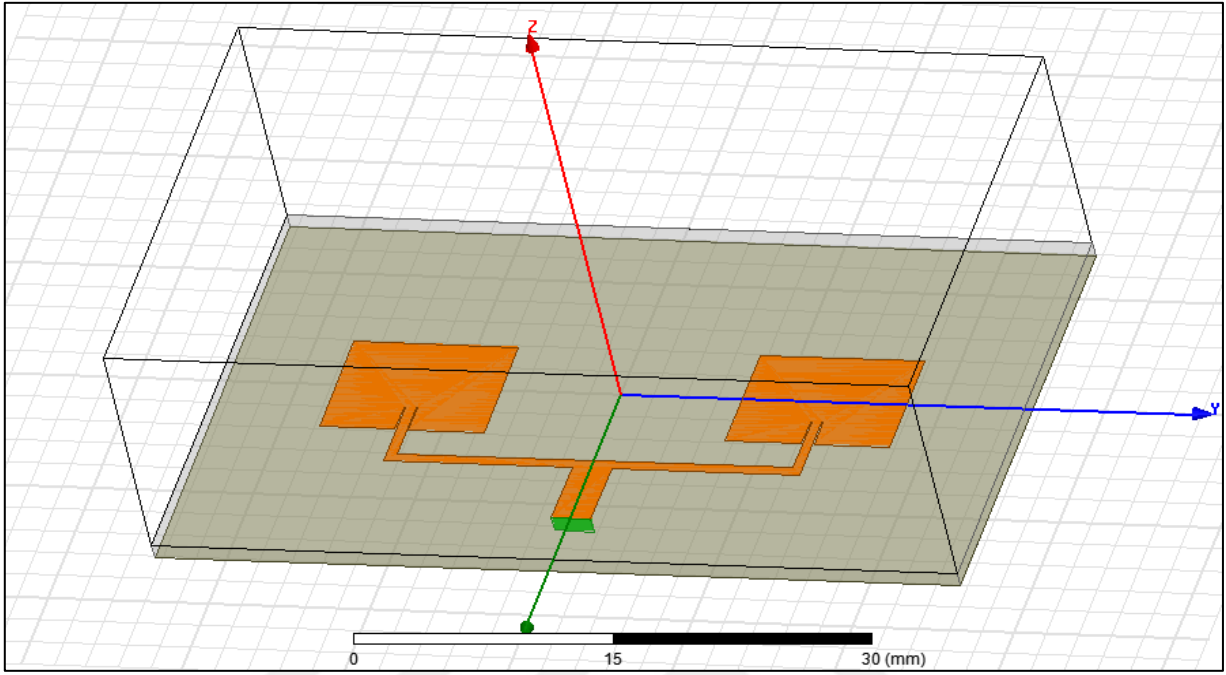
Böylece, 2x1 yama dizi antenin tasarımında kullanılacak tüm hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Antene Ait Boyutlar

S.No	Anten Değer	Hesaplanan Değer (mm)
1	W	10,2
2	L	7,75
3	W_g	0.8
4	L_g	2
5	W_{100}	0,64
6	L_{100}	4,83
7	W_{50}	2,45
8	L_{50}	4,6
9	W_a	50
10	L_a	30
11	d	15

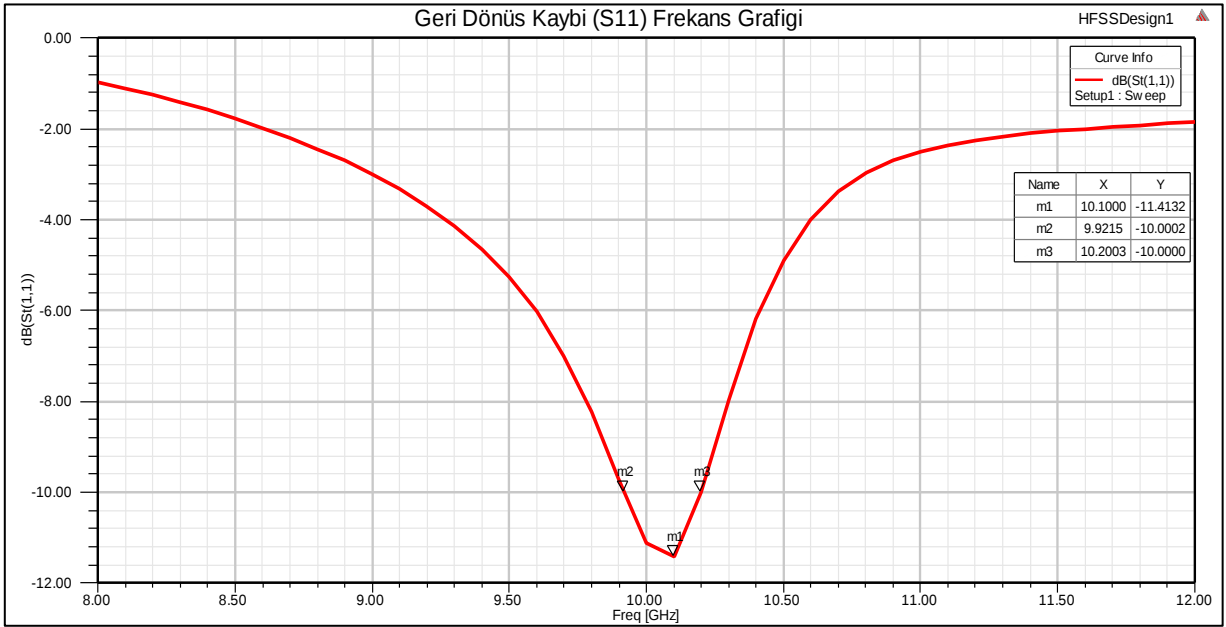
5.2.2.1 2x1 Yama Dizi Anten Simülasyon ve Analizi

Tablo 5.4’de gösterilen değerler kullanılmak suretiyle, ANSYS HFSS 15.00 programı yardımıyla 2x1 yamadan oluşan dizi mikroşerit anten oluşturulmuştur. Bu kapsamda, oluşturulan 2x1 dizi yama anten görünümü Şekil 5.24’de gösterilmiştir.



Şekil 5.24: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Görünümü

Öncelikle, tasarlanan 2x1 dizi yama antenin bant genişliği ve geri dönüş kaybı değerlendirilmiştir. Şekil 5.17’de geri dönüş kaybı ve frekans grafiği gösterilmektedir.



Şekil 5.25: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Geri Dönüş Kaybı (S11) Frekans Grafiği

Geri dönüş kaybı, m1 noktasında -11,41 dB olarak bulunmuştur. Bu kapsamda, geri yansımının fazla olduğu ve anten performansının iyi olmadığı anlaşılmaktadır.

Bant genişliği Eşitlik (5.14)'ten;

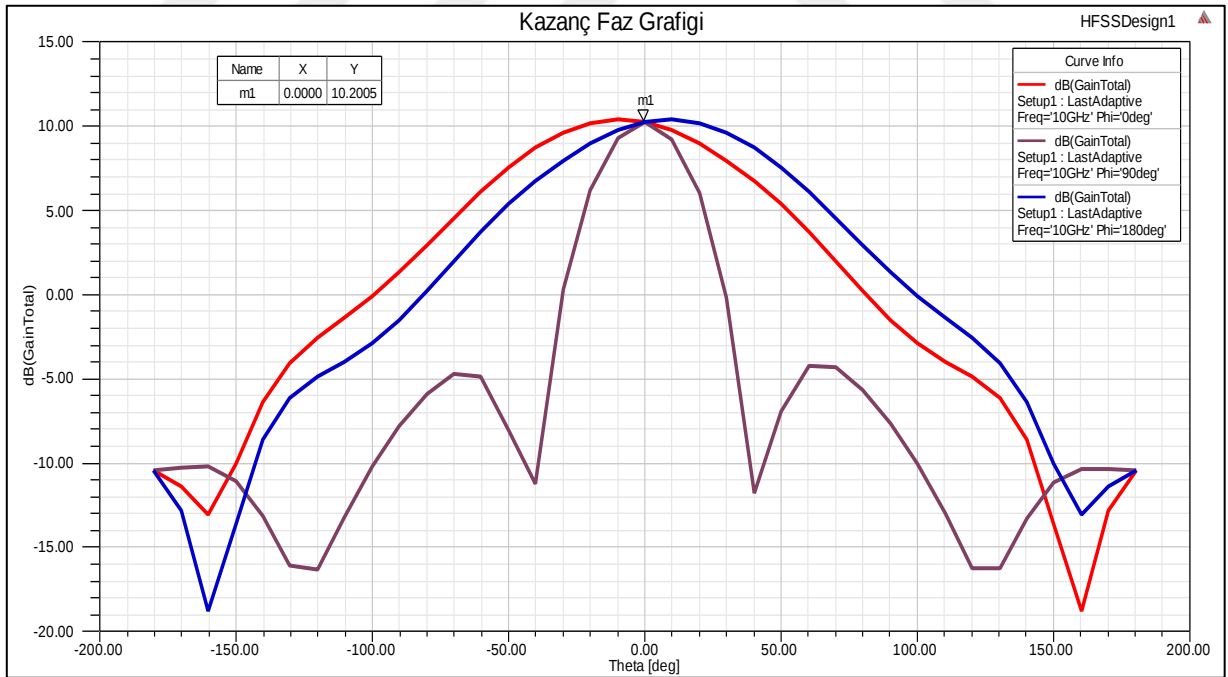
$$\text{Bant Genişliği} = \text{Üst Sınır Frekans Değeri (m3)} - \text{Alt Sınır Frekans Değeri (m2)}$$

$$\text{Bant Genişliği} = 10,2003 \text{ GHz} - 9,9215 \text{ GHz}$$

$$\text{Bant Genişliği} = 278 \text{ MHz olarak bulunur.}$$

Antenin tasarımı çalışma frekansı 10 GHz olacak şekilde yapıldığından ve merkez frekansının değeri yani m1 noktası 10,1 GHz'i gösterdiğinden dolayı, tasarımı yapılan anten merkez (çalışma) frekansı açısından başarılı değildir.

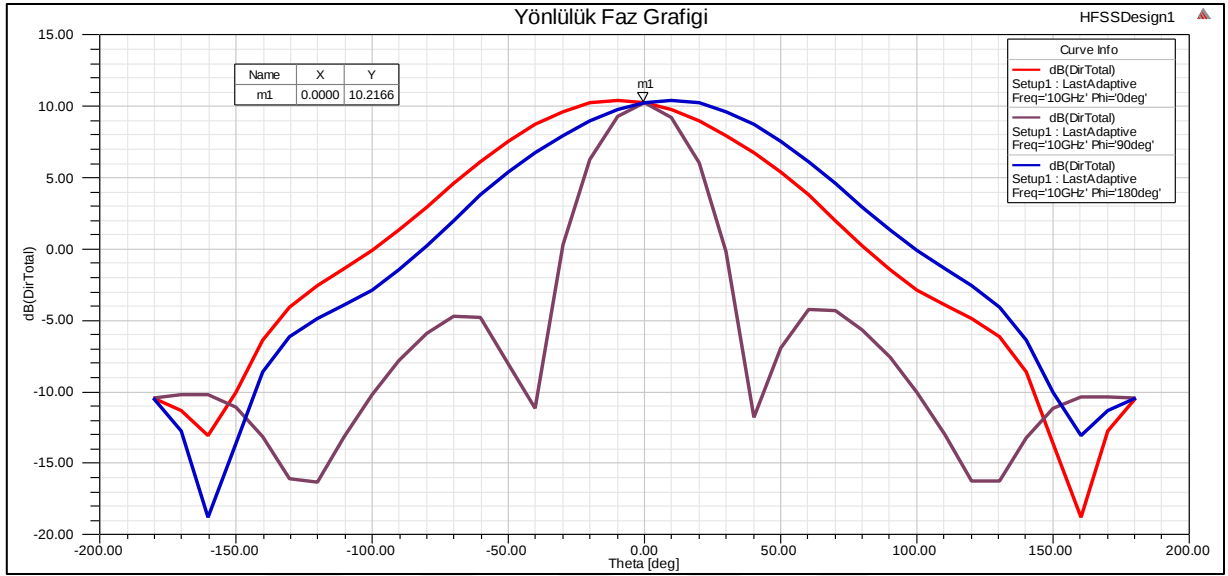
Tasarlanan 2x1 yama dizi antene ait kazanç değerleri Şekil 5.26'da gösterilmektedir.



Şekil 5.26: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Kazanç Faz Grafiği

Şekil 5.26 incelendiğinde, anten kazancı 0° için m1 noktasında 10,2005 dB olarak ölçülmüştür.

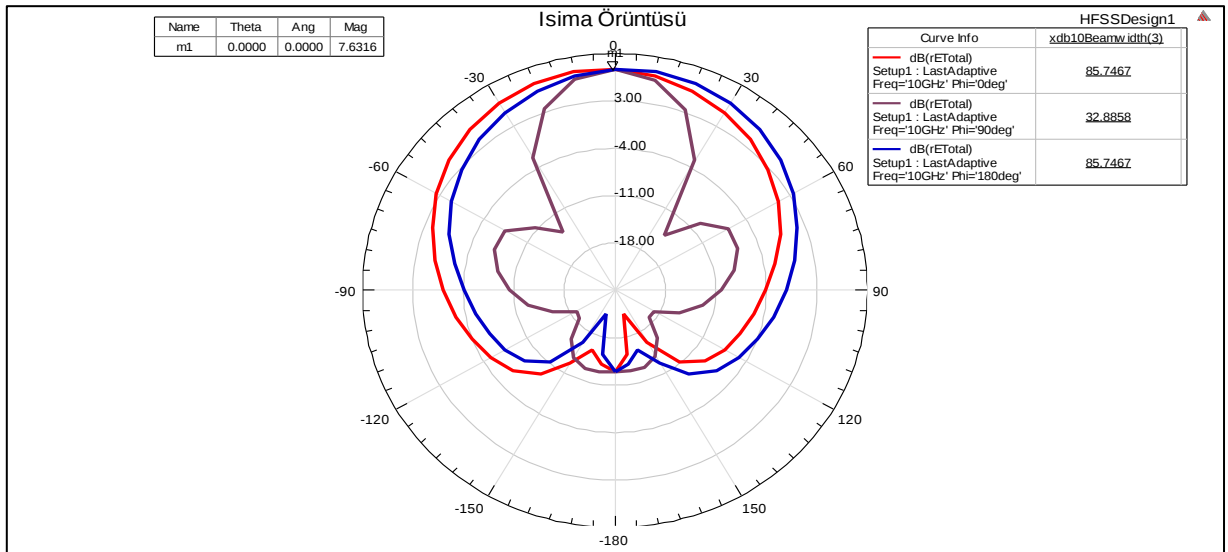
Şekil 5.27’de tasarlanan 2x1 yama dizi antene ait yönlülük değerleri gösterilmektedir.



Şekil 5.27: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Yönlülük Faz Grafiği

Şekil 5.27 incelendiğinde, 0^0 için m1 noktasında antenin 10,2166 dB yönlülük değerine sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 5.28’de tasarlanan 2x1 yama dizi antene ait ışıma örüntüsü gösterilmektedir.

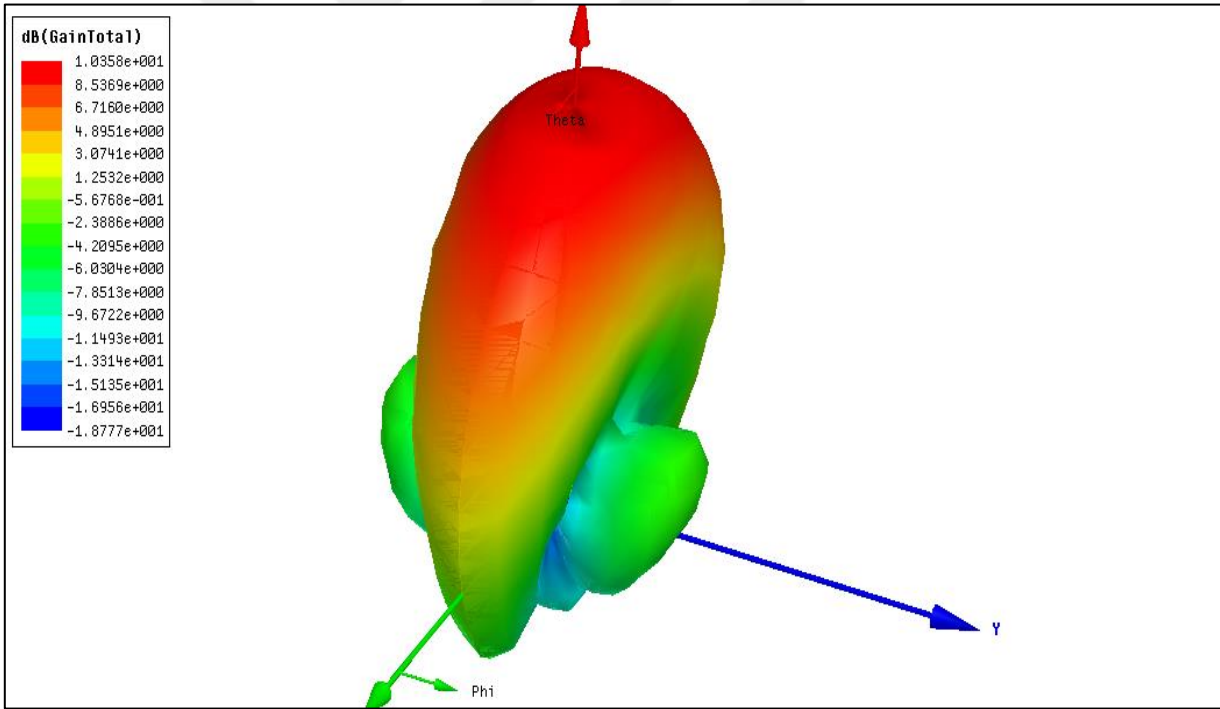


Şekil 5.28: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Işıma Örüntüsü

m1 noktasında, ışıma örüntüsünde maksimum ışımanın 0° 'de 7.6316 dB olduğu görülmektedir.

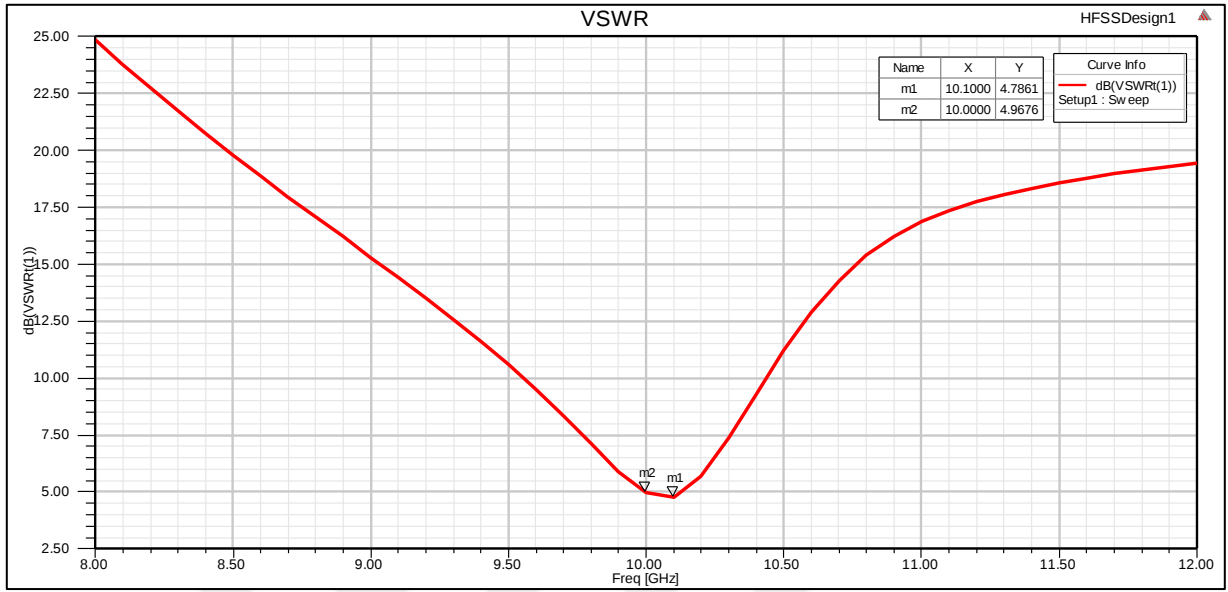
Şekil 5.28'de, (Phi) açılarının yanında bulunan “xdb10Beamwidth(3)” bölümünde bazı açı değerleri mevcut olup, 0° için $85,467^\circ$, 90° için $32,8858^\circ$ ve 180° için $85,7467^\circ$ 'dir. 0° ve 180° 'deki açılardaki değerler aynı olduğundan, 2x1 yama dizi antenin simetrik olduğu söylenebilir.

Şekil 5.29'da, 2x1 yama dizi antene ait ışıma örüntüsü üç boyutlu olarak gösterilmiştir. Işıma yoğunluğu sol tarafta bulunan renk grafiği ile gösterilmekte ve ışımanın koyu kırmızı renk ile gösterilen z eksenine boyunca yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Işıma şiddeti yaklaşık olarak 10,35 dB'dir.



Şekil 5.29: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Üç Boyutlu Işıma Örüntüsü

VSWR değeri, Şekil 5.30'da gösterilmektedir. 10,1 GHz için m1 değeri 4,78, 10 GHz için m2 değeri 4,96 olarak bulunmuştur. Bu kapsamda, tasarlanan 2x1 yama dizi antenin VSWR performansı açısından iyi olmadığı, empedans uyumlamasının iyi olmadığı ve geri dönüş kaybının yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 5.30: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten VSWR Frekans Grafiği

Tasarlanan 2x1 yama dizi anten, değerlendirilen parametreler açısından iyi olmadığından, anten boyutlarında değişiklik yapılmak suretiyle değerlendirme yapılmıştır.

Bu kapsamda, tasarlanan 2x1 yama dizi antene ait boyutlarda yapılan değişiklik Tablo 5.5’de, değişiklik sonucu parametre sonuçları ise Tablo 5.6’da sunulmuştur.

Tablo 5.5: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Boyutlarda Yapılan Değişiklik

Tasarlanan Anten Boyutlarında Yapılan Değişiklik											
	W_a	L_a	W	L	W_g	L_g	W_{100}	L_{100}	W_{50}	L_{50}	d
Tasarlanan Anten	50	30	10,2	7,75	0,8	2	0,64	4,83	2,45	4,6	15
Değişiklik 1	50	30	10,3	7,75	0,8	2	0,64	4,83	2,45	4,6	15
Değişiklik 2	50	30	10,3	7,85	0,8	2	0,64	4,83	2,45	4,6	15
Değişiklik 3	50	30	10,25	7,85	0,8	2	0,64	4,83	2,45	4,6	15
Değişiklik 4	50	30	10,25	7,8	0,8	2	0,64	4,83	2,45	4,6	15

Tablo 5.5: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Boyutlarda Yapılan Değişiklik (devam)

Değişiklik 5	45	30	10,25	7,8	0,8	2	0,64	4,83	2,45	4,6	15
Değişiklik 6	45	35	10,25	7,8	0,8	2	0,64	4,83	2,45	4,6	15
Değişiklik 7	45	35	10,25	7,8	0,9	2	0,64	4,83	2,45	4,6	15
Değişiklik 8	45	35	10,25	7,8	0,9	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	15
Değişiklik 9	45	35	10,25	7,8	1	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	15
Değişiklik 10	45	35	10,25	7,8	1,2	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	15
Değişiklik 11	45	35	10,25	7,8	1	2,6	0,64	4,83	2,45	4,6	15
Değişiklik 12	50	30	10,25	7,8	1	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	15
Değişiklik 13	60	30	10,25	7,8	1	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	15
Değişiklik 14	60	30	10,25	7,8	1	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	13
Değişiklik 15	60	30	10,25	7,8	1	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	12,5

Tablo 5.6: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Boyut Değişiklik Sonucu Parametre Sonuçları

Değişiklik Sonucu Parametrelerin Sonuçları						
	S11 (dB)	Kazanç (dB)	Yönlülük (dB)	Merkez Frekans (GHz)	VSWR Değeri	Bant Genişliği (MHz)
Tasarlanan Anten	-11,4132	10,2005	10,2166	10,1	4,9676	278
Değişiklik 1	-11,3654	10,1845	10,2307	10,1	4,9511	278
Değişiklik 2	-10,9661	10,0884	10,1557	9,9	5,0902	244

Tablo 5.6: Tasarlanan 2x1 Yama Dizi Anten Boyut Değişiklik Sonucu Parametre Sonuçları (devam)

Değişiklik 3	-10,6474	10,0952	10,1281	9,9	5,3592	516
Değişiklik 4	-11,4890	10,1472	10,1848	10	4,7424	274
Değişiklik 5	-11,1613	9,8474	9,9132	10	4,9345	251
Değişiklik 6	-11,3770	9,3905	9,4608	10	4,8071	274
Değişiklik 7	-13,6107	9,3099	9,3952	10	3,6791	357
Değişiklik 8	-18,3636	9,3040	9,3447	10	2,1076	415
Değişiklik 9	-22,4644	9,1724	9,2409	10	1,3105	401
Değişiklik 10	-22,6113	9,0242	9,0909	9,9	2,0751	371
Değişiklik 11	-21,8926	9,1173	9,1984	10	1,4001	395
Değişiklik 12	-19,6825	9,9976	10,0166	10	1,8084	401
Değişiklik 13	-21,9730	10,2771	10,2784	10	1,3871	407
Değişiklik 14	-24,7454	10,2365	10,2519	10	1,0071	458
Değişiklik 15	-23,0301	10,1856	10,1963	10	1,2276	474

Tasarlanan 2x1 yama dizi antene ait boyutlardan, alt tabaka genişliği W_a , alt tabaka uzunluğu L_a , yama genişliği W , yama uzunluğu L , girintinin genişliği W_g , girintinin uzunluğu L_g değiştirilmek suretiyle sonuçlar S_{11} (dB), kazanç (dB), yönlülük (dB), merkez frekans (GHz), VSWR ve bant genişliği (MHz) açısından değerlendirilmiştir.

Değişiklik 1’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 10,2 mm olan W değeri 10,3 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -11,4132’den -11,3654’e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 10,2005’ten 10,1845’e düşmüş,

yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 10,2307'ye yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 10,1 olarak kalmış, VSWR değeri 4,96776'dan 4,9511'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 278 olarak kalmıştır.

Değişiklik 2'de, tasarlanan antene ait boyutlardan 10,2 mm olan W değeri 10,3 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,85 olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -11,4132'den -10,9661'e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 10,0884'e düşmüş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 10,1557'ye düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 9,9'a düşmüş, VSWR değeri 4,96776'dan 5,0902'ye yükselmiş ve bant genişliği (MHz) 278'den 244'e düşmüştür.

Değişiklik 3'te, tasarlanan antene ait boyutlardan 10,2 mm olan W değeri 10,25 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,85 olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -11,4132'den -10,6474'e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 10,0952'ye düşmüş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 10,1281'e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 9,9'a düşmüş, VSWR değeri 4,96776'dan 5,3592'ye yükselmiş ve bant genişliği (MHz) 278'den 516'ya yükselmiştir.

Değişiklik 4'te, tasarlanan antene ait boyutlardan 10,2 mm olan W değeri 10,25 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,8 olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -11,4132'den -11,4890'a düşmüş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 10,1472'ye düşmüş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 10,1848'e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 4,96776'dan 4,7424'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 278'den 274'e düşmüştür.

Değişiklik 5'te, tasarlanan antene ait boyutlardan 50 mm olan W_a değeri 45 mm olarak, 10,2 mm olan W değeri 10,25 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,8 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -11,4132'den -11,1613'e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 9,8474'e düşmüş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 9,9132'ye düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 4,96776'dan 4,9345'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 278'den 251'e düşmüştür.

Değişiklik 6'da, tasarlanan antene ait boyutlardan 50 mm olan W_a değeri 45 mm olarak, 30 mm olan L_a değeri 35 mm olarak, 10,2 mm olan W değeri 10,25 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,8 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -11,4132'den -11,3770'e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 9,3905'e düşmüş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 9,4608'e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 4,96776'dan 4,8071'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 278'den 274'e düşmüştür.

Değişiklik 7'de, tasarlanan antene ait boyutlardan 50 mm olan W_a değeri 45 mm olarak, 30 mm olan L_a değeri 35 mm olarak, 10,2 mm olan W değeri 10,25 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,8 mm olarak, 0,8 mm olan W_g değeri 0,9 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -11,4132'den -13,6107'ye düşmüş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 9,3099'a düşmüş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 9,3952'ye düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 4,96776'dan 3,6791'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 278'den 357'ye yükselmiştir.

Değişiklik 8'de, tasarlanan antene ait boyutlardan 50 mm olan W_a değeri 45 mm olarak, 30 mm olan L_a değeri 35 mm olarak, 10,2 mm olan W değeri 10,25 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,8 mm olarak, 0,8 mm olan W_g değeri 0,9 mm olarak, 2 mm olan L_g değeri 2,5 olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -11,4132'den -18,3636'ya düşmüş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 9,3040'a düşmüş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 9,3447'ye düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 4,96776'dan 2,1076'ya düşmüş ve bant genişliği (MHz) 278'den 415'e yükselmiştir.

Değişiklik 9'da, tasarlanan antene ait boyutlardan 50 mm olan W_a değeri 45 mm olarak, 30 mm olan L_a değeri 35 mm olarak, 10,2 mm olan W değeri 10,25 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,8 mm olarak, 0,8 mm olan W_g değeri 1 mm olarak, 2 mm olan L_g değeri 2,5 olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -11,4132'den -22,4644'e düşmüş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 9,1724'e düşmüş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 9,2409'a düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 10'a düşmüş,

VSWR değeri 4,96776'dan 1,3105'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 278'den 401'e yükselmiştir.

Değişiklik 10'da, tasarlanan antene ait boyutlardan 50 mm olan W_a değeri 45 mm olarak, 30 mm olan L_a değeri 35 mm olarak, 10,2 mm olan W değeri 10,25 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,8 mm olarak, 0,8 mm olan W_g değeri 1,2 mm olarak, 2 mm olan L_g değeri 2,5 olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, $S_{11}(\text{dB})$ değeri -11,4132'den -22,6113'e düşmüş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 9,0242'ye düşmüş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 9,0909'a düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 9,9'a düşmüş, VSWR değeri 4,96776'dan 2,0751'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 278'den 371'e yükselmiştir.

Değişiklik 11'de, tasarlanan antene ait boyutlardan 50 mm olan W_a değeri 45 mm olarak, 30 mm olan L_a değeri 35 mm olarak, 10,2 mm olan W değeri 10,25 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,8 mm olarak, 0,8 mm olan W_g değeri 1 mm olarak, 2 mm olan L_g değeri 2,6 olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, $S_{11}(\text{dB})$ değeri -11,4132'den -21,8926'ya düşmüş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 9,1173'e düşmüş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 9,1984'e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 4,96776'dan 1,4001'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 278'den 395'e yükselmiştir.

Değişiklik 12'de, tasarlanan antene ait boyutlardan 10,2 mm olan W değeri 10,25 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,8 mm olarak, 0,8 mm olan W_g değeri 1 mm olarak, 2 mm olan L_g değeri 2,5 olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, $S_{11}(\text{dB})$ değeri -11,4132'den -19,6825'e düşmüş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 9,9976'ya düşmüş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 10,0166'ya düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 4,96776'dan 1,8084'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 278'den 401'e yükselmiştir.

Değişiklik 13'de, tasarlanan antene ait boyutlardan 50 mm olan W_a değeri 60 mm olarak, 10,2 mm olan W değeri 10,25 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,8 mm olarak, 0,8 mm olan W_g değeri 1 mm olarak, 2 mm olan L_g değeri 2,5 olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı

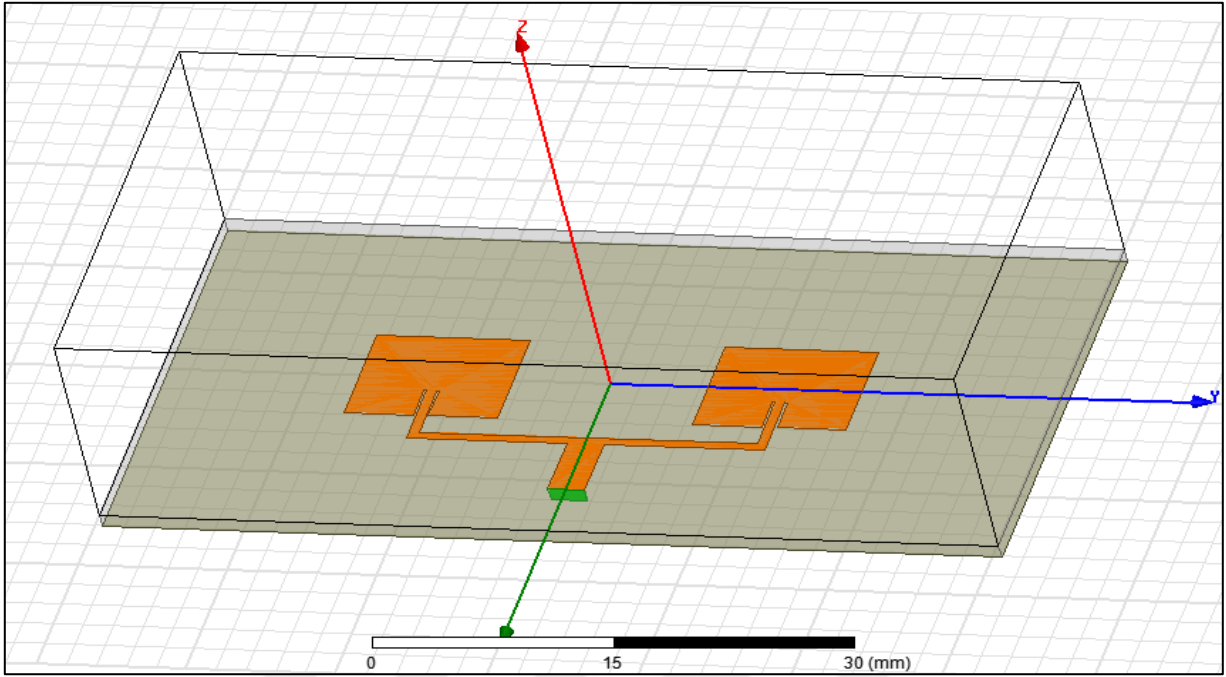
bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -11,4132'den -21,9730'a düşmüş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 10,2771'e yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 10,2784'e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 4,96776'dan 1,3871'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 278'den 407'ye yükselmiştir.

Değişiklik 14'de, tasarlanan antene ait boyutlardan 50 mm olan W_a değeri 60 mm olarak, 10,2 mm olan W değeri 10,25 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,8 mm olarak, 0,8 mm olan W_g değeri 1 mm olarak, 2 mm olan L_g değeri 2,5 olarak, 15 mm olan d değeri 13 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -11,4132'den -24,7454'e düşmüş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 10,2365'e yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 10,2519'a yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 4,96776'dan 1,0071'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 278'den 458'e yükselmiştir.

Değişiklik 15'de, tasarlanan antene ait boyutlardan 50 mm olan W_a değeri 60 mm olarak, 10,2 mm olan W değeri 10,25 mm olarak, 7,75 mm olan L değeri 7,8 mm olarak, 0,8 mm olan W_g değeri 1 mm olarak, 2 mm olan L_g değeri 2,5 olarak, 15 mm olan d değeri 12,5 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -11,4132'den -23,0301'e düşmüş, kazanç (dB) değeri 10,2005'ten 10,1856'ya yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 10,2166'dan 10,1963'e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,1'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 4,96776'dan 1,2276'ya düşmüş ve bant genişliği (MHz) 278'den 474'e yükselmiştir.

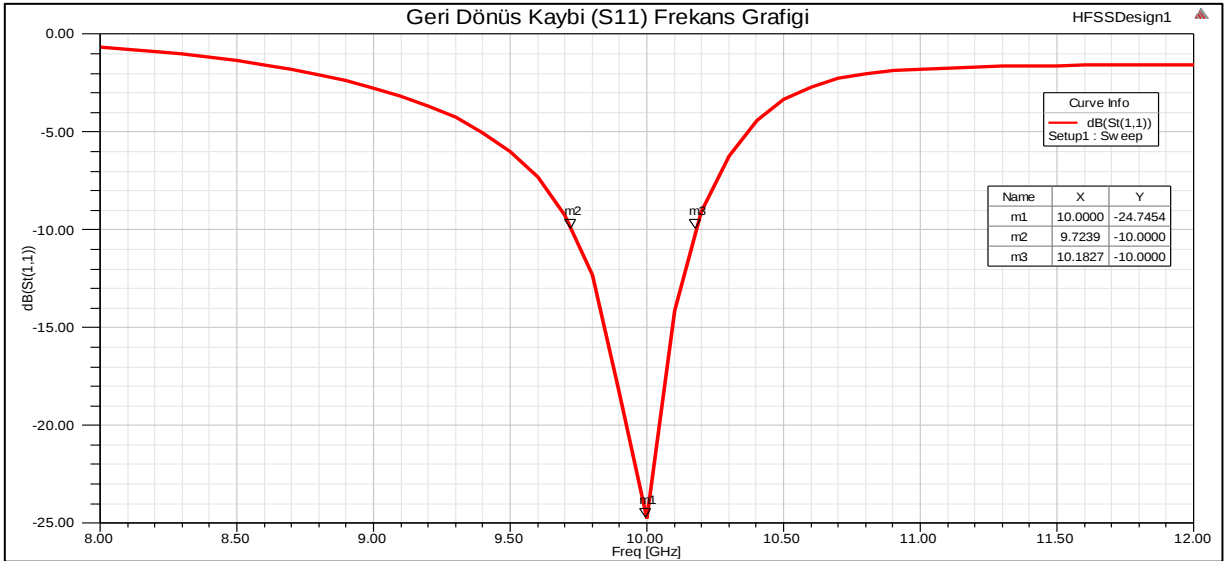
Bu kapsamda, tasarlanan 2x1 yama dizi anten boyutlarında yapılan değişiklikler incelendiğinde, en iyi 2x1 yama dizi anten performansının değişiklik 14 ile elde edildiği anlaşılmaktadır.

Değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi anten görünümü Şekil 5.31'de gösterilmektedir.



Şekil 5.31: Değişiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten Görünümü

Şekil 5.32’de, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antene ait geri dönüş kaybı ve frekans grafiği gösterilmektedir.



Şekil 5.32: Değişiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten Geri Dönüş Kaybı (S11) Frekans Grafiği

Şekil 5.32 incelendiğinde, m1 noktasının en düşük geri dönüş kaybı değerini ifade ettiği bilindiğinden, geri dönüş kaybı -24,7454 dB olarak bulunur. Aynı zamanda, merkez frekansı da 10 GHz'dir. Tasarlanan 2x1 mikroşerit yama dizi antende S11 değeri -11,4132 dB, merkez frekans ise 10,1 GHz olarak bulunmuştu. S11 değerinin eksi yönde büyük olması empedans uyumlamasının iyi olduğunu göstermektedir.

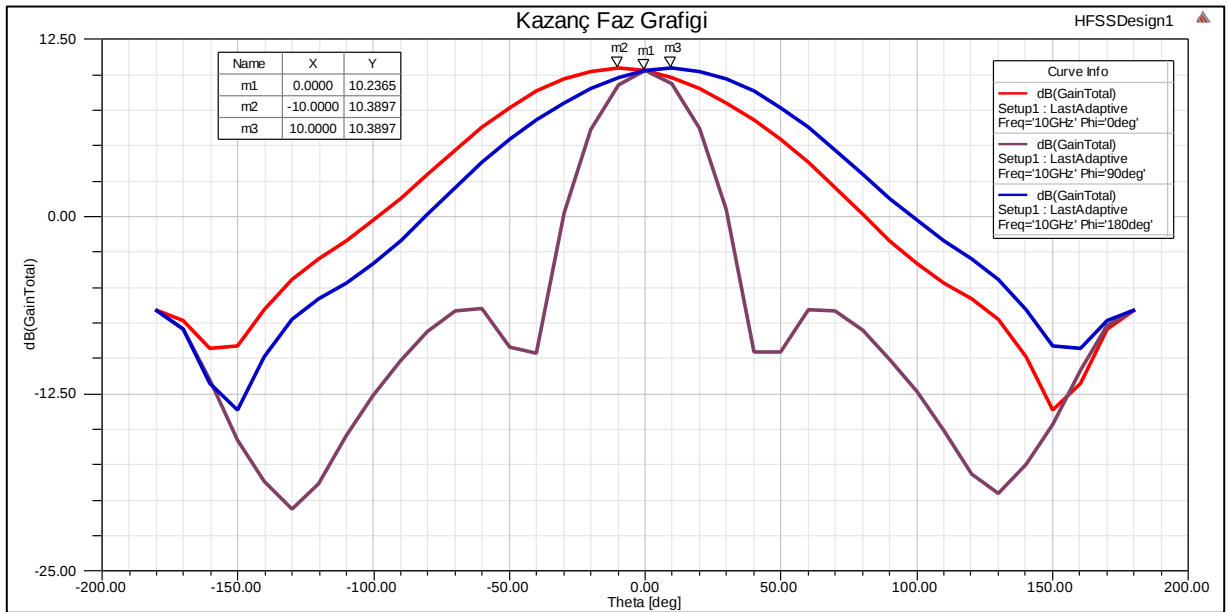
m2 ve m3 değerleri arasındaki fark bant genişliğini ifade ettiğinden Eşitlik (5.14)'ten;

$$\text{Bant Genişliği} = \text{Üst Sınır Frekans Değeri (m3)} - \text{Alt Sınır Frekans Değeri (m2)}$$

$$\text{Bant Genişliği} = 10.1827 \text{ GHz} - 9.7239 \text{ GHz} = 458 \text{ MHz olarak bulunur.}$$

Değişiklik 10 sonucu elde edilen tek yama antenin S11 değeri -24,5997 dB, bant genişliği ise 311 MHz olarak bulunmuştu. Bu kapsamda, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi anten, değişiklik 10 ile elde edilen tek yama antene göre hem S11 değeri, hem de bant genişliği açısından daha iyi sonuç vermiştir.

Şekil 5.33'de, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antene ait kazanç grafiği gösterilmektedir.

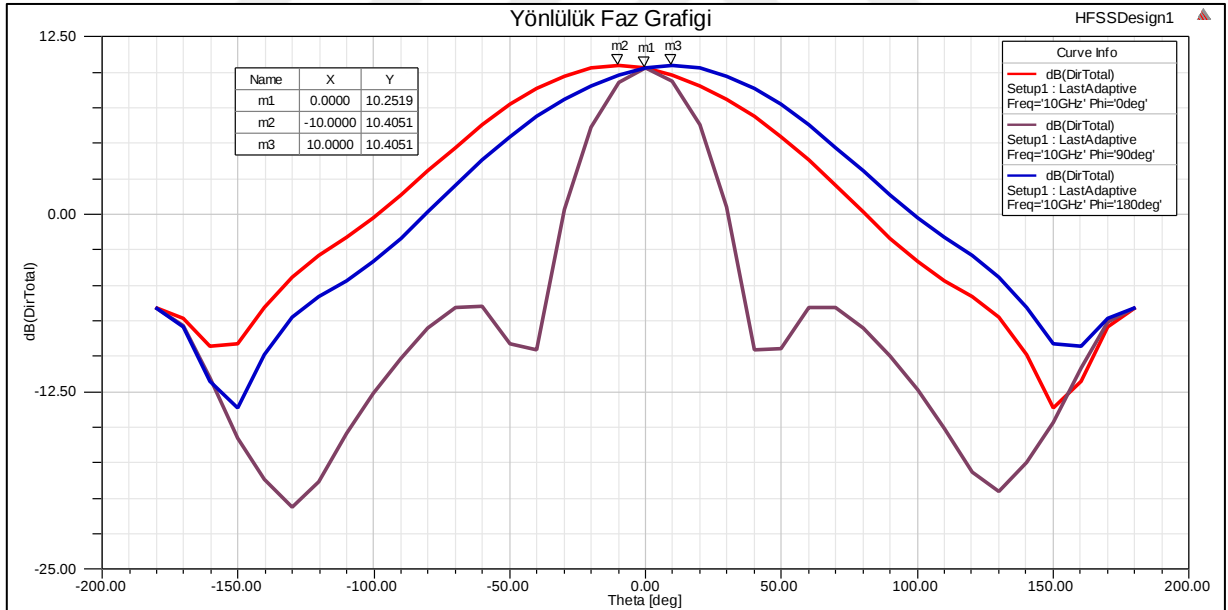


Şekil 5.33: Değişiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten Kazanç Grafiği

Şekil 5.33’de, 0^0 , 90^0 ve 180^0 ’de anten kazançları sırasıyla kırmızı, mor ve mavi grafikler ile gösterilmiştir. Anten kazancı, 0^0 için m1 noktasında 10,2365 dB olarak ölçülmüştür. m2 ve m3 noktalarında ise, -10^0 ve 10^0 için en yüksek değeri almış ve 10,3897 dB olarak ölçülmüştür. Bu nedenle, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antende yatay düzlemde 10^0 faz kayması meydana geldiği anlaşılmıştır. Kazanç farkı ise 0.15 dB’dir. Kazanç farkının yüksek olmaması nedeni ile faz kayması dikkate alınmamıştır. Düşey düzlemde ise faz kayması yoktur.

Değişiklik 10 sonucu elde edilen tek yama antenin kazancı 7,4942 dB olduğundan, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi anten, değişiklik 10 ile elde edilen tek yama antene göre kazanç değeri açısından 2,7423 dB daha fazla kazanç değerine sahip olarak daha iyi sonuç vermiştir.

Şekil 5.34’de, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antene ait yönlülük grafiği gösterilmektedir.



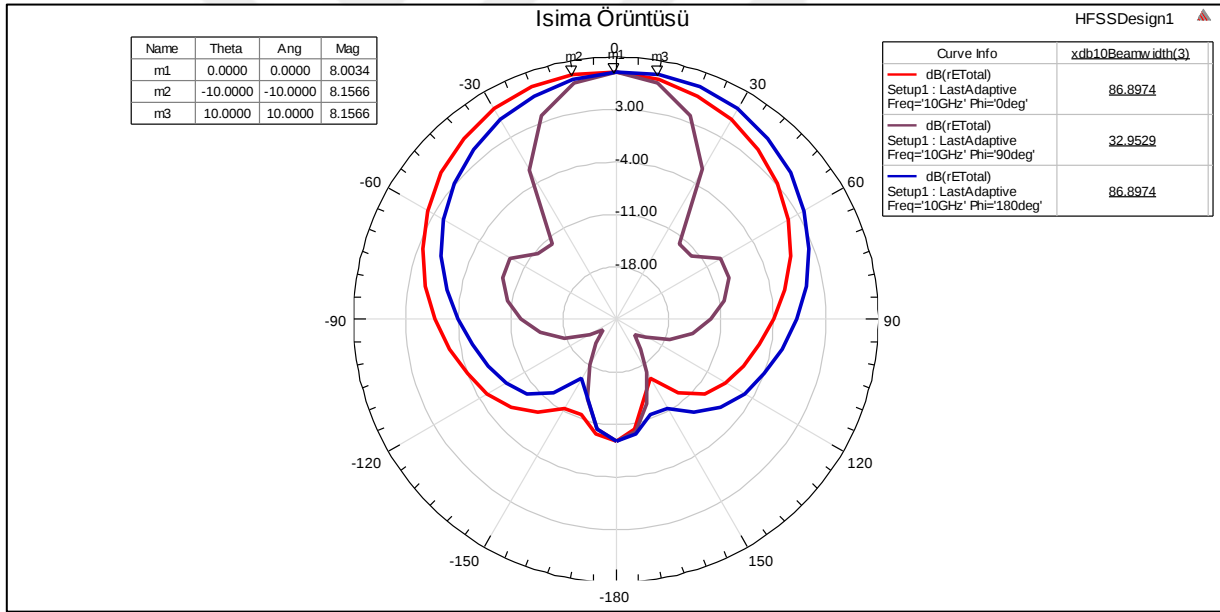
Şekil 5.34: Değişiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten Yönlülük Grafiği

Şekil 5.34’de, 0^0 , 90^0 ve 180^0 ’de anten yönlülük değerleri sırasıyla kırmızı, mor ve mavi grafikler ile gösterilmiştir. Anten yönlülük değeri, 0^0 için m1 noktasında 10,2519 dB olarak ölçülmüştür. m2 ve m3 noktalarında ise, -10^0 ve 10^0 için en yüksek değeri almış ve 10,4051 dB olarak ölçülmüştür. Bu nedenle, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antende yatay

düzlemde 10^0 faz kayması meydana geldiği kazanç grafiğinde olduğu gibi yönlülük grafiğinde de görülmüştür. Yönlülük değeri farkı ise 0,15 dB'dir. Yönlülük değeri farkının yüksek olmaması nedeni ile faz kayması dikkate alınmamıştır. Düşey düzlemde ise faz kayması yoktur.

Değişiklik 10 sonucu elde edilen tek yama antenin yönlülük değeri 7,5734 dB olduğundan, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi anten, değişiklik 10 ile elde edilen tek yama antene göre yönlülük değeri açısından 2,6785 dB daha fazla kazanç değerine sahip olarak daha iyi sonuç vermiştir.

Şekil 5.35'de, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antene ait ışıma örüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 5.35: Değişiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten Işıma Örüntüsü

Şekil 5.35'de, 0^0 , 90^0 ve 180^0 'de anten genlik değerleri sırasıyla kırmızı, mor ve mavi grafikler ile gösterilmiştir. 2x1 yama dizi anten genliğinin, 0^0 için m1 noktasında 8,0034 dB değerine ulaştığı görülmektedir. m2 ve m3 noktalarında ise, -10^0 ve 10^0 için en yüksek değeri almış ve 8,1566 dB olarak ölçülmüştür. Bu nedenle, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antende yatay düzlemde 10^0 faz kayması meydana geldiği ışıma örüntüsünde de görülmüştür. Genlik değeri farkı ise 0,15 dB'dir. Genlik farkının yüksek olmaması nedeni ile faz kayması dikkate

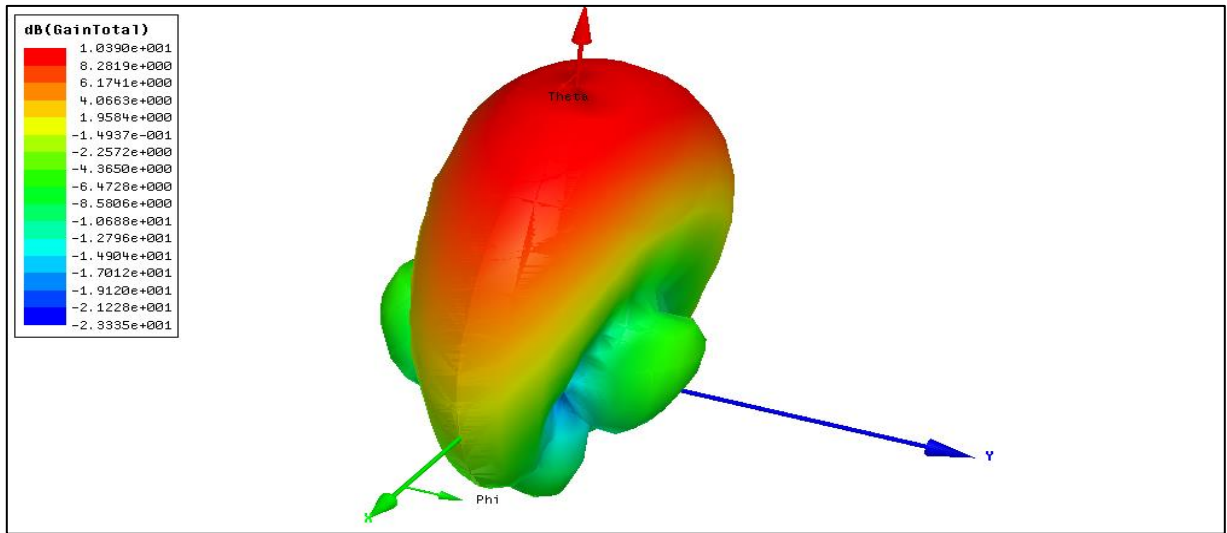
alınmamıştır. Düşey düzlemde ise faz kayması yoktur.

Tasarlanan 2x1yama dizi antende genlik değeri 7,6316 dB iken, değişiklik 14 ile bu değer 8,0034 dB'e yükselmiştir. Değişiklik 10 sonucu elde edilen tek yama antenin genlik değeri 5,2606 dB olduğundan, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi anten, değişiklik 10 ile elde edilen tek yama antene göre genlik değeri açısından 2,7428 dB daha fazla değere sahip olarak daha iyi sonuç vermiştir.

Yatay ve düşey ekseninde (0^0 ve 90^0 için) hüzmeye açıları sırasıyla $86,8974^0$ ve $32,9529^0$ olarak ölçülmüştür. Tasarlanan 2x1yama dizi antende bu değerler sırasıyla $85,7467^0$ ve $32,8858^0$ 'dir. Bu durumda, hüzmeye açısının yatay ekseninde $1,15^0$, düşey ekseninde ise $0,067^0$ daha geniş olduğu gözlemlenir. Ancak, genişleme çok az olduğundan herhangi bir önemi yoktur.

Değişiklik 10 sonucu elde edilen tek yama antenin, yatay ve düşey ekseninde (0^0 ve 90^0 için) hüzmeye açıları sırasıyla $82,5097^0$ ve $71,7408^0$ olduğundan, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi anten yatayda $3,237^0$ daha iyi hüzmeye açısında sahip iken düşeyde $38,855^0$ daha dar hüzmeye açısına sahiptir. Bu ise istenen bir sonuçtur.

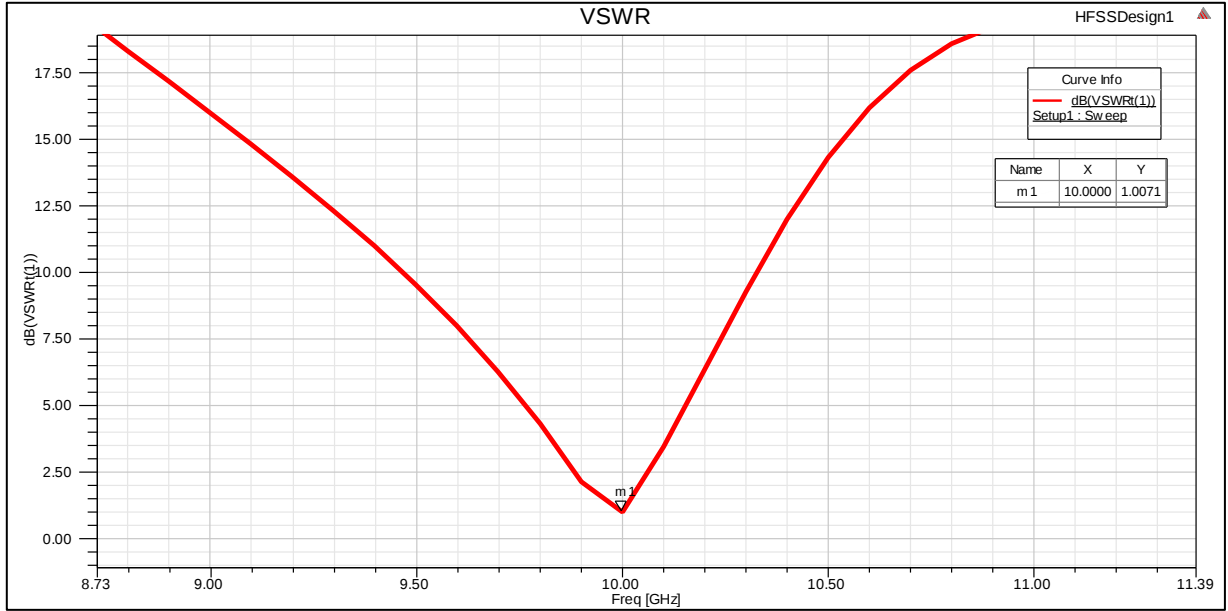
Şekil 5.36'da, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antene ait ışıma örüntüsü üç boyutlu olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.36: Değişiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten Üç Boyutlu Işıma Örüntüsü

Işıma yoğunluğu sol tarafta bulunan renk grafiği ile gösterilmekte olup koyu kırmızı renk ile gösterilen z eksenı boyunca ışımanın yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Işıma şiddeti yaklaşık olarak 10,39 dB'dir.

Şekil 5.37'de, değışiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antene ait VSWR grafiğı gösterilmektedir.



Şekil 5.37: Değışiklik 14 İle Elde Edilen 2x1 Yama Dizi Anten VSWR Frekans Grafiğı

Şekil 5.37'de, m1 noktasında VSWR değeri 1,0071 olduğu görülmektedir. Bu değerin tasarlanan 2x1 yama dizi antende 4,9676 olduğu göz önüne alındığında, değışiklik 14 ile elde edilen antenin 2x1 yama dizi antenin VSWR değeri çok daha başarılı olduğu söylenebilir.

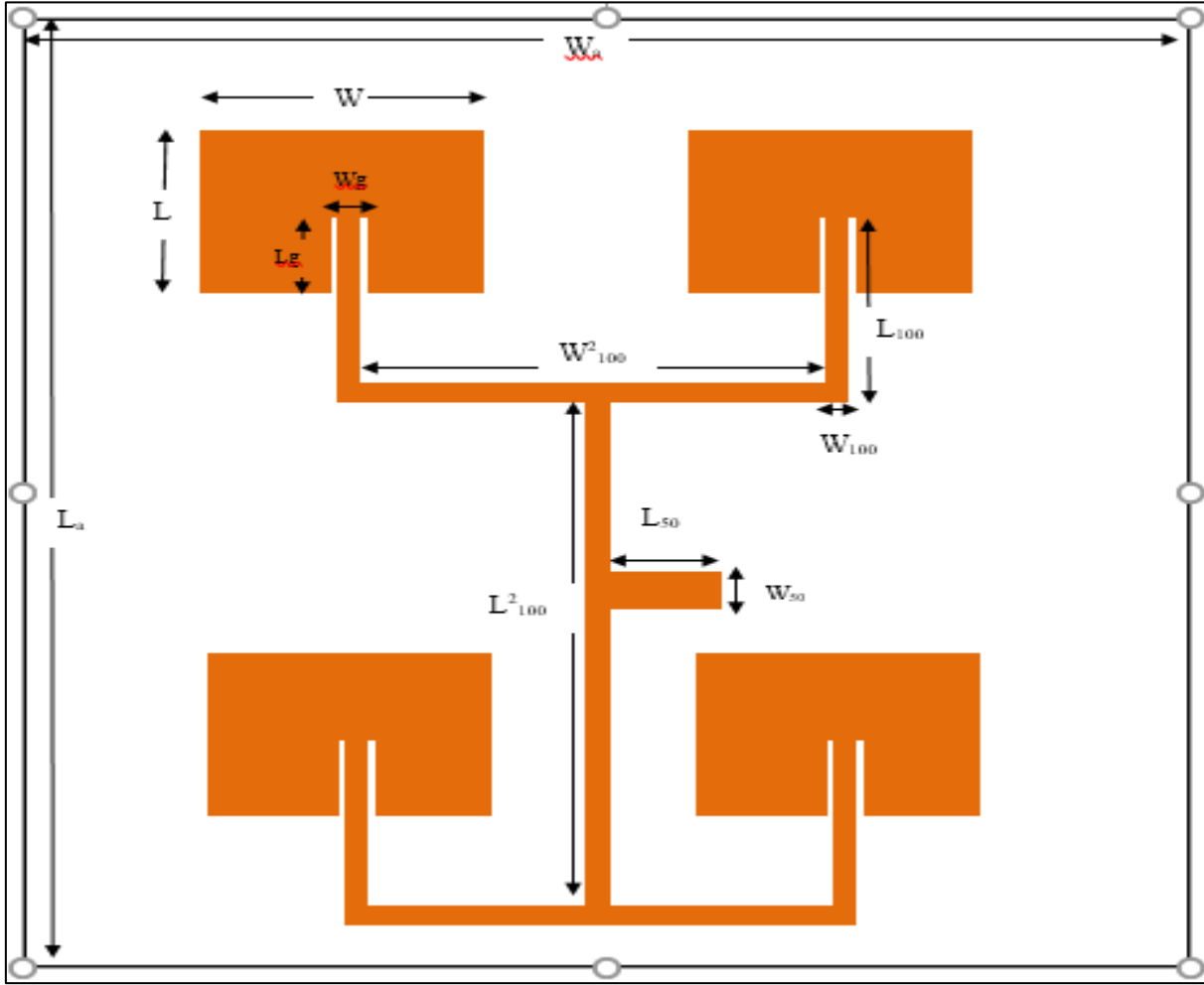
Değışiklik 10 sonucu elde edilen tek yama antenin VSWR değeri 1,0241 olduğundan, değışiklik 14 ile elde edilen antenin 2x1 yama dizi antenin VSWR değeri daha başarılıdır.

5.2.3 2x2 Yama Dizi Anten Tasarımı

Değışiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi anten boyutları kullanılmak suretiyle, 2x2 yama dizi anten tasarımı yapılmıştır. Tasarımın yapılmasını müteakip, tek yama anten ve 2x1 yama dizi

antende yapıldığı gibi, anten boyutlarında değişiklik yapılmak suretiyle parametreler açısından değerlendirme yapılmıştır.

Tasarımı yapılan 2x2 yama dizi anten temel yapısı Şekil 5.38’de gösterilmiştir.



Şekil 5.38: 2x2 Yama Dizi Anten Tasarımı

2x2 yama dizi antende, 2x1 yama dizi antenden farklı olarak ikili yamalar arası mesafeden dolayı oluşan L_{100}^2 değeri bulunmaktadır. Bu değer, alt ve üstte bulunan ikili yamaların arasındaki mesafe (d_2) ile oluşur.

Yan yana yamalar arası mesafe (d_1), üst ve alt arası yamalar arası mesafe ise (d_2) olarak alınmıştır. Diğer boyutlarda, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antende tespit edilen

boyutlar kullanılmıştır.

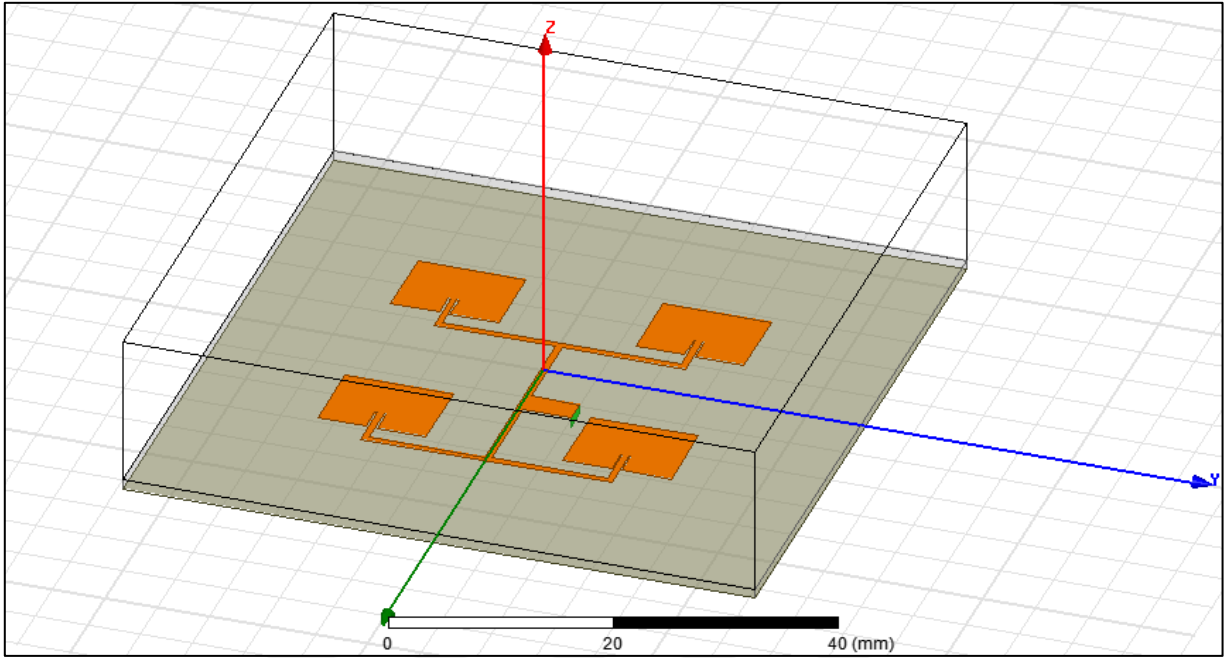
Tablo 5.7’de, 2x2 yama dizi anten boyutları gösterilmektedir.

Tablo 5.7: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Antene Ait Boyutlar

S.No	Anten Değeri	Hesaplanan Değer (mm)
1	W	10,25
2	L	7,8
3	W_g	1
4	L_g	2.5
5	W_{100}	0,64
6	L_{100}	4,83
7	W_{50}	2,45
8	L_{50}	4,6
9	W_a	60
10	L_a	60
11	d_1	13
12	d_2	13

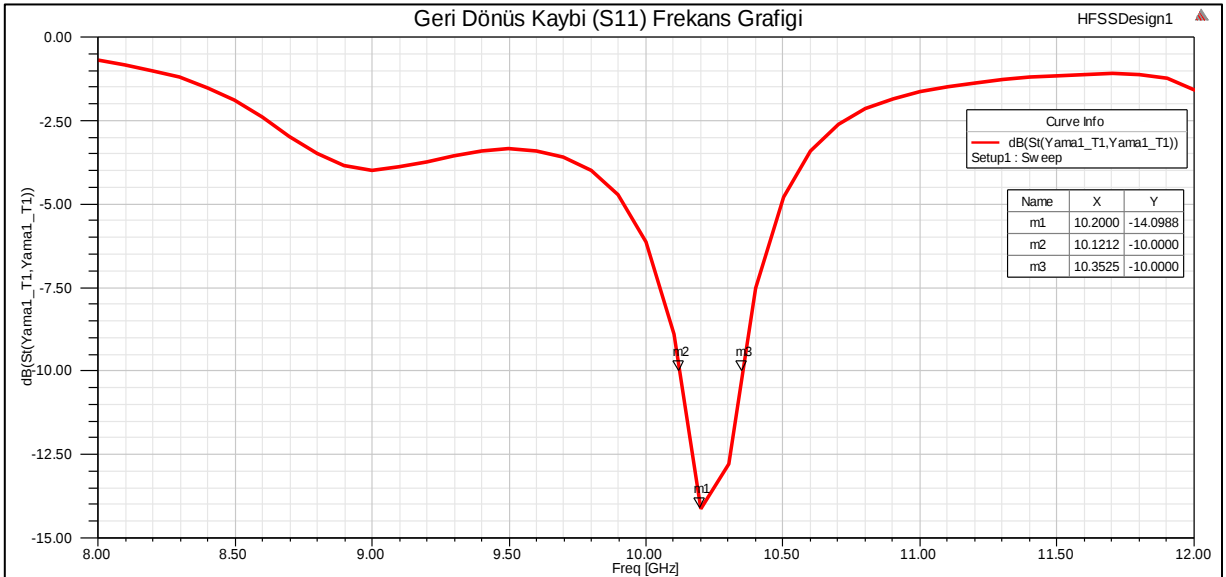
5.2.3.1 2x2 Yama Dizi Anten Simülasyon ve Analizi

Tablo 5.7’de gösterilen değerler kullanılmak suretiyle, ANSYS HFSS 15.00 programı yardımıyla 2x2 dizi yamadan oluşan mikroşerit anten oluşturulmuştur. Bu kapsamda, oluşturulan 2x2 yama dizi anten görünümü Şekil 5.39’da gösterilmiştir.



Şekil 5.39: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Görünümü

Şekil 5.40’da, tasarlanan 2x2 yama dizi antenin geri dönüş kaybı ve frekans grafiği gösterilmektedir.



Şekil 5.40: Tasarlanan 2x2 Mikroşerit Yama Dizi Anten Geri Dönüş Kaybı (S11) Frekans Grafiği

m1 noktasında, geri dönüş kaybı -14,0988 dB olarak bulunmuştur. Bu kapsamda, geri yansımının fazla olduğu ve anten performansının iyi olmadığı anlaşılmaktadır.

Bant genişliği ise Eşitlik (5.14)'den;

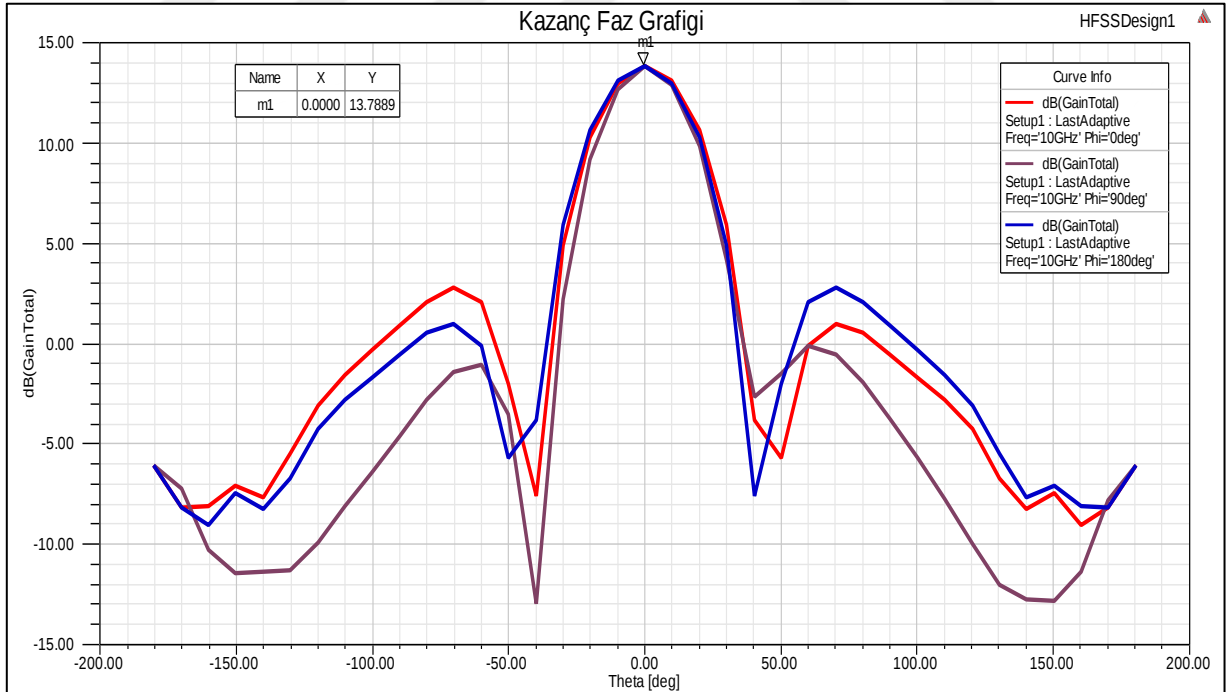
$$\text{Bant Genişliği} = \text{Üst Sınır Frekans Değeri (m3)} - \text{Alt Sınır Frekans Değeri (m2)}$$

$$\text{Bant Genişliği} = 10,3525 \text{ GHz} - 10,1212 \text{ GHz}$$

$$\text{Bant Genişliği} = 231 \text{ MHz olarak bulunur.}$$

Antenin tasarımı, çalışma frekansı 10 GHz olacak şekilde yapıldığından ve merkez frekansının değeri m1 noktasında 10,2 GHz olduğundan, tasarımı yapılan 2x2 yama dizi anten merkez (çalışma) frekansı açısından başarılı değildir.

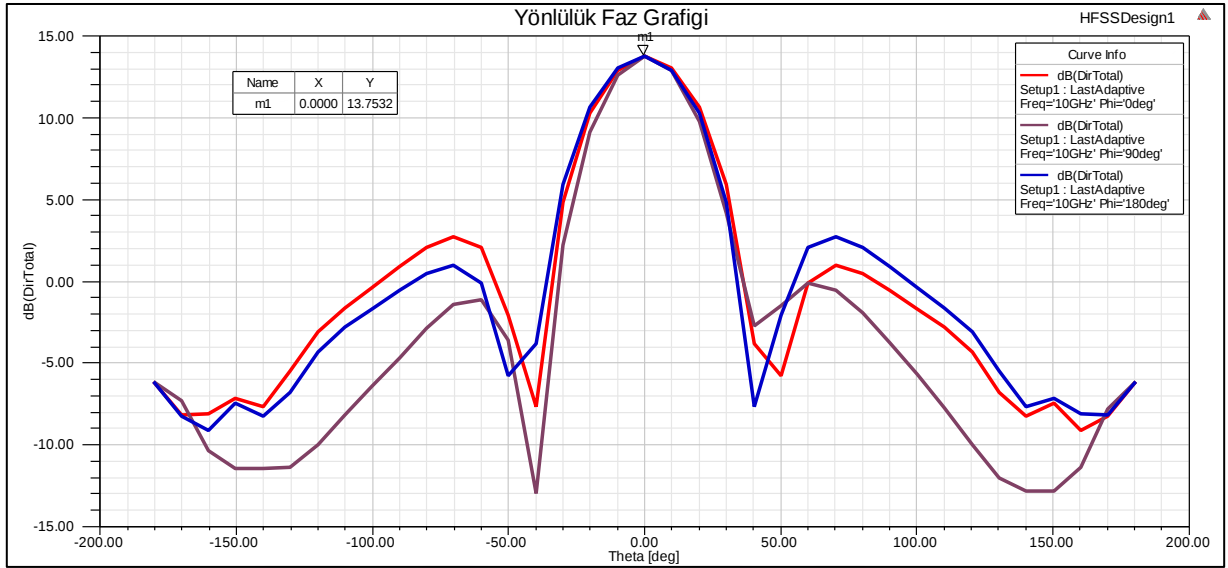
Tasarlanan 2x2 yama dizi antene ait kazanç değerleri Şekil 5.41'de gösterilmektedir.



Şekil 5.41: Tasarlanan 2x2 Mikroşerit Yama Dizi Anten Kazanç Faz Grafiği

Bu kapsamda, anten kazancı 0^0 için m1 noktasında 13,889 dB olarak ölçülmüştür.

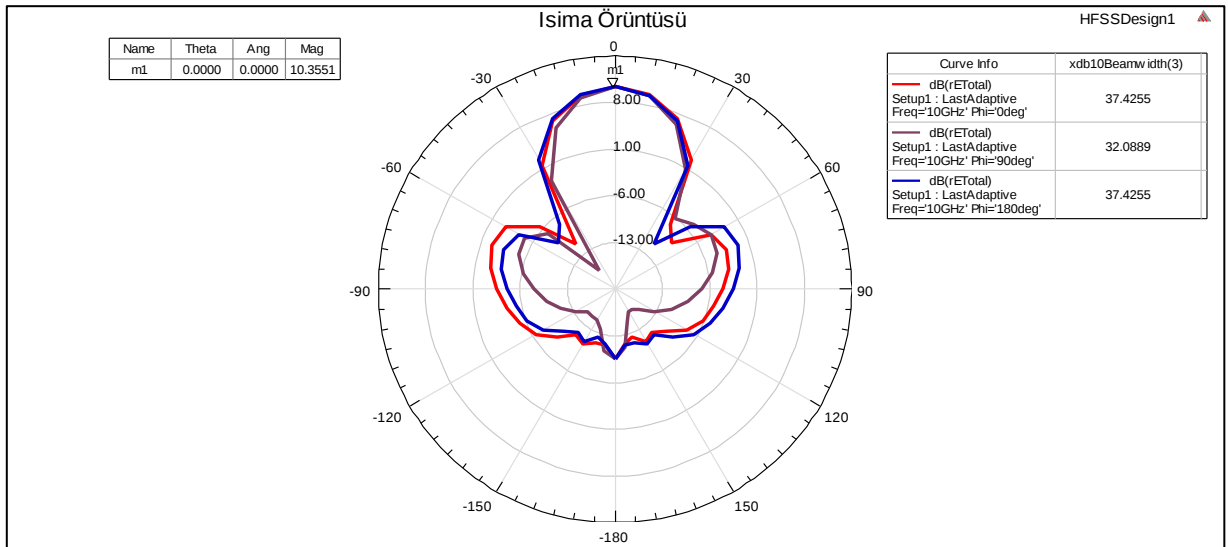
Şekil 5.42’de, tasarlanan 2x2 yama dizi antene ait yönlülük değerleri gösterilmektedir.



Şekil 5.42: Tasarlanan 2x2 Mikroşerit Yama Dizi Anten Yönlülük Faz Grafiği

Şekil 5.42 incelendiğinde, 0° için m1 noktasında antenin 13,7532 dB yönlülük değerine sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 5.43’de, tasarlanan 2x2 yama dizi antene ait ışıma örüntüsü gösterilmektedir.

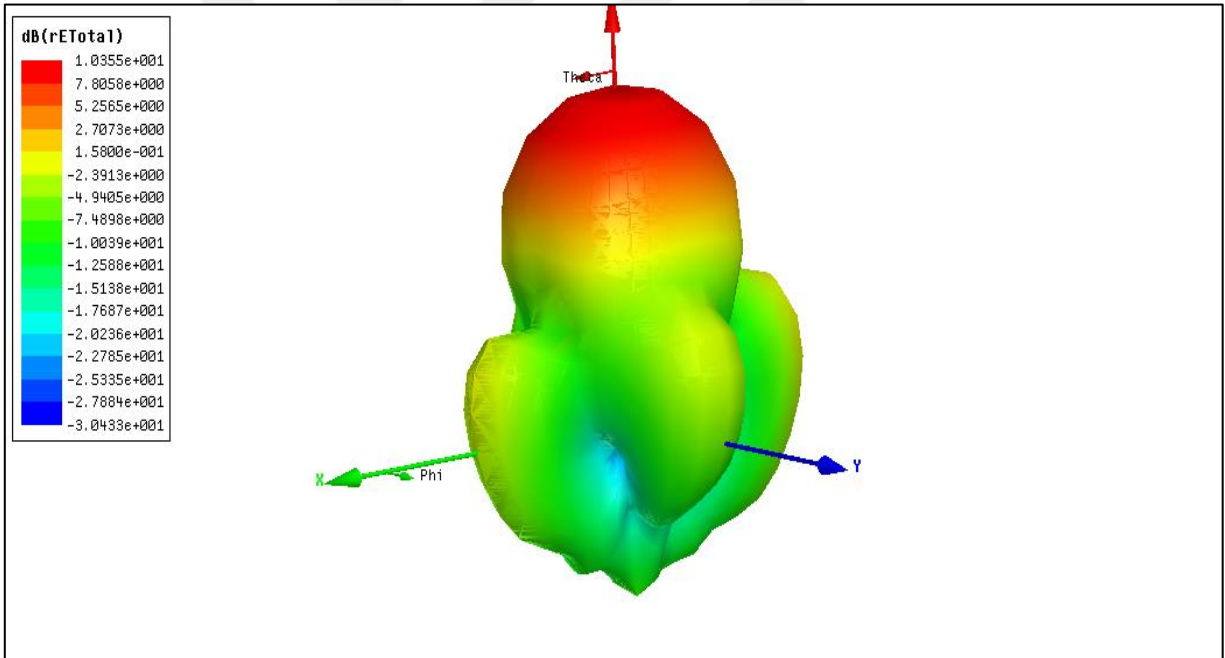


Şekil 5.43: Tasarlanan 2x2 Mikroşerit Yama Dizi Anten Işıma Örüntüsü

m1 noktasında, ışıma örüntüsünde maksimum ışımanın 0° 'de ve 10,3551 dB olduğu görülmektedir.

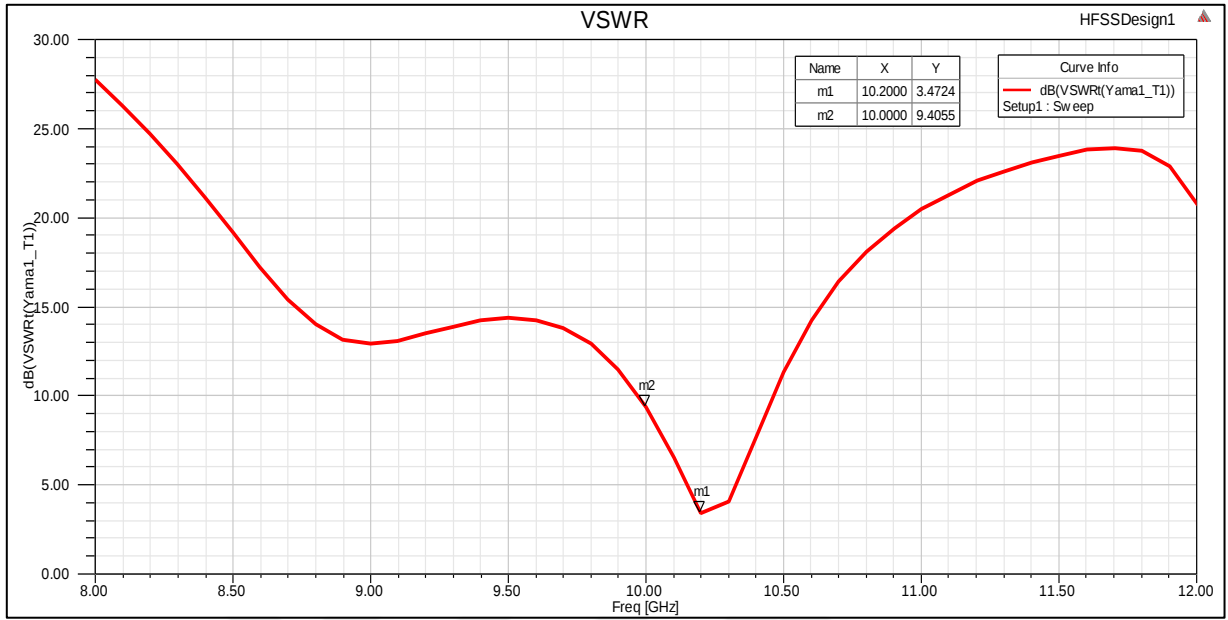
Şekilde 5.43'de, (Phi) açılarının yanında “xdb10Beamwidth(3)” bölümünde bazı açı değerleri mevcut olup, 0° için $37,4255^\circ$, 90° için $32,0889^\circ$ ve 180° için $37,4255^\circ$ 'dir. 0° ve 180° 'deki açılardaki değerler aynı olduğundan, antenin simetrik olduğunu söylenebilir.

Şekil 5.44'de, 2x2 yama dizi antene ait ışıma örüntüsü üç boyutlu olarak gösterilmiştir. Işıma yoğunluğu sol tarafta bulunan renk grafiği ile gösterilmekte ve koyu kırmızı renk ile gösterilen z eksenini boyunca ışımanın yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Işıma şiddeti yaklaşık olarak 10,35 dB'dir.



Şekil 5.44: Tasarlanan 2x2 Mikroşerit Yama Dizi Anten Üç Boyutlu Işıma Örüntüsü

Şekil 5.45'de, tasarlanan 2x2 yama dizi antene ait VSWR değeri gösterilmektedir. 10,2 GHz için m1 değeri 3,4724, 10 GHz için m2 değeri 9,4055 olarak bulunmuştur. Bu kapsamda, bulunan değerlerin VSWR performansı açısından iyi olmadığı, empedans uyumlamasının iyi olmadığı ve geri dönüş kaybının yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 5.45: Tasarlanan 2x2 Mikroşerit Yama Dizi Anten VSWR Frekans Grafiği

Tasarlanan 2x2 yama dizi anten, değerlendirilen parametreler açısından iyi olmadığından, anten boyutlarında değişiklik yapılmak suretiyle değerlendirme yapılmıştır. Bu kapsamda, tasarlanan 2x2 yama dizi antene ait boyutlarda yapılan değişiklik Tablo 5.8’de, değişiklik sonucu parametre sonuçları ise Tablo 5.9’da sunulmuştur.

Tablo 5.8: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Boyutlarında Yapılan Değişiklik

Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Boyutlarında Yapılan Değişiklik												
	W_a	L_a	W	L	W_g	L_g	W_{100}	L_{100}	W_{50}	L_{50}	d_1	d_2
Tasarlanan Anten	60	60	10,25	7,8	1	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	13	13
Değişiklik 1	60	60	10,1	7,8	1	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	13	13
Değişiklik 2	60	60	10,25	8	1	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	13	13
Değişiklik 3	60	60	10,4	7,8	1	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	13	13

Tablo 5.8: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Boyutlarında Yapılan Değişiklik (devam)

Değişiklik 4	60	60	10,5	7,8	1	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	13	13
Değişiklik 5	60	60	10,5	7,9	1	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	13	13
Değişiklik 6	60	60	10,5	8	1	2,5	0,64	4,83	2,45	4,6	13	13
Değişiklik 7	60	60	10,25	7,8	1	3	0,64	4,83	2,45	4,6	13	13
Değişiklik 8	60	60	10,25	7,8	1,1	3	0,64	4,83	2,45	4,6	13	13
Değişiklik 9	65	60	10,25	7,8	1,1	3	0,64	4,83	2,45	4,6	13	13
Değişiklik 10	65	55	10,25	7,8	1,1	3	0,64	4,83	2,45	4,6	13	13
Değişiklik 11	65	65	10,25	7,8	1,1	3	0,64	4,83	2,45	4,6	13	13
Değişiklik 12	65	60	10,25	7,8	1,1	3	0,64	4,83	2,45	4,6	15	13
Değişiklik 13	65	60	10,25	7,8	1,1	3	0,64	4,83	2,45	4,6	13	14
Değişiklik 14	65	60	10,25	7,8	1,1	3	0,64	4,83	2,45	4,6	13	12
Değişiklik 15	65	60	10,25	7,8	1,1	3	0,64	4,83	2,45	4,5	13	13
Değişiklik 16	50	60	10,25	7,8	1,1	3	0,64	4,83	2,45	4,5	13	13
Değişiklik 17	50	65	10,25	7,8	1,1	3	0,64	4,83	2,45	4,5	13	13
Değişiklik 18	55	65	10,25	7,8	1,1	3	0,64	4,83	2,45	4,5	13	13
Değişiklik 19	54	65	10,25	7,8	1,1	3	0,64	4,83	2,45	4,5	13	13
Değişiklik 20	53.8	65	10,25	7,8	1,1	3	0,64	4,83	2,45	4,5	13	13

Tablo 5.9: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Boyut Değişiklik Sonucu Parametre Sonuçları

Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Antende Değişiklik Sonucu Parametrelerin Sonuçları						
	S11 (dB)	Kazanç (dB)	Yönlülük (dB)	Merkez Frekans (GHz)	VSWR Değeri	Bant Genişliği (MHz)
Tasarlanan Anten	-14,0988	13,7889	13,7532	10,2	9,4055	231
Değişiklik 1	-14,6091	13,7722	13,6830	10,3	10,4038	223
Değişiklik 2	-10,2191	13,6831	13,6800	10,1	5,9811	43
Değişiklik 3	-17,3494	13,8260	13,7491	10,2	8,2259	239
Değişiklik 4	-17,4897	13,8338	13,7951	10,2	8,0511	242
Değişiklik 5	-13,9952	13,8623	13,7672	10,1	5,9436	211
Değişiklik 6	-11,0235	13,6836	13,6445	10	5,018	111
Değişiklik 7	-16,3544	13,8588	13,7564	10	2,6638	264
Değişiklik 8	-31,2208	13,7421	13,6429	10	0,4774	260
Değişiklik 9	-35,2397	13,8570	13,744	10	0,3005	262
Değişiklik 10	-25,9957	14,0989	14,0184	10	0,8718	259
Değişiklik 11	-31,5989	13,5905	13,4502	10	0,4571	258
Değişiklik 12	-12,6425	13,7674	13,6541	9,9	4,1285	133
Değişiklik 13	-20,8336	13,6844	13,6063	10	1,5826	265
Değişiklik 14	-26,2992	13,9323	13,8418	10	0,8418	265
Değişiklik 15	-45,6044	13,8851	13,7813	10	0,0911	258

Tablo 5.9: Tasarlanan 2x2 Yama Dizi Anten Boyut Değişiklik Sonucu Parametre Sonuçları (devam)

Değişiklik 16	-22,8115	13,4897	13,3878	10	1,2590	263
Değişiklik 17	-23,9991	13,2034	13,1233	10	1,0977	264
Değişiklik 18	-29,9735	13,4600	13,2995	10	0,5512	259
Değişiklik 19	-24,3137	13,2953	13,2135	10	1,0585	264
Değişiklik 20	-24,8883	13,2870	13,2606	10	0,9906	263

Tasarlanan 2x2 yama dizi antene ait boyutlar değiştirilmek suretiyle sonuçlar, S11(dB), kazanç (dB), yönlülük (dB), merkez frekans (GHz), VSWR değeri ve bant genişliği (MHz) açısından değerlendirilmiştir.

Değişiklik 1’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 10,25 mm olan W değeri 10,1 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S11(dB) değeri -14,0988’den -14,6091’e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889’dan 13,7722’ye düşmüş, yönlülük (dB) değeri 13,7532’den 13,6830’a düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2’den 10,3’e yükselmiş, VSWR değeri 9,4055’den 10,4038’e yükselmiş ve bant genişliği (MHz) 231’den 223’e düşmüştür.

Değişiklik 2’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 7,8 mm olan L değeri 8 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S11(dB) değeri -14,0988’den -10,2191’e düşmüş, kazanç (dB) değeri 13,7889’dan 13,6831’e düşmüş, yönlülük (dB) değeri 13,7532’den 13,6800’a düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2’den 10,1’e düşmüş, VSWR değeri 9,4055’den 5,9811’e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231’den 43’e düşmüştür.

Değişiklik 3’te, tasarlanan antene ait boyutlardan 10,25 mm olan W değeri 10,4 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S11(dB) değeri -14,0988’den -17,3494’e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889’dan 13,8260’a yükselmiş,

yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,7491'e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2 olarak değişmemiş, VSWR değeri 9,4055'den 8,2259'a düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 239'a yükselmiştir.

Değişiklik 4'te, tasarlanan antene ait boyutlardan 10,25 mm olan W değeri 10,5 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988'den -17,4897'ye yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889'dan 13,8338'e yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,7951'e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 10,2 olarak değişmemiş, VSWR değeri 9,4055'den 8,0511'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 242'ye yükselmiştir.

Değişiklik 5'te, tasarlanan antene ait boyutlardan 10,25 mm olan W değeri 10,5 mm olarak, 7,8 mm olan L değeri 7,9 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988'den -13,9952'ye düşmüş, kazanç (dB) değeri 13,7889'dan 13,8623'e yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,7672'ye yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 10,2'den 10,1'e düşmüş, VSWR değeri 9,4055'den 5,9436'ya düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 211'e düşmüştür.

Değişiklik 6'da, tasarlanan antene ait boyutlardan 10,25 mm olan W değeri 10,5 mm olarak, 7,8 mm olan L değeri 8 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988'den -11,0235'e düşmüş, kazanç (dB) değeri 13,7889'dan 13,6836'ya düşmüş, yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,6445'e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 9,4055'den 5,018'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 111'e düşmüştür.

Değişiklik 7'de, tasarlanan antene ait boyutlardan 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988'den -16,3544'e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889'dan 13,8588'e yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,7564'e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 10,2'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 9,4055'den 2,6638'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 264'e yükselmiştir.

Değişiklik 8’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 1 mm olan W_g değeri 1,1 mm olarak, 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988’den -31,2208’e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889’dan 13,7421’e düşmüş, yönlülük (dB) değeri 13,7532’den 13,6429’a düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2’den 10’a düşmüş, VSWR değeri 9,4055’den 0,4774’e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231’den 260’a yükselmiştir.

Değişiklik 9’da, tasarlanan antene ait boyutlardan 60 mm olan W_a değeri 65 mm olarak, 1 mm olan W_g değeri 1,1 mm olarak, 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988’den -35,2397’ye yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889’dan 13,8570’e yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 13,7532’den 13,744’e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2’den 10’a düşmüş, VSWR değeri 9,4055’den 0,3005’e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231’den 262’ye yükselmiştir.

Değişiklik 10’da, tasarlanan antene ait boyutlardan 60 mm olan W_a değeri 65 mm olarak, 60 mm olan L_a değeri 55 mm olarak, 1 mm olan W_g değeri 1,1 mm olarak, 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988’den -25,9957’ye yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889’dan 14,0989’a yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 13,7532’den 14,0184’e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 10,2’den 10’a düşmüş, VSWR değeri 9,4055’den 0,8718’e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231’den 259’a yükselmiştir.

Değişiklik 11’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 60 mm olan W_a değeri 65 mm olarak, 60 mm olan L_a değeri 65 mm olarak, 1 mm olan W_g değeri 1,1 mm olarak, 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988’den -31,5989’ye yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889’dan 13,5905’e düşmüş, yönlülük (dB) değeri 13,7532’den 13,4502’ye düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2’den 10’a düşmüş, VSWR değeri 9,4055’den 0,4571’e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231’den 258’e yükselmiştir.

Değişiklik 12’de, tasarlanan antene ait boyutlardan 60 mm olan W_a değeri 65 mm olarak, 1 mm olan W_g değeri 1,1 mm olarak, 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak, 13 mm olan d_1 değeri 15

mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988'den -12,6425'e düşmüş, kazanç (dB) değeri 13,7889'dan 13,7674'e düşmüş, yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,6541'e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2'den 9,9'a düşmüş, VSWR değeri 9,4055'den 4,1285'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 133'e düşmüştür.

Değişiklik 13'te, tasarlanan antene ait boyutlardan 60 mm olan W_a değeri 65 mm olarak, 1 mm olan W_g değeri 1,1 mm olarak, 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak, 13 mm olan d_2 değeri 14 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988'den -20,8336'ya yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889'dan 13,6844'e düşmüş, yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,6063'e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 9,4055'den 1,5826'ya düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 265'e yükselmiştir.

Değişiklik 14'te, tasarlanan antene ait boyutlardan 60 mm olan W_a değeri 65 mm olarak, 1 mm olan W_g değeri 1,1 mm olarak, 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak, 13 mm olan d_2 değeri 12 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988'den -26,2992'ye yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889'dan 13,9323'e yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,8418'e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 10,2'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 9,4055'den 0,8418'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 265'e yükselmiştir.

Değişiklik 15'te, tasarlanan antene ait boyutlardan 60 mm olan W_a değeri 65 mm olarak, 1 mm olan W_g değeri 1,1 mm olarak, 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak, 4,6 mm olan L_{50} değeri 4,5 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988'den -45,6044'e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889'dan 13,8851'e yükselmiş, yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,7813'e yükselmiş, merkez frekansı (GHz) 10,2'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 9,4055'den 0,0911'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 258'e yükselmiştir.

Değişiklik 16'da, tasarlanan antene ait boyutlardan 60 mm olan W_a değeri 50 mm olarak, 1 mm olan W_g değeri 1,1 mm olarak, 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak, 4,6 mm olan L_{50} değeri 4,5 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri

-14,0988'den -22,8115'e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889'dan 13,4897'ye düşmüş, yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,3878'e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 9,4055'den 1,2590'a düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 263'e yükselmiştir.

Değişiklik 17'de, tasarlanan antene ait boyutlardan 60 mm olan W_a değeri 50 mm olarak, 60 mm olan L_a değeri 65 mm olarak 1 mm olan W_g değeri 1,1 mm olarak, 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak, 4,6 mm olan L_{50} değeri 4,5 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988'den -23,9991'e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889'dan 13,2034'ye düşmüş, yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,1233'e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 9,4055'den 1,0977'ye düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 264'e yükselmiştir.

Değişiklik 18'de, tasarlanan antene ait boyutlardan 60 mm olan W_a değeri 55 mm olarak, 60 mm olan L_a değeri 65 mm olarak 1 mm olan W_g değeri 1,1 mm olarak, 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak, 4,6 mm olan L_{50} değeri 4,5 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988'den -29,9735'e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889'dan 13,4600'a düşmüş, yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,2995'e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 9,4055'den 0,5512'ye düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 259'a yükselmiştir.

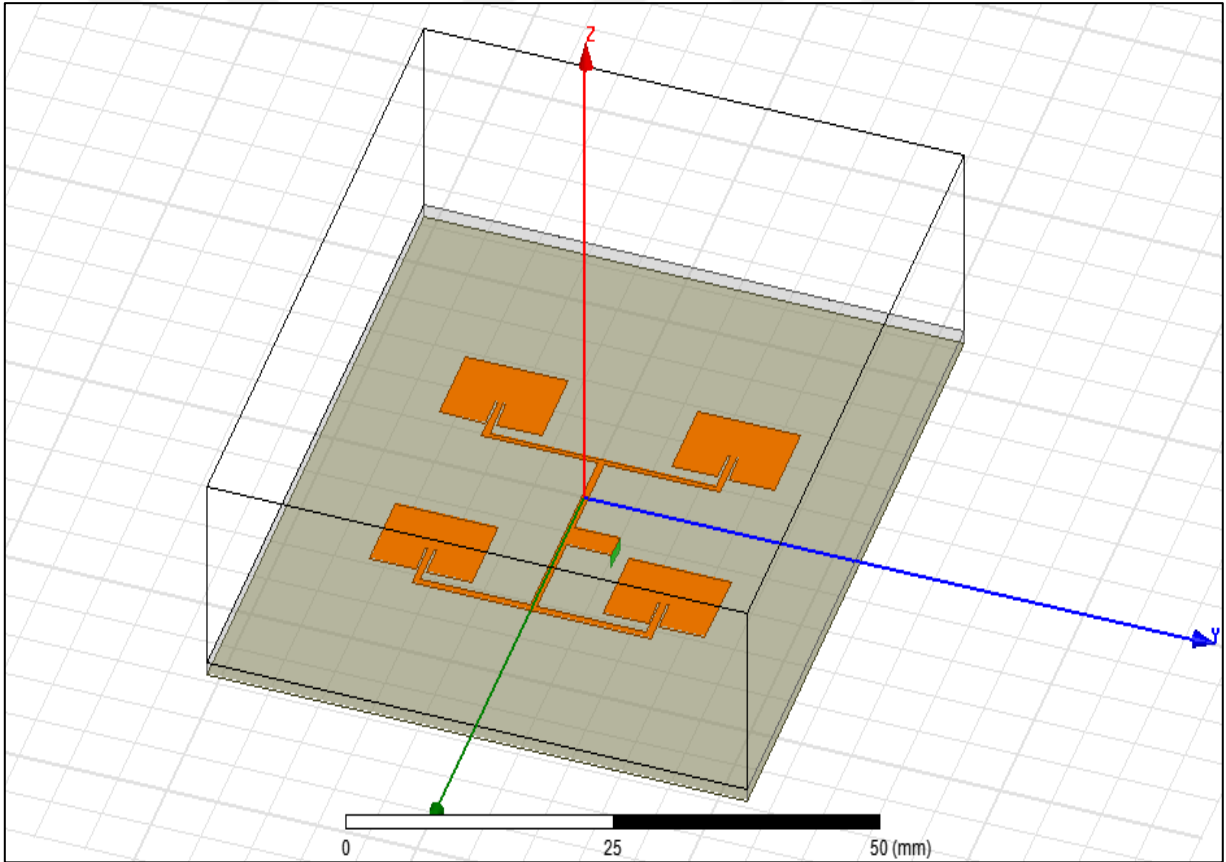
Değişiklik 19'da, tasarlanan antene ait boyutlardan 60 mm olan W_a değeri 54 mm olarak, 60 mm olan L_a değeri 65 mm olarak 1 mm olan W_g değeri 1,1 mm olarak, 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak, 4,6 mm olan L_{50} değeri 4,5 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988'den -24,3137'ye yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889'dan 13,2953'e düşmüş, yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,2135'e düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 9,4055'den 1,0585'e düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 264'e yükselmiştir.

Değişiklik 20'de, tasarlanan antene ait boyutlardan 60 mm olan W_a değeri 53,8 mm olarak, 60 mm olan L_a değeri 65 mm olarak 1 mm olan W_g değeri 1,1 mm olarak, 2,5 mm olan L_g değeri 3 mm olarak, 4,6 mm olan L_{50} değeri 4,5 mm olarak değiştirilmiş, diğer boyutlar ise aynı

bırakılmıştır. Analiz sonucunda, S_{11} (dB) değeri -14,0988'den -24,8883'e yükselmiş, kazanç (dB) değeri 13,7889'dan 13,2870'e düşmüş, yönlülük (dB) değeri 13,7532'den 13,2606'ya düşmüş, merkez frekansı (GHz) 10,2'den 10'a düşmüş, VSWR değeri 9,4055'den 0,9906'ya düşmüş ve bant genişliği (MHz) 231'den 263'e yükselmiştir.

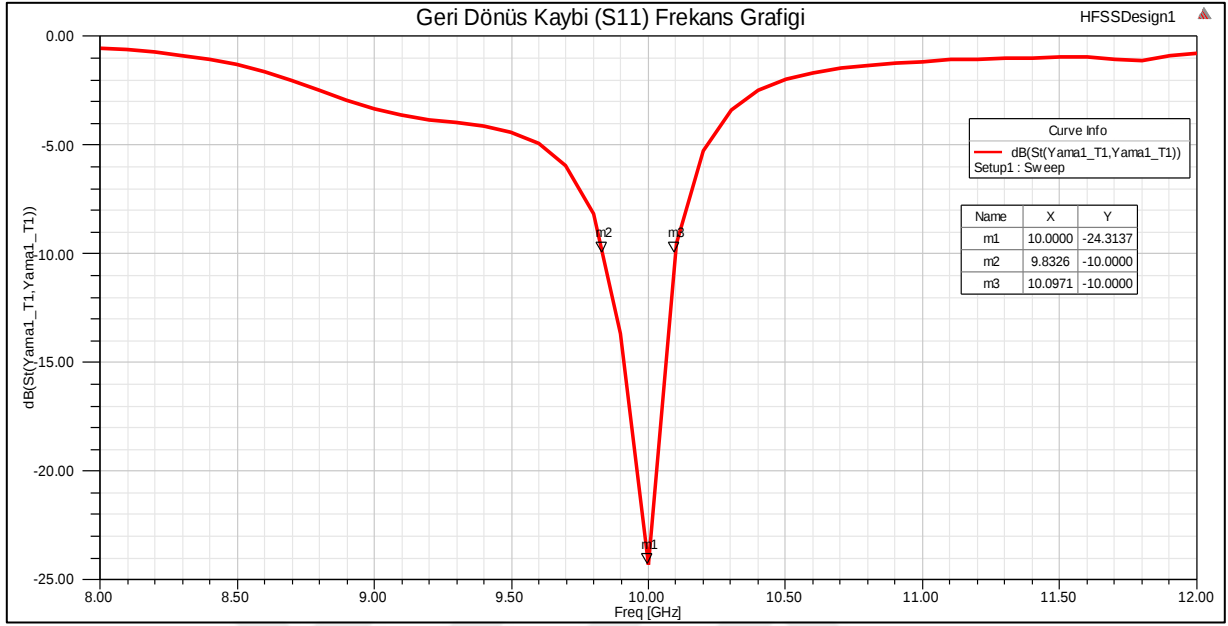
Bu kapsamda, tasarlanan 2x2 yama dizi anten boyutlarında yapılan değişiklikler incelendiğinde en iyi anten performansının değişiklik 19 ile elde edildiği anlaşılmaktadır.

Değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi anten görünümü Şekil 5.46'da gösterilmektedir.



Şekil 5.46: Değişiklik 19 İle Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten Görünümü

Şekil 5.47'de, değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi antene ait geri dönüş kaybı ve frekans grafiği gösterilmektedir.



Şekil 5.47: Değişiklik 19 İle Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten Geri Dönüş Kaybı (S11) Frekans Grafiği

Şekil 5.47 incelendiğinde, m1 noktasındaki en düşük geri dönüş kaybı değeri -24,3137 dB olarak bulunur. Aynı zamanda, merkez frekansının da 10 GHz olduğu görülmektedir. Tasarlanan 2x2 mikroşerit yama dizi antende S11 değeri -14,0988 dB, merkez frekans ise 10,2 GHz olarak bulunmuştu. S11 değerinin eksi yönde büyük olması empedans uyumlamasının iyi olduğunu göstermektedir.

m2 ve m3 değerleri arasındaki fark bant genişliğini ifade ettiğinden Eşitlik (5.14)'ten;

$$\text{Bant Genişliği} = \text{Üst Sınır Frekans Değeri (m3)} - \text{Alt Sınır Frekans Değeri (m2)}$$

$$\text{Bant Genişliği} = 10,0971 \text{ GHz} - 9,8326 \text{ GHz}$$

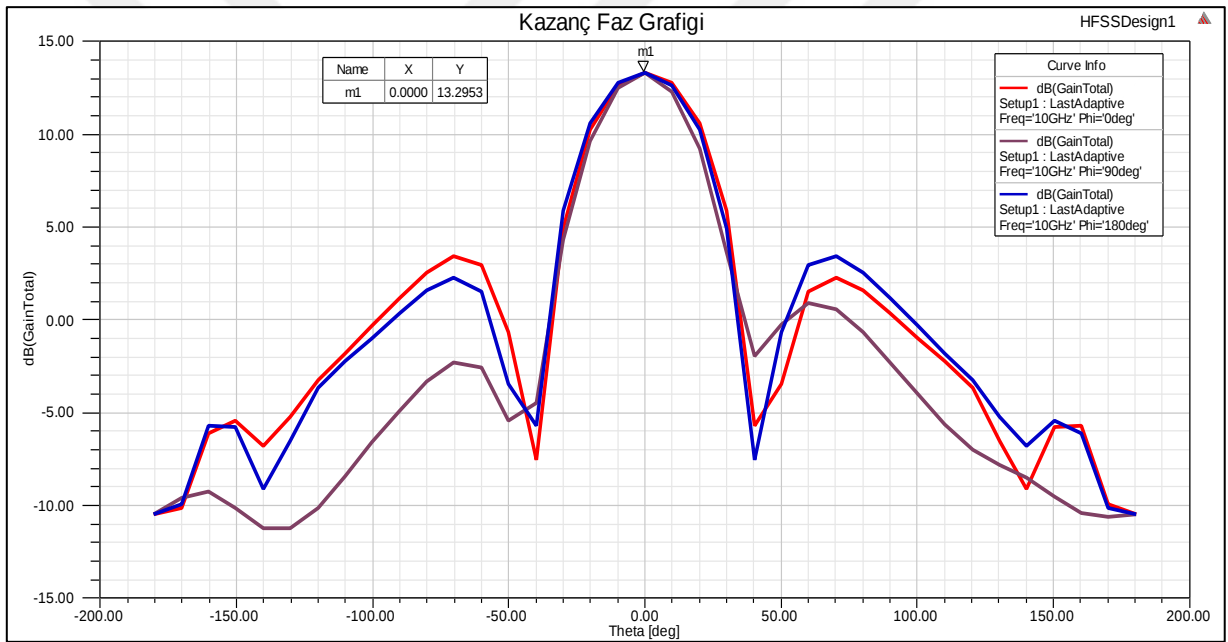
$$\text{Bant Genişliği} = 264 \text{ MHz olarak bulunur.}$$

Değişiklik 14 sonucu elde edilen 2x1 yama dizi antenin S11 değeri -24,7454 dB, bant genişliği ise 458 MHz olarak bulunmuştu. Bu kapsamda, değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi anten, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antene göre S11 değeri 0,4317 dB daha fazla,

bant genişliği açısından ise 194 MHz daha az değerde sonuç elde edilmiştir.

Bu kapsamda, S11 değeri açısından aradaki farkın az olması nedeniyle, fark önemsenmemiştir. Bant genişliği açısından ise, 2x2 yama dizi antende daha dar bant genişliği elde edildiği için 2x2 yama dizi antenin değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antene göre daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Şekil 5.48’de değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi antene ait kazanç grafiği gösterilmektedir.



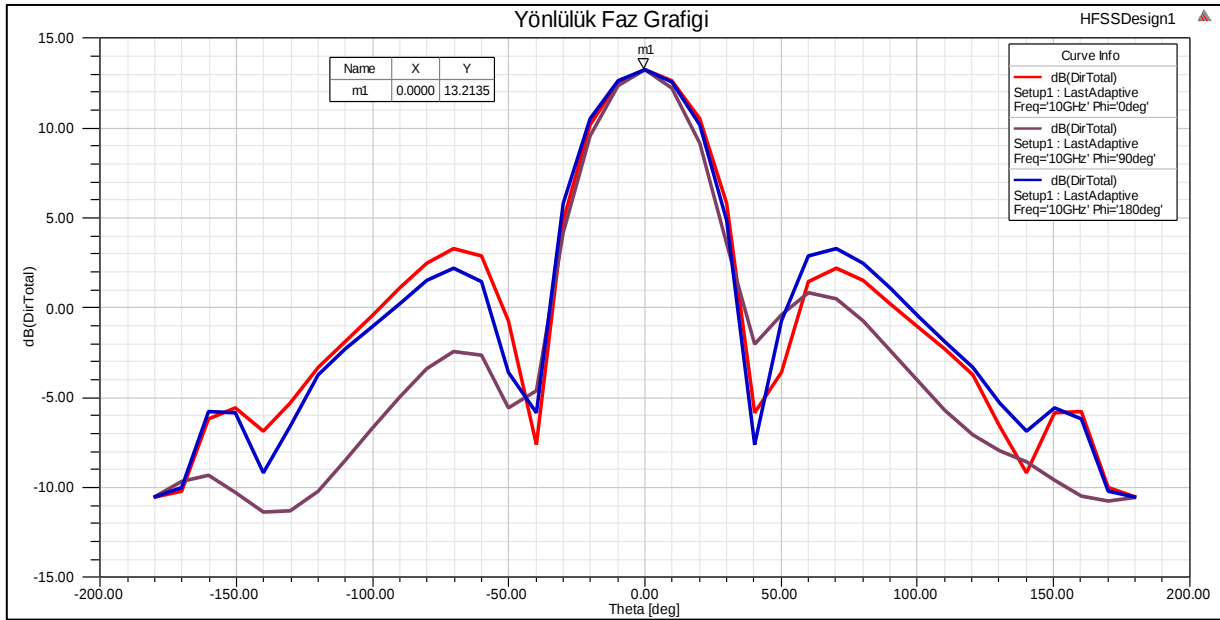
Şekil 5.48: Değişiklik 19 İle Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten Kazanç Grafiği

Şekil 5.48’de 0°, 90° ve 180°’de anten kazançları sırasıyla kırmızı, mor ve mavi grafikler ile gösterilmiştir. Anten kazancı 0° için m1 noktasında 13,2953 dB olarak ölçülmüştür. Aynı zamanda, kazancın en yüksek olduğu noktanın derecesi 0° olduğundan, faz kaymasının olmadığı anlaşılmaktadır.

Değişiklik 14 sonucu elde edilen 2x1 yama dizi antenin kazancı 10,2365 dB olduğundan, değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi anten, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi

antene göre kazanç açısından 3,0588 dB daha fazla kazanç değerine sahip olarak daha iyi sonuç vermiştir. Aynı zamanda, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antende yatay düzlemde mevcut olan 10^0 faz kaymasının, değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi antende mevcut olmaması avantajdır.

Şekil 5.49’da, değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi antene ait yönlülük grafiği gösterilmektedir.



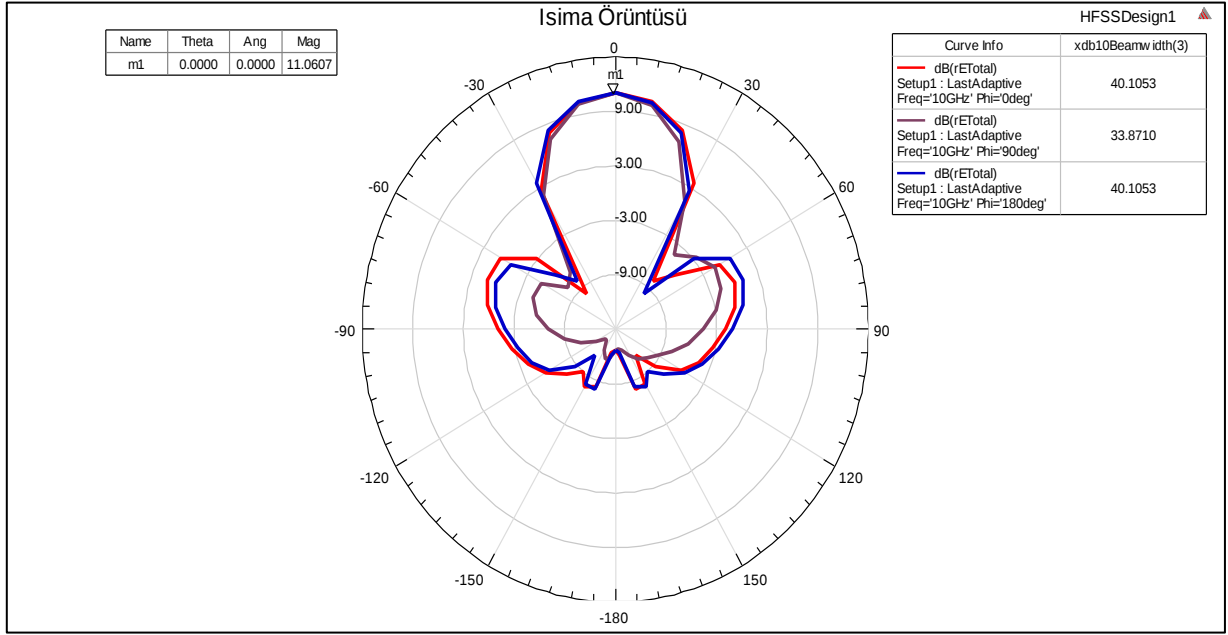
Şekil 5.49: Değişiklik 19 İle Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten Yönlülük Grafiği

Şekil 5.49’da 0^0 , 90^0 ve 180^0 ’de anten yönlülük değerleri sırasıyla kırmızı, mor ve mavi grafikler ile gösterilmiştir. Anten yönlülük değeri 0^0 için m1 noktasında 13,2135 dB olarak ölçülmüştür. Aynı zamanda, yönlülük değerinin en yüksek olduğu noktanın derecesi 0^0 olduğundan dolayı faz kaymasının olmadığı anlaşılmaktadır.

Değişiklik 14 sonucu elde edilen 2x1 yama dizi antenin yönlülük değeri 10,2519 dB olduğundan, değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi anten, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antene göre yönlülük değeri açısından 2,9616 dB daha fazla yönlülük değerine sahip olarak daha iyi sonuç vermiştir. Aynı zamanda, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi

antende yatay düzlemde mevcut olan 10^0 faz kaymasının, değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi antende mevcut olmaması avantajdır.

Şekil 5.50’de, değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi antene ait ışıma örüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 5.50: Değişiklik 19 ile Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten Işıma Örüntüsü

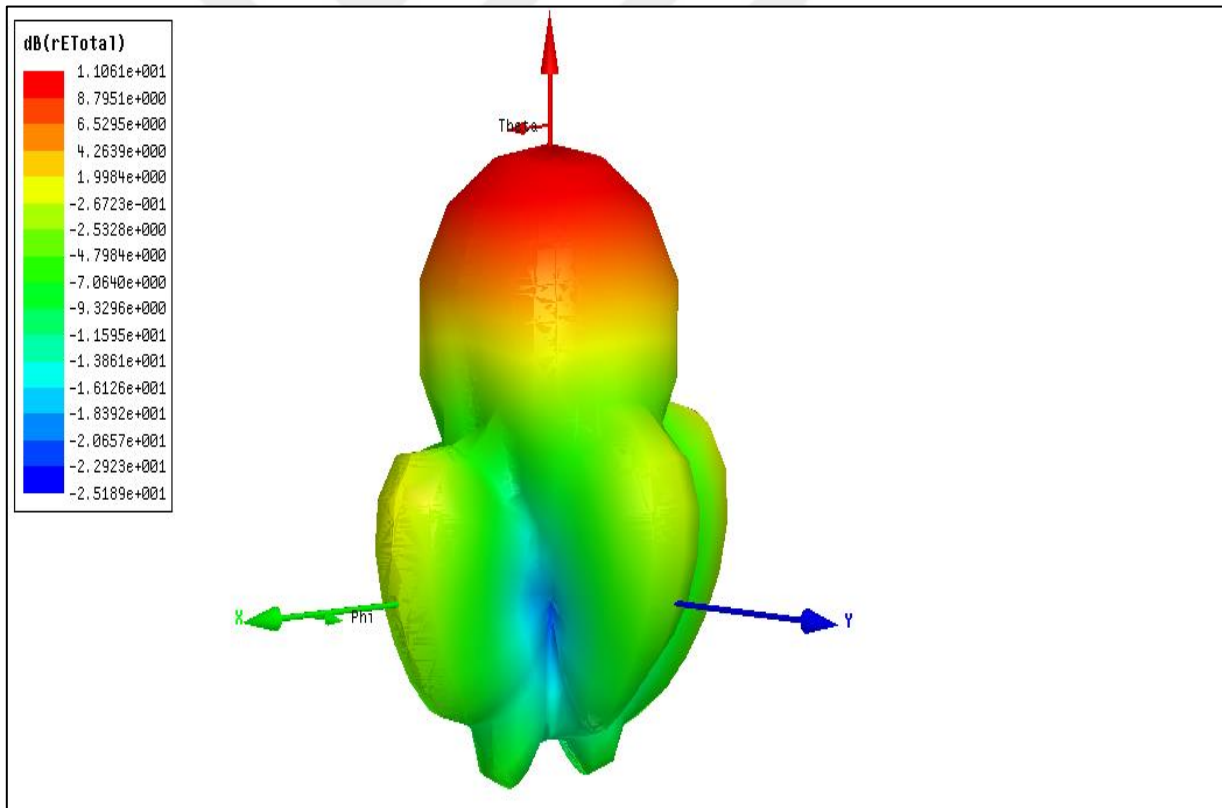
Şekil 5.50’de, 0^0 , 90^0 ve 180^0 ’de anten genlik değerleri sırasıyla kırmızı, mor ve mavi grafikler ile gösterilmiştir. 0^0 için m1 noktasında antenin genliğinin 11,0607 dB değerine ulaştığı görülmektedir. Tasarlanan 2x2 yama dizi antende genlik değeri 10,3551 dB iken, değişiklik 19 ile bu değer 11,0607 dB’e yükselmiştir. Ayrıca değişiklik 14 sonucu elde edilen 2x1 yama dizi antenin genlik değeri 8,0034 dB olduğundan, değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi anten, değişiklik 14 ile elde edilen 2x1 yama dizi antene göre genlik değeri açısından 3,0573 dB daha fazla değere sahip olarak daha iyi sonuç vermiştir.

Yatay ve düşey eksende (0^0 ve 90^0 için) hüzmeye açıları sırasıyla $40,1053^0$ ve $33,8710^0$ olarak ölçülmüştür. Tasarlanan 2x2 yama dizi antende bu değerler sırasıyla $37,4255^0$ ve $32,0889^0$ ’dir. Bu durumda, hüzmeye açısının yatay eksende $2,6798^0$, düşey eksende ise $1,7821^0$ daha geniş

olduğu gözlemlenir. Ancak, genişleme çok az olduğundan herhangi bir önemi yoktur ve dikkate alınmamıştır.

Değişiklik 14 sonucu elde edilen 2x1 yama dizi antenin yatay ve düşey ekseninde (0° ve 90° için) hüzmeye açıları sırasıyla $86,8974^\circ$ ve $32,9529^\circ$ olduğundan, değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi anten yatayda $46,7921^\circ$ daha dar, düşeyde ise $0,9181^\circ$ daha geniş hüzmeye açısı elde edilmiştir. Bu kapsamda, yatay düzlemde çok daha dar, düşey düzlemde ise önemsenmeyecek derecede geniş olduğu anlaşılmıştır.

Şekil 5.51’de, değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi antene ait ışıma örüntüsü üç boyutlu olarak gösterilmektedir.

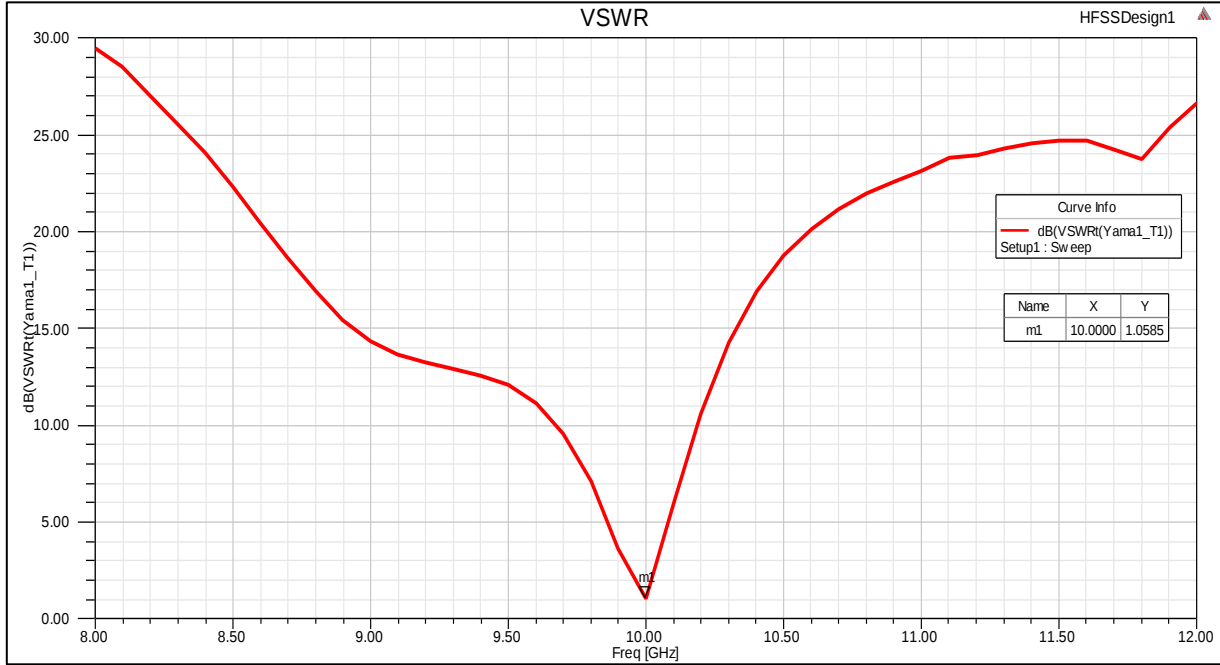


Şekil 5.51: Değişiklik 19 İle Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten Üç Boyutlu Işıma Örüntüsü

Işıma yoğunluğu sol tarafta bulunan renk grafiği ile gösterilmekte olup koyu kırmızı renk ile gösterilen z ekseni boyunca ışımanın yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Işıma şiddeti yaklaşık olarak

11,061 dB'dir.

Şekil 5.52'de, değişiklik 19 ile elde edilen 2x2 yama dizi antene ait VSWR grafiği gösterilmektedir.



Şekil 5.52: Değişiklik 19 İle Elde Edilen 2x2 Yama Dizi Anten VSWR Frekans Grafiği

Şekil 5.52'de m1 noktasında VSWR değerinin 1,0585 olduğu görülmektedir. Bu değer tasarlanan 2x2 yama dizi antende 9,4055 olduğu göz önüne alındığında, değişiklik 19 ile elde edilen antenin 2x2 yama dizi antenin VSWR değerinin çok daha başarılı olduğu söylenebilir.

Değişiklik 14 sonucu elde edilen 2x1 yama dizi antenin VSWR değeri 1,0071 olduğundan, değişiklik 19 ile elde edilen antenin 2x2 yama dizi antenin VSWR değeri değişiklik 14 sonucu elde edilen 2x1 yama dizi antenin VSWR değeri ile hemen hemen aynıdır.

5.2.4 Tek Yama Anten, 2x1 Yama Dizi Anten ve 2x2 Yama Dizi Anten Karşılaştırması

İlk olarak, tek yama anten tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan tek yama anten boyutlarında değişiklik yapılmak suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal tek yama anten elde

edilmeye çalışılmıştır.

İkinci olarak, elde edilen en ideal tek yama anten boyutlarından faydalanmak suretiyle, 2x1 yama dizi anten tasarımı yapılmıştır. Tek yama antende olduğu gibi tasarımı yapılan 2x1 yama dizi antende de boyutlar değiştirilmek suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal 2x1 yama dizi anten elde edilmeye çalışılmıştır.

Üçüncü olarak, elde edilen en ideal 2x1 yama dizi anten boyutlarından faydalanmak suretiyle 2x2 yama dizi anten tasarımı yapılmıştır. Tek yama anten ve 2x1 yama dizi antende olduğu gibi, tasarımı yapılan 2x2 yama dizi antende de boyutlar değiştirilmek suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal 2x2 yama dizi anten elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu kapsamda, tek yama anten, 2x1 yama dizi anten ve 2x2 yama dizi antene ait S11, kazanç, yönlülük, merkez frekansı, VSWR değeri ve bant genişliği karşılaştırması Tablo 5.10'da gösterilmiştir.

Tablo 5.10: Tek Yama Anten, 2x1 Yama Dizi Anten ve 2x2 Yama Dizi Anten Karşılaştırması

Tek Yama Anten, 2x1 Yama Dizi Anten ve 2x2 Yama Dizi Anten Karşılaştırması						
	S11 (dB)	Kazanç (dB)	Yönlülük (dB)	Merkez Frekans (GHz)	VSWR Değeri	Bant Genişliği (MHz)
Tek Yama Anten	-24.60	7.49	7.57	10	1.02	311
2x1 Yama Dizi Anten	-24.7454	10.2365	10.2519	10	1.0071	458
2x2 Yama Dizi Anten	-24.3137	13.2953	13.2135	10	1.0585	264

Tablo 5.10 incelendiğinde, S11 değeri açısından tüm antenlerin hemen hemen aynı değere sahip olduğu, kazanç değeri açısından 2x2 yama dizi antenin daha iyi değere sahip olduğu, yönlülük

değeri açısından yine 2x2 yama dizi antenin daha iyi değere sahip olduğu, merkez frekansının her üç antende de istenen şekilde 10 GHz olduğu, VSWR değeri açısından tüm antenlerin hemen hemen aynı değerde olduğu ve bant genişliği açısından ise, en dar bant genişliğine 2x2 yama dizi antenin sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan hususlar doğrultusunda, 2x2 yama dizi anten kazanç ve yönlülük değerleri açısından diğer antenlere göre çok daha iyi değere sahip olduğundan, 2x2 yama dizi antenin kullanılmasının daha uygun olduğuna karar verilmiştir.



6. TASARLANAN MİKROŞERİT YAMA DİZİ ANTENİN KÜÇÜK BİRLİK SEVİYESİNDE YAKIN MUHAREBE ORTAMINDA KULLANIMI

Küçük birlik seviyesi olarak, yaklaşık 10-15 personelden oluşan kol seviyesinde bir birlik düşünülmüştür. Bu askeri birliğin, icra edecekleri herhangi bir operasyon esnasında, arazide yaya intikali kaçınılmazdır. Harekâtın çeşidine göre, intikal edilecek arazi bazen engebesiz ve düz bir bölge iken, bazen de engebeli, rakım farkının çok fazla olduğu ve aynı zamanda görüş mesafesinin çok az olduğu, ilerlemeye güçlükle imkân veren bir arazi olabilir.

İntikal halinde olan küçük birlik seviyesindeki bir birliğin komutanı için, ilerlemenin güç ve görüş imkânlarının az olduğu zorlu arazide en önemli husus, kendi birlik personelinin arazideki konumuna hâkim olmaktır. Bu sayede komutan, hem birlik ateşlerini istediği şekilde yönlendirebilir, hem de personeline tam bir emir komuta imkân ve kabiliyetine sahip olur.

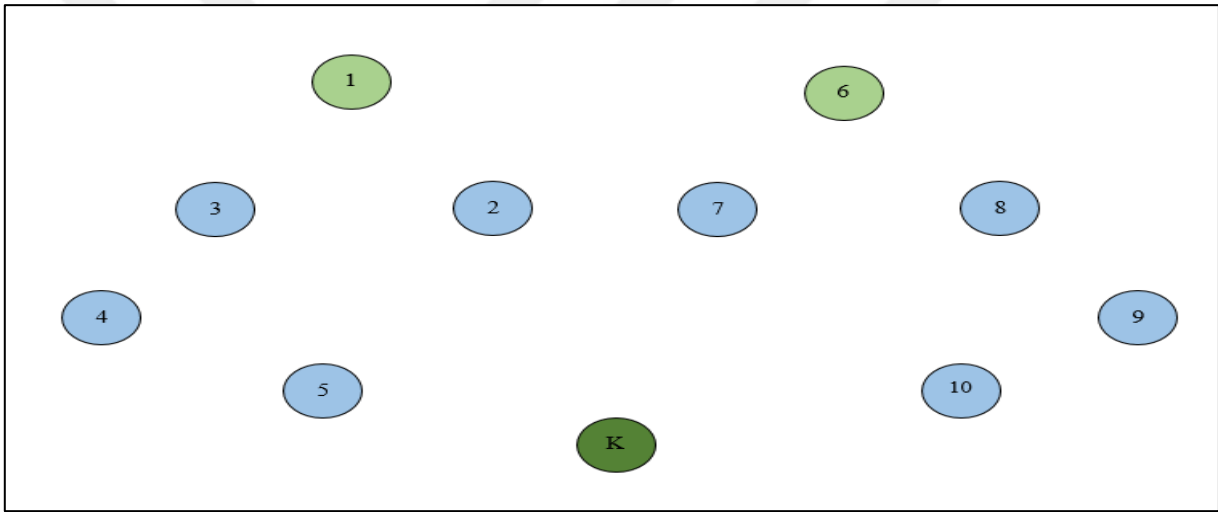
Şekil 6.1’de zorlu arazide, gece koşullarında intikal eden bir birliğin komutanı temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Zorlu Arazide İntikal Eden Küçük Birliğin Komutanı

Komutan, her ne kadar seçilen ilerleme tekniğine göre personelinin kabaca yerini tahmin edebilse de, arazinin özelliğinden dolayı, sırf zihninde oluşan tahmine dayanarak karar veremez. Çünkü arazi koşulları, birlik personelinin hızının ve konumunun sürekli değişmesine sebep olur.

Küçük seviye askeri birliğin arazide ilerleme düzeni, düşman durumuna, arazinin özelliklerine, elde bulunan mevcut zamana ve elde edilmesi planlanan amaca göre değişmektedir. Bu kapsamda, arazinin engebeli, görüş şartlarının kısıtlı ve düşman ile temas ihtimalinin yüksek olduğu şartlarda birliğin ilerleme düzeni Şekil 6.2’de temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.2: Askeri Birlik İlerleme Düzeni

6.1 2x2 YAMA DİZİ ANTENİN ASKERİ ÜNİFORMAYA MONTAJI

Elde edilen 2x2 yama dizi antenin, askeri üniformanın bir parçası olan kompozit başlığa monte edilmek suretiyle kullanılması planlanmıştır. Montajın yapılmasını müteakip, anten örüntüsü ve yönlülük değerinden yararlanmak suretiyle elde edilen bilgi sayesinde, dost personelin arazideki konumuna ait istikamet tespit edilebilecektir. Elde edilen verinin eş zamanlı olarak akıllı gözlüğe aktarımı sayesinde ise birlik komutanı, personelinin konumu ile ilgili anlık bilgiye ulaşacak, bu sayede dost ateşlerini yönlendirebilecek ve birliğine emir komuta kabiliyeti artacaktır.

Şekil 6.3’te, elde edilen 6,5x6 cm boyutlarındaki 2x2 yama dizi antenin, kompozit başlık ön

kısımında bulunan 7.5x10 cm boyutlarındaki aksesuar bölmesine montajı gösterilmektedir.



Şekil 6.3: 2x2 Yama Dizi Antenin Kompozit Başlığa Montajı

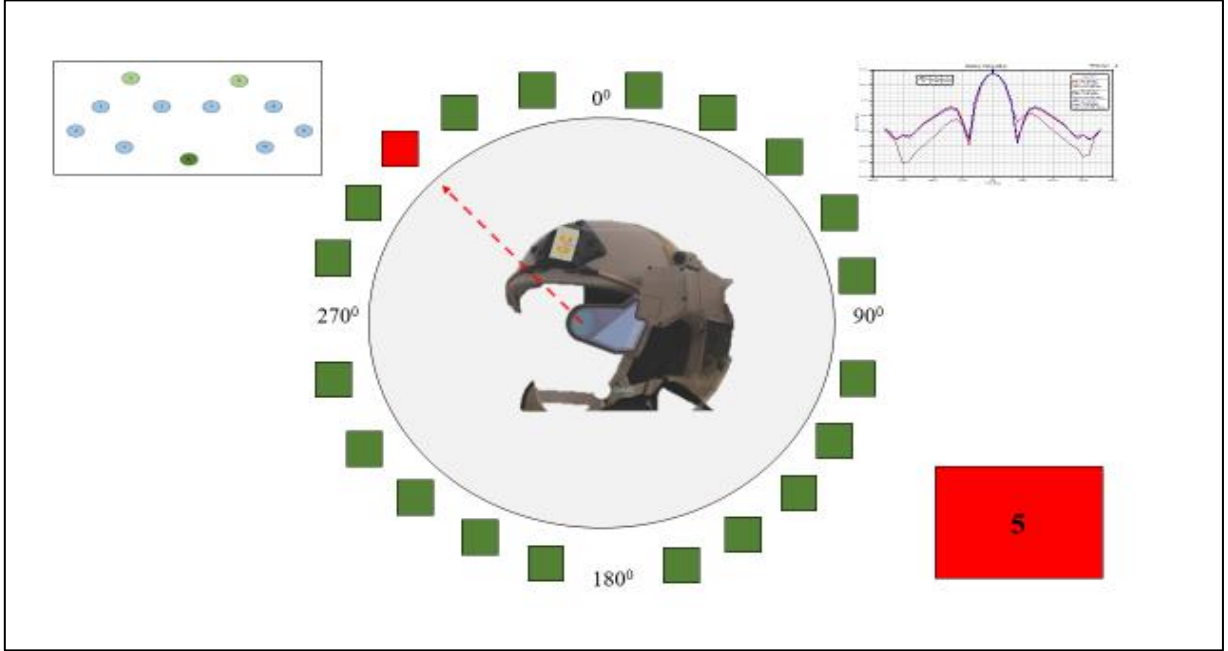
Şekil 6.4’te ise, gece şartlarında intikal halinde olan ve kompozit başlığına 2x2 yama dizi anten monte edilmiş askeri birliğin komutanı temsili olarak gösterilmektedir.



Şekil 6.4: Kompozit Başlığına 2x2 Yama Dizi Anten Monte Edilen Askeri Personel

6.2 2x2 YAMA DİZİ ANTENİN KOMUTAN TARAFINDAN KULLANIMI

2x2 yama dizi anten bant genişliği (258 MHz), birlik personel sayısı kadar telsiz kanalına bölünmek suretiyle, her bir birlik personeline bir kanal tahsis edilmesi planlanmaktadır. Bu sayede, anten örüntü ve yönlülük değeri ile alınan değerin belirli bir eşik seviyesinin üstünde olması durumunda, akıllı gözlük ekranında Şekil 6.5'te gösterilen durum oluşacaktır.

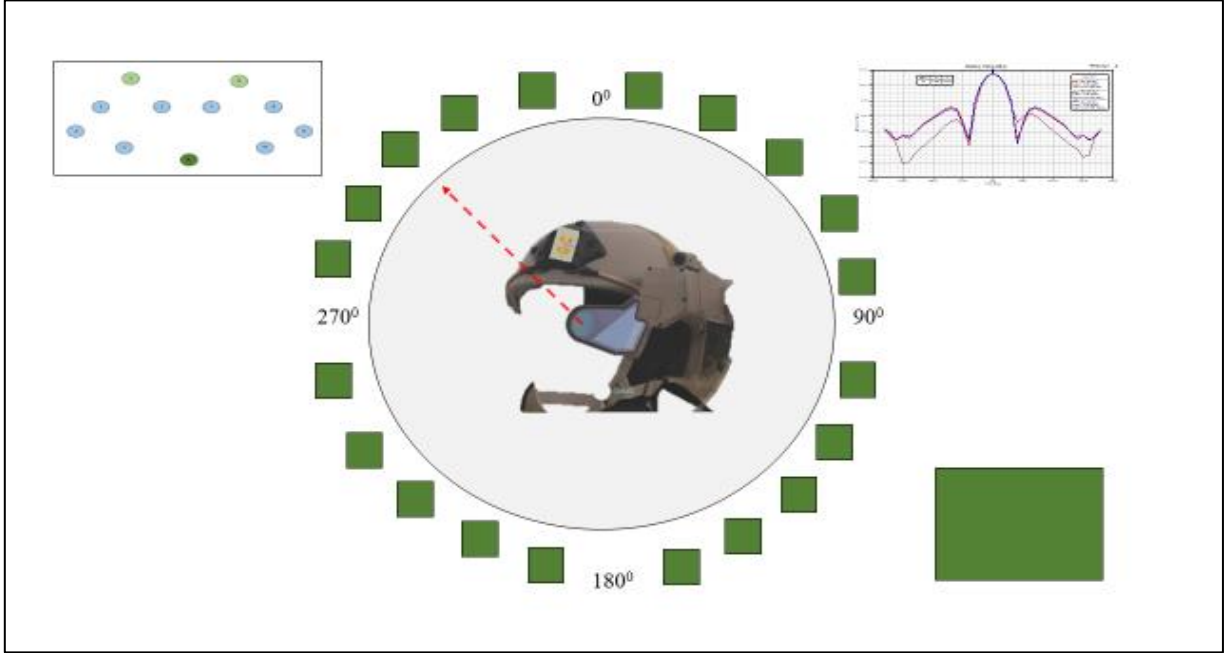


Şekil 6.5: Akıllı Gözlük Ekranı (Belirtilen İstikamette Personel Mevcut)

Birlik komutanı başını döndürdüğü esnada, kafasında bulunan ve 2x2 yama dizi anten monte edilmiş olan kompozit başlık ta aynı istikamete dönecektir. Döndürülen istikamette, 2x2 yama dizi anten tarafından alınan veriler analiz edilmeyi müteakip ise akıllı gözlük ekranına yansıtacaktır.

Birlik personeline tahsis edilen kanal numarası ile anten tarafından alınan verinin analiz edilmesini müteakip, Şekil 6.5'te gösterildiği gibi ekranda kırmızı ikaz işareti belirecektir. Ayrıca, sağ alt kısımda bulunan kutucukta personel numarası ile birlikte kırmızı ikaz (belirtilen istikamette 5 numaralı personel mevcut) belirecektir.

Başın döndürüldüğü istikamette her hangi bir personel olmaması durumunda ise, 2x2 yama dizi anten tarafından alınan verinin analiz edilmesini müteakip Şekil 6.6'da gösterildiği gibi, akıllı gözlük ekranında yeşil (belirtilen istikamette personel bulunmamaktadır) uyarı görünecektir.



Şekil 6.6: Akıllı Gözlük Ekranı (Belirtilen İstikamette Personel Mevcut Değil)

Bu sayede birlik komutanı, anlık olarak personelin arazideki istikameti ile ilgili bilgi sahibi olacak ve dost ateşlerini doğrulukla planlayarak emir komuta kabiliyetine haiz olacaktır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, istihbarat edinme yöntemlerinden sinyal istihbaratı ile ilgili bilgi verilmesini müteakip sinyal istihbaratının en önemli bölümünü oluşturan telsiz yön tespiti konusuna değinilmiş ve yön tespit yöntemleri üzerinde durulmuştur. Küçük askeri birlik seviyesinde komutanın ihtiyaçları doğrultusunda, komutanın emir komuta ettiği birlik personelinin arazideki konumunu tespit edebilmesi maksadıyla, dost telsiz yön tespitinde kullanılacak mikroşerit anten tasarımı yapılmıştır.

İlk olarak, tek yama anten tasarımı yapılmıştır. Boyutların hesaplanması ile oluşturulan tek yama antene ait S_{11} değeri -15,59 dB, kazanç değeri 4,59 dB, yönlülük değeri 4,72 dB, merkez frekansı 9,9 GHz, VSWR değeri 5,51 ve bant genişliği 308 MHz olarak bulunmuştur. Değerlerin istenen seviyede olmaması nedeniyle, tasarlanan tek yama anten boyutlarında 15 farklı değişiklik yapılmak suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal tek yama anten elde edilmeye çalışılmıştır. Değişiklik 10 sonucunda, S_{11} değeri -24,60 dB, kazanç değeri 7,49 dB, yönlülük değeri 7,57 dB, merkez frekansı 10 GHz, VSWR değeri 1,02 ve bant genişliği 311 MHz olarak elde edilmiştir.

İkinci olarak, elde edilen en ideal tek yama anten boyutlarından faydalanmak suretiyle 2x1 yama dizi anten tasarımı yapılmıştır. Boyutların hesaplanması ile oluşturulan 2x1 yama antene ait S_{11} değeri -11,4132 dB, kazanç değeri 10,2005 dB, yönlülük değeri 10,2166 dB, merkez frekansı 10,1 GHz, VSWR değeri 4,9676 ve bant genişliği 278 MHz olarak bulunmuştur. Tek yama antende olduğu gibi tasarımı yapılan 2x1 yama dizi anten boyutlarında da 15 farklı değişiklik yapılmak suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal anten elde edilmeye çalışılmıştır. Değişiklik 14 sonucunda, S_{11} değeri -24,7454 dB, kazanç değeri 10,2365 dB, yönlülük değeri 10,2519 dB, merkez frekansı 10 GHz, VSWR değeri 1,00712 ve bant genişliği 458 MHz olarak elde edilmiştir.

Üçüncü olarak, elde edilen en ideal 2x1 yama dizi anten boyutlarından faydalanmak suretiyle 2x2 yama dizi anten tasarımı yapılmıştır. Boyutların hesaplanması ile oluşturulan 2x2 yama antene ait S_{11} değeri -14,0988 dB, kazanç değeri 13,7889 dB, yönlülük değeri 13,7532 dB,

merkez frekansı 10,2 GHz, VSWR değeri 9,4055 ve bant genişliği 231 MHz olarak bulunmuştur. Tek yama anten ve 2x1 yama dizi antende olduğu gibi tasarımı yapılan 2x2 yama dizi anten boyutlarında 20 farklı değişiklik yapılmak suretiyle belirlenen kıstaslar açısından en ideal 2x2 yama dizi anten elde edilmeye çalışılmıştır. Değişiklik 19 sonucunda, S11 değeri -24,3137 dB, kazanç değeri 13,2953 dB, yönlülük değeri 13,2135 dB, merkez frekansı 10 GHz, VSWR değeri 1,0585 ve bant genişliği 264 MHz olarak elde edilmiştir.

Müteakiben tek yama anten, 2x1 yama dizi anten ve 2x2 yama dizi anten birbiriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, S11 değeri açısından tüm antenlerin hemen hemen aynı değere sahip olduğu, kazanç değeri açısından 2x2 yama dizi antenin daha iyi değere sahip olduğu, yönlülük değeri açısından yine 2x2 yama dizi antenin daha iyi değere sahip olduğu, merkez frekansının her üç antende de istenen şekilde 10 GHz olduğu, VSWR değeri açısından tüm antenlerin hemen hemen aynı değerde olduğu ve bant genişliği açısından ise, en dar bant genişliğine 2x2 yama dizi antenin sahip olduğu anlaşılmış ve 2x2 yama dizi antenin kazanç ve yönlülük değerleri açısından diğer antenlere göre çok daha iyi değerlere sahip olması nedeniyle kullanılmasının daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

Son olarak, küçük seviye birlik komutanının, görüş şartlarının az ve ilerlemenin zor olduğu arazide, kendi birlik personelinin istikametini tespit ve bu sayede dost ateşlerini doğru olarak planlaması ve emir komutasını kolaylaştıracak yöntem önerilmiştir. Bu maksatla, 5,4x6,5 cm boyutlarında elde edilen 2x2 yama dizi antenin, askeri üniformanın bir parçası olan kompozit başlığın 7.5x10 cm boyutlarındaki aksesuar bölmesine monte edilmek suretiyle kullanılması planlanmıştır. Montajın yapılmasını müteakip, anten örüntüsü ve yönlülük değerinden yararlanmak suretiyle elde edilen bilgi sayesinde, dost personelin arazideki konumuna ait istikametini tespit edilebilmesi düşünülmüştür. Elde edilen verinin eş zamanlı olarak akıllı gözlüğe aktarımı sayesinde ise birlik komutanının anlık bilgiye ulaşması ile dost ateşlerini yönlendirebilmesi ve birliğine emir komuta kabiliyetinin artması planlanmıştır.

Ayrıca, 2x2 yama dizi anten bant genişliği (264 MHz), birlik personel sayısı kadar telsiz kanalına bölünmek suretiyle her bir birlik personeline bir kanal tahsis edilmesi planlanmış, anten örüntü ve yönlülük değeri ile alınan değerlerin belirli bir eşik seviyesinin üstünde olması

durumunda, döndürülen istikamette anten tarafından alınan verinin analiz edilmesini müteakip personel numarasının akıllı gözlük ekranına aktarılması düşünülmüştür.



REFERANSLAR

- Acar, Ünal. 2011. *İstihbarat*. Ankara: Akçağ.
- Aldrich, Richard J. 1998. "Espionage, Security, and Intelligence in Britain, 1945-1970." : 36–58.
- Bailey, M. C. et al. 2012. "Compact Wideband Direction-Finding Antenna." *IEEE Antennas and Propagation Magazine* 54: 44–68.
- Balanis, C. A. 2009. Wiley India Pvt. Limited *Antenna Theory: Analysis and Design, (3RD ED.)*.
- Balanis, Constantine A. 2016. John Wiley & Sons, Inc. *Antenna Theory: Analysis and Design, Fourth Edition*.
- Capon, J. 1969. "High-Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis." *Proceedings of the IEEE* 57: 140–1518.
- Charge, Pascal, Yide Wang, and Joseph Saillard. 2000. "A Direction Finding Method under Sensor Gain and Phase Uncertainties." In *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*,.
- Chmielewski, Mariusz, Marcin Kukielka, Paweł Pieczonka, and Tomasz Gutowski. 2020. "Methods and Analytical Tools for Assessing Tactical Situation in Military Operations Using Potential Approach and Sensor Data Fusion." *Procedia Manufacturing* 44(2019): 559–66.
- Cianos, Nicholas. 1993. "Low-Cost, High-Performance DF and Intercept Systems." In *Proceedings of WESCON 1993 Conference Record*, , 372–376.
- Foutz, Jeffrey, Andreas Spanias, and Mahesh K. Banavar. 2008. "Narrowband Direction of Arrival Estimation for Antenna Arrays." *Synthesis Lectures on Antennas*.
- Frini, Anissa, and Anne-Claire Boury-Brisset. 2011. "'Collective C2 in Multinational Civil-Military Operations' ICCRTS An Intelligence Process Model Based on a Collaborative Approach." (Paper 113): 4.

- Gurel, Abdullah Emin et al. 2018. "Real Time Ambiguity Resolution in Hybrid Amplitude/Phase Comparison Direction Finding Systems." In *26th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2018*,.
- Jacobs, Ernest, and Elizabeth W. Ralston. 1981. "Ambiguity Resolution in Interferometry." *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*: 766–780.
- Jenkins, H.H. 1991. *Small-Aperture Radio Direction Finding*. ed. USA Artech House, Inc., Norwood, MA 02062.
- Kebeli, M. 2015. "Radio Direction Finding & Smart Antennas." Boğaziçi Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Liang, X., and Y. W.M. Chia. 2001. "New Precision Wideband Direction Finding Antenna." *IEE Proceedings: Microwaves, Antennas and Propagation* (148): 363–64.
- Liberti, Joseph C., and Theodore Rappaport. 1999. "Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications." *Prentice Hall PTR*.
- Lipsky, Stephen E. 2004. "Microwave Passive Direction Finding." *SciTech Publishing, Inc.* 34(7): 298.
- Özdağ, Ümit. 2008. *İstihbarat Teorisi*. Kripto Kitaplar.
- Poisel, R. A. 2014. *Electronic Warfare Receivers and Receiving Systems*. Artech House.
- Products, R. 1998. *A Comparison Of The Watson-Watt And Pseudo-Doppler DF Techniques*. http://www.rdfproducts.com/wn004_apl_01.pdf (September 20, 2007).
- Saraç, U. 2009. "Detection and Localization of Multiple Emitters in The Presence of Multipath." ITU.
- Schleher, D. Curtis., ed. 2004. *Bilgi Çağında Elektronik Harp*. İstanbul: Doruk.
- Schmidt, Ralph O. 1986. "MULTIPLE EMITTER LOCATION AND SIGNAL PARAMETER ESTIMATION." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 34(3): 276–80.
- TDK. 2011. Türk Dil Kurumu *Türkçe Sözlük*.
- Watt, R.A. Watson. 1926. "The Directional Recording of Atmospherics." *Institution of Electrical Engineers - Proceedings of the Wireless Section of the Institution*.

- Wu, Y. W. 1991. "Estimating Directions of Arrival with Generalized MUSIC Using a Linear-Interpolated Array Manifold." In *Proceedings - ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*,.
- Yıldıran, O. 2017. "Designing a Patch Antenna for 5g Communication System." Çankaya University, Ankara.



