

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
BÖLÜMÜ**

LİSANS TEZİ

Mikroşerit Yama Faz Dizinli Antenlerde Hüzme Tarama

BURAK GÖKÇEK

Danışman: Prof. Dr. Alp Oral SALMAN

KOCAELİ, 2024

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Anten teknolojileri, modern haberleşme sistemlerinin temel yapı taşlarından biri olup, sinyal iletim ve alım kalitesini doğrudan etkileyen kritik bir unsurdur.

Bu tez, mikroşerit yama antenlerin faz dizinli anten sistemlerinde kullanılmasını ve bu sistemlerde hüzme taramanın etkilerini incelemek amacıyla hazırlanmıştır.

Mikroşerit yama antenler, düşük profilleri, hafif yapıları ve üretim kolaylıkları nedeniyle günümüzde iletişim sistemlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sürecinde bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren ve desteklerini esirgemeyen sayın tez danışmanım Prof. Dr. Alp Oral Salman'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez sürecinde maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının, anten teknolojileri alanında yapılan araştırmalara katkıda bulunmasını temenni eder, tüm okuyuculara faydalı olmasını dilerim.

Haziran 2024, KOCAELİ

Burak GÖKÇEK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ	11
2. ANTEN NEDİR ?	12
2.1. Temel Anten Performans Kriterleri.....	12
2.1.1. Işıma Örüntüsü	12
2.1.2 Yansıma Katsayısı.....	13
2.1.3 Bant Genişliği (Band Width)	14
2.1.4 Anten Yönlülüğü (Directivity).....	15
2.1.5 Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR)	15
2.1.6 Anten Verimi.....	16
2.1.7 Anten Kazancı (Gain)	16
2.1.8 Anten Işıma Güç Yoğunluğu	17
2.1.9 Anten Işıma Verimliliği	17
2.1.10. Işıma Şiddeti	17
2.1.11. Friis İletim Denklemi	18
3. MİKROŞERİT YAMA ANTENLER.....	19
3.1. Mikroşerit Yama Antenlerin Avantaj ve Dezavantajları.....	21
3.2. Mikroşerit Antenlerin Besleme Çeşitleri.....	22
3.2.1. Eş Eksenli Besleme Yöntemi	22
3.2.2. Mikroşerit Besleme Yöntemi	23
4. DİZİ ANTENLER.....	24

4.1.	Faz Dizinli Anten	24
4.2.	Hüzmeleme (Beamforming).....	24
4.3.	Faz Dizinli Anten ve Hüzmeleme (Beamforming) Arasındaki Farklar	25
4.4.	Analog Hüzmeleme (Beamforming)	25
4.5.	Anten Dizileri Parametreleri.....	26
4.5.1.	Anten Dizisinin Güç Yoğunluğu.....	27
4.5.2.	Birbiçimli Genlik ve Faz	28
4.5.3.	Elektronik Tarama.....	29
5.	CST Üzerinde Mikroşerit Yama Anten ve Dizi Tasarım ve Simülasyon Aşamaları	30
6.	MİKROŞERİT YAMA ANTEN DİZİSİ TASARIMI VE SİMÜLASYONU ..	37
6.1.	Dizisi Yapılacak MYA'nın Tasarımı ve Simülasyonu.....	37
6.2.	Array Factor Kullanılarak 2x1 Dizi oluşturma.....	40
6.3.	Array Task Kullanılarak 2x1 Dizi oluşturma	42
6.3.1.	2x1 Dizi Tasarımı.....	42
6.3.2.	Port1 ve Port2'nin Genliklerinin 1 Olması Durumu	43
6.3.3.	Portlar Arası Genlik Farkının 2/1 Olduğu Durum	45
6.3.4.	Portlar Arası Genlik Farkını 4/1 Olduğu Durum	46
6.4.	“Array Task” Kullanarak 4x1 Dizi Oluşturma.....	49
6.4.1.	4x1 Dizi Tasarımı.....	49
6.4.2.	Dizi Üzerinde Doğrusal Faz Dağılımının Yapılması	50
6.5.	“Array Task” Kullanarak 4x4 Dizi Oluşturma.....	53
6.6.	2.4 GHz 16x16 Sekizgen Geometrilili Dizi Simülasyonu.....	57
6.6.1.	Dizisi Yapılacak 2.4 GHz MYA'nın Tasarım Parametreleri	57
6.6.2.	2.4 GHz 16x16 Sekizgen Geometrilili Dizi	59
	SONUÇLAR	63
	KAYNAKLAR	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 (a) Kutupsal diyagram (b) Dikdörtgensel çizim	12
Şekil 2.2 Ana hüzmeye ve loblar	13
Şekil 2.3 Bant genişliği gösterimi	14
Şekil 3.1 Mikroşerit yama anten ışıma alanı	19
Şekil 3.2 Tek katmanlı mikroşerit yama anten	20
Şekil 3.3 Mikroşerit anten yama şekilleri	20
Şekil 3.4 Mikroşerit beslemeli anten	23
Şekil 4.1 Faz Dizinli Hüzmeleme Anten	26
Şekil 4.2 a) Tek genlik ve faz kontrollü dizi elemanları b) Gözlem noktasına bağlı dizi geometrisi	26
Şekil 4.3 Dizi elemanları ile gözlem noktası arasındaki ışınlar	27
Şekil 4.4 Doğrusal faz uygulaması	29
Şekil 5.1 Uygulama alanı seçim ekranı	30
Şekil 5.2 Yama anten seçim ekranı	31
Şekil 5.3 Zaman uzayı seçimi	31
Şekil 5.4 Tasarımda kullanılacak birim seçimi	32
Şekil 5.5 Frekans aralığı ve alan monitör seçimi ekranı	32
Şekil 5.6 Port tanımlama ekranı	33
Şekil 5.7 Port hesaplama ekranı	33
Şekil 5.8 “Array factor” aracı seçim ekranı	34
Şekil 5.9 Uzak alan hesaplama ekranı	34
Şekil 5.10 “Array Task” seçim ekranı	35
Şekil 5.11 Dizi parametreleri ayarlama ekranı	35
Şekil 5.12 Dizi oluşturma ve dizi parametreleri düzenleme seçim ekranı	36
Şekil 5.13 Dizi faz ayarlama ekranı	36
Şekil 6.1 5.8 Ghz Mikroşerit Anten Tasarımı a) önden b) perspektif görüntüsü	37
Şekil 6.2 2x1 5.8 GHz MYA’nın polar kazanç diyagramı (a) Doğrusal (b) Lineer gösterim	38
Şekil 6.3 5.8 GHz MYA’nın yüzey akım dağılımı	38

Şekil 6.4 5.8 GHz MYA'nin 3D Kazanç Gösterimi	39
Şekil 6.5 5.8 GHz MYA'nin S11 Grafiği	39
Şekil 6.6 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan diyagramlar (a) 0 (b) 30 (c) 60 ve (d) 90 derece faz dağılımı	40
Şekil 6.7 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan 3D ışın diyagramları (a) 0 (b) 30 (c) 60 ve (d) 90 derece faz dağılımı	41
Şekil 6.8 2x1 MYA (a) ön (b) perspektif görüntüsü	42
Şekil 6.9 2x1 5.8 GHz MYA'nin yüzey akım dağılımı	42
Şekil 6.10 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan 3D kazanç diyagramları (a) 0 (b) 60 (c) 120 ve (d) 180 derece faz dağılımı	43
Şekil 6.11 5.8 GHz 2x1 MYA'nin yüzey faz dağılımları	43
Şekil 6.12 Dizi anten üzerinde doğrusal faz dağılımının gösterimi	44
Şekil 6.13 Doğrusal Faz Dağılımının Ardından Oluşan 2x1 5.8 GHz Antenin Polar Kazanç Diyagram	44
Şekil 6.14 Faz Kaydırmanın Ardından Oluşan 3D Işın Diyagramları a) 0 b) 60 ...	45
Şekil 6.15 2x1 5.8 GHz MYA'nin <i>Genlik</i> ₁ =2 ve <i>Genlik</i> ₂ = 1 Olduğu Durumdaki Yüzey Akım Dağılımı	45
Şekil 6.16 Doğrusal Faz Dağılımının Ardından Oluşan 2x1 5.8 GHz Antenin Polar Işın Diyagramı	46
Şekil 6.17 Doğrusal Faz Dağılımının Ardından Oluşan 2x1 5.8 GHz Antenin 3D Işın Diyagramları a) 0 b) 90 c) 180 Derece Faz Kayması	46
Şekil 6.18 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan 2x1 5.8 GHz MYA'nin polar ışın diyagramı	47
Şekil 6.19 2x1 5.8 GHz MYA'nin <i>Genlik</i> ₁ =4 ve <i>Genlik</i> ₂ = 1 Olduğu Durumdaki Yüzey Akım Dağılımı	47
Şekil 6.20 Dizi Anten Üzerinde Doğrusal Faz Dağılımının ve Portlardaki Genlik Dağılımının Gösterimi	48
Şekil 6.21 4x1 MYA tasarımı ön görüntüsü	49
Şekil 6.22 4x1 5.8 GHz MYA'nin Yüzey Akım Dağılımı	49
Şekil 6.23 Doğrusal faz dağılımının ardından Oluşan 4x1 5.8 GHz MYA'nin 3D kazanç diyagramı. (a) 0 (b) 30 (c) 60 (d) 90 (e) 120 (f) 150 (g) 180 derece faz dağılımı	51
Şekil 6.24 Dizi Anten Üzerinde Doğrusal Faz Dağılımının Gösterimi	51

Şekil 6.25 Doğrusal Faz Dağılımının Ardından Oluşan 2x1 5.8 GHz Antenin Polar Işıma Diyagramı.....	52
Şekil 6.26 4x4 MYA dizi tasarımı ön görüntüsü	53
Şekil 6.27 4x4 MYA dizisinin yüzey akım dağılımı	53
Şekil 6.28 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan 4x4 5.8 GHz MYA'nin 3D kazanç diyagramı. (a) 0 (b) 60 (c) 120 (d) ise farklı derecelerdeki faz dağılımı	54
Şekil 6.29 4x4 MYA Dizisi İçin Doğrusal Faz Dağılımı Diyagramı	55
Şekil 6.30 4x4 MYA Dizisi İçin Doğrusal Faz Dağılımı Diyagramı	55
Şekil 6.31 4x4 MYA Dizisi İçin Doğrusal Faz Dağılımı Diyagramı	56
Şekil 6.32 2.4 GHz MYA'nin a) ön görüntüsü b) Tasarım ölçütleri	57
Şekil 6.33 2.4 GHz MYA'nin Yüzey Akım Dağılımı	57
Şekil 6.34 (a) 2.4 GHz MYA'nin 3D kazanç diyagramı (b) Polar kazanç diyagramı.....	58
Şekil 6.35 2.4 GHz Yama MYA'nin S11 Grafiği	58
Şekil 6.36 16x16 2x4 GHz sekizgen geometrili MYA dizi tasarımı ön görüntüsü ..	59
Şekil 6.37 16x16 2x4 GHz sekizgen geometrili MYA dizisinin yüzey akım dağılımı	59
Şekil 6.38 Doğrusal faz dağılımının $\Delta\psi x=0$ ardından oluşan 16x16 2.4 GHz MYA dizisinin 3D kazanç diyagramı.....	60
Şekil 6.39 Doğrusal faz dağılımının $\Delta\psi=90$ ardından oluşan 16x16 2.4 GHz MYA dizisinin 3D kazanç diyagramı.....	60
Şekil 6.40 Doğrusal faz dağılımının $\Delta\psi x=170$ ardından oluşan 16x16 2.4 GHz MYA dizisinin 3D kazanç diyagramı.....	61
Şekil 6.41 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan 16x16 2.4 GHz MYA'nin polar kazanç diyagramı	61
Şekil 6.42 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan 16x16 2.4 GHz MYA'nin lineer kazanç diyagramı	62

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1 5.8 Ghz Mikroşerit yama anten tasarım ölçütleri.....	37
Tablo 2. 5.8 GHz 2x1 MYA'nin doğrusal faz dağılımına göre elde edilen hüzme genişliği, kazanç ve ana lob yönü sonuçları.....	44
Tablo 3. 5.8 GHz 2x1 MYA dizisinin doğrusal faz dağılımı ve farklı genlik oranlarına göre hüzme genişliği, kazanç ve ana lob yönü sonuçları	48
Tablo 4 5.8 GHz 4x1 MYA dizisinin doğrusal faz dağılımına göre hüzme genişliği, kazanç ve ana lob yönü sonuçları.....	51
Tablo 5. 16x16 2.4 GHz MYA dizisinin doğrusal faz dağılımına göre elde edilen hüzme genişliği, kazanç ve ana lob yönü sonuçları	62

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

MYA : Mikroşerit Yama Anten

° : Derece

Amp : Amplitude (Genlik)

Ψ : Faz Gösterimi

U = ışıma şiddeti (W/birim katı açı)

W_{rad} = ışıma yoğunluğu (W/m^2)

δ : Faz Açısı

GHz : Gigahertz

d : Antenler arası mesafe

3D : üç boyut

ÖZET

Anten teknolojileri, haberleşme ve radar sistemlerinde sinyal iletimi ve alım kalitesini belirleyen kritik unsurlar olup, özellikle mikroşerit yama antenler düşük profil, hafiflik ve üretim kolaylığı gibi avantajları nedeniyle modern iletişim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında, faz dizinli antenlerin ve hüzmleme tekniklerinin temel prensipleri ele alınmış, çeşitli mikroşerit yama anten dizileri tasarlanarak simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Hüzme yönünü değiştirmek bir anteni mekanik olarak kontrol etme gereksinimini ortadan kaldırmanın yanı sıra, elektronik yönlendirme çok yüksek hızlarda hüzme taramaya izin vermektedir.

Bu çalışmada, ilk olarak 5.8 GHz daha sonra 2.4 GHz frekansında çalışan mikroşerit yama anten dizileri tasarlanmış ve CST Studio Suite programında simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan antenler arasındaki mesafe (d) $\lambda/2 < d < \lambda$ olarak ayarlanmıştır. Ardından bu dizi antenlere doğrusal faz dağılımı uygulanarak antenlerin hüzme tarama performansı incelenmiştir.

Anten dizilerine doğrusal faz dağılımı uygulandıktan sonra elde edilen simülasyon sonuçları karşılaştırılarak, faz kaydırma tekniklerinin hüzme tarama performansına olan etkileri incelenmiştir.

ABSTRACT

Antenna technologies are critical elements that determine signal transmission and reception quality in communication and radar systems. Microstrip patch antennas, in particular, are widely used in modern communication systems due to their advantages such as low profile, light weight, and ease of production. This thesis addresses the fundamental principles of phased array antennas and beamforming techniques, and various microstrip patch antenna arrays have been designed and simulated. Changing the beam direction eliminates the need for mechanical control of an antenna, and in addition, electronic steering allows for very high-speed beam scanning.

In this study, microstrip patch antenna arrays operating at 5.8 GHz and later at 2.4 GHz were designed and simulated using CST Studio Suite. The distance between the designed antennas was adjusted to be $\lambda/2 < d < \lambda$. Subsequently, linear phase distribution was applied to these array antennas, and their beam scanning performance was examined.

After applying linear phase distribution to the antenna arrays, the simulation results were compared to examine the effects of phase shifting techniques on beam scanning performance.

1. GİRİŞ

Haberleşme ve radar sistemlerinde anten teknolojileri, sinyal iletiminin ve alımının kalitesini belirleyen kritik unsurlardan biridir. Özellikle mikroşerit yama antenler, düşük profilleri, hafif yapıları ve kolay üretilebilirlikleri nedeniyle modern iletişim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu antenler, özellikle faz dizinli anten sistemlerinde ve beamforming (hüzmeleme) tekniklerinde önemli rol oynamaktadır.

Faz dizinli antenler, her bir anten elemanına uygulanan farklı faz kaymaları sayesinde ışıınım deseninin elektronik olarak yönlendirilmesine olanak tanır. Bu yöntem, mekanik hareket gerektirmeden sinyal yönlendirmesi yaparak hem hızlı hem de esnek bir çözüm sunar. Beamforming ise, belirli bir yöne odaklanmış güçlü bir sinyal oluşturmak amacıyla anten dizisi elemanlarının faz ve genliklerinin optimize edilmesi işlemidir. Bu teknik, sinyalin belirli bir yönde yoğunlaştırılması ve girişim etkilerinin azaltılması için kullanılır, bu da haberleşme sistemlerinde kapasite ve veri hızının artırılmasını sağlar.

Bu tezde, 5.8 GHz ve 2.4 GHz frekansında çalışan mikroşerit yama anten dizilerinin hüzme yönlendirme performansı analiz edilmiştir. Anten elemanları arasındaki mesafe, $\lambda/2 < d < \lambda$ arasında olacak şekilde tasarlanmıştır. Doğrusal faz dağılımları ve farklı değerlerde genlikler uygulanarak, CST Studio Suite programında Array Task ve Array Factor araçları ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların amacı, farklı faz kaymaları ile elde edilen hüzme tarama performansını incelemek ve optimum faz dizilimini belirlemektir.

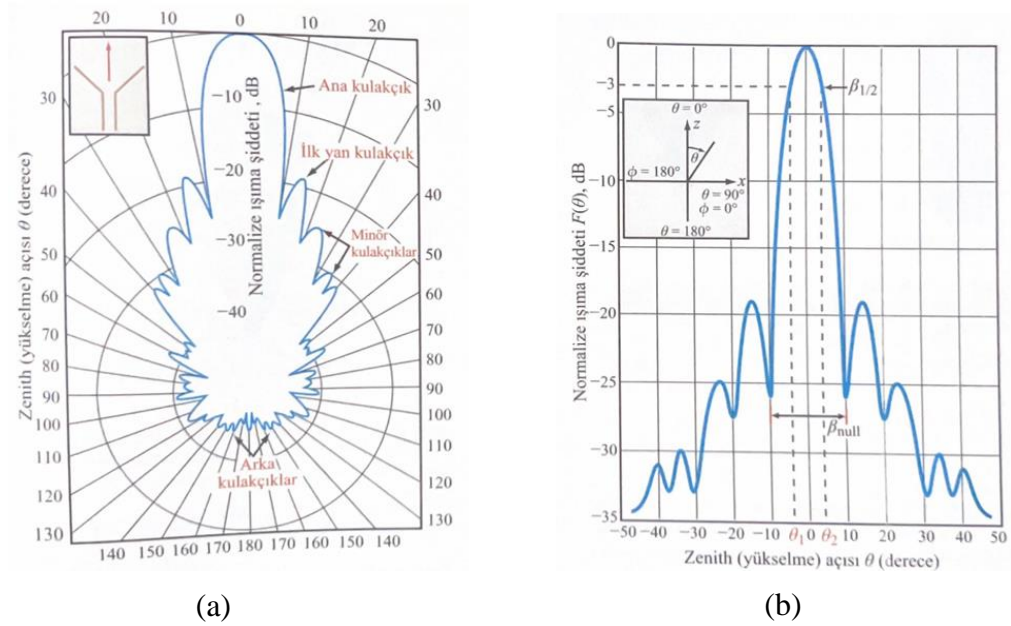
2. ANTEN NEDİR ?

Kablosuz iletişimin temelini elektromanyetik dalgaların varlığı oluşturur. Önceleri, manyetik alan ile elektrik alanın birbirinden bağımsız olduğu düşünülüyordu. Ancak Maxwell, Amper yasasında yaptığı düzeltmeyle, zamanla değişen elektrik alanının manyetik alan yarattığını kanıtladı. Maxwell'in geliştirdiği ve "Maxwell denklemleri" olarak bilinen denklemler, zamanla değişen manyetik ve elektrik alanların hareket eden dalga şeklinde olduğunu gösterdi. Heinrich Hertz, 19. yüzyılın başlarında bu teoriyi deneysel olarak doğruladı ve bu deneylerde antenler ilk kez kullanıldı. Radyonun mucidi olarak kabul edilen Guglielmo Marconi'nin çalışmaları anten teknolojisinin gelişimini hızlandırdı ve 1960'larda bilgisayarlarla entegre çalışan ilk anten sistemleri ortaya çıktı. [1]. Günümüzde antenler, haberleşme sistemleri, radar sistemleri ve uydu iletişimi gibi alanlarda kritik bir rol oynamaktadır ve bu nedenle oldukça gelişmiş ve yaygın hale gelmiştir.

2.1. Temel Anten Performans Kriterleri

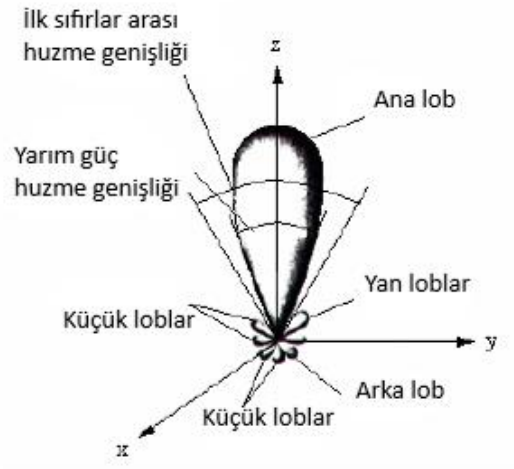
2.1.1. Işıma Örüntüsü

Işıma örüntüsü, antenin ışıma özelliklerinin uzay koordinatlarına bağlı bir fonksiyon olarak matematiksel ya da grafiksel biçimde gösterilmesidir [1].



Şekil 2.1 (a) Kutupsal diyagram (b) Dikdörtgensel çizim

Işıma örüntüsü, ana lob, yan loblar ve arka lob olmak üzere çeşitli bölümlerden oluşur. Ana lob, antenin maksimum ışıma yaptığı yönü ifade ederken, yan loblar genellikle ana loba komşu olan ve istenmeyen yönlerde ortaya çıkan ışımalardır. Arka lob ise ana ışımanın tam tersi yönde oluşan ışıma olarak tanımlanır. Anten tasarımlarında, ana ışımanın yönü dışındaki istenmeyen yönlerde meydana gelen küçük lobların minimize edilmesi hedeflenir. Genellikle, en büyük küçük loblar yan loblardır. Bu küçük lobların seviyeleri, ana lobun güç yoğunluğuna göre oranlanarak yan lob seviyeleri olarak adlandırılır. [2].



Şekil 2.2 Ana hüzme ve loblar

2.1.2 Yansıma Katsayısı

Yansıma katsayısı, yansıyan elektrik alan şiddetinin (E^-) gelen elektrik alan şiddetine (E^+) oranıdır. S_{11} formülü aşağıdadır:

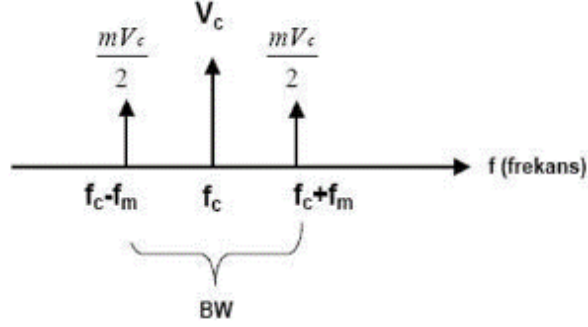
$$S_{11} = \frac{E^-}{E^+} \quad (2.1)$$

Bir yükün yansıma katsayısı, yük empedansı Z_L ve kaynak empedansı Z_S 'ye bağlıdır. Şek. 1.0, Z_L ve Z_S 'yi gösterir. Burada, S_{11} şu şekilde verilir:

$$S_{11} = \frac{Z_L - Z_S}{Z_L + Z_S} \quad (2.2)$$

2.1.3 Bant Genişliği (Band Width)

Bant genişliği, bir antenin çalıştığı frekans aralığını ifade eder. Bu parametre, haberleşme sistemlerinde en önemli unsurlardan biridir. Antenlerde bant genişliği genellikle, yansıma katsayısının -10 dB'den daha küçük olduğu frekans aralıkları için belirlenir.



Şekil 2.3 Bant genişliği gösterimi

Bant genişliğini veren ifadede f_{max} antenin istenen özellikte çalıştığı maksimum frekansı, f_{min} ise minimum frekansı göstermektedir.

$$BW = f_{max} - f_{min} \quad (2.3)$$

Aşağıdaki ifadede ise bant genişliğinin yüzde olarak gösterimi verilmiştir. Burada f_c merkez frekansıdır.

$$BW(\%) = \frac{f_{max} + f_{min}}{f_c} \times 100 \quad (2.4)$$

Bant genişliğinin oranına göre antenler dar bantlı, geniş bantlı ve ultra geniş bantlı olmak üzere üç sınıfa ayrılır.

2.1.4 Anten Yönlülüğü (Directivity)

Belirli bir yönde oluşan ışımanın şiddetinin tüm yönlerdeki ortalama ışıma şiddetine oranına yönlülük denilmektedir [3]. Yönlülük $D(\theta, \varphi)$, yükselme (elavation) ve yanca (azimut) açılarının bir fonksiyonu olarak eşitlik (2.5)'deki gibi ifade edilebilir [4].

$$D(\theta, \varphi) = \frac{\text{Antenin } (\theta, \varphi) \text{ yönündeki ışıma şiddeti}}{\text{Antenin tüm yönlerdeki ortalama ışıma şiddeti}} \quad (2.5)$$

Ortalama ışıma şiddeti, antenden ışıyan gücün 4π 'ye oranı olarak hesaplandığında, yönlülük eşitlik (2.6)'daki gibi yazılabilir [3].

$$D(\theta, \varphi) = \frac{U(\theta, \varphi)}{U_0} = \frac{4\pi U(\theta, \varphi)}{P_{rad}} \quad (2.6)$$

Burada; D yönlülük [Birimsiz,dBi], Prad ışıyan güç [W] , U Işıma şiddeti [W/Birim katı açı] olarak ifade edilir.

2.1.5 Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR)

İletim hattındaki maksimum gerilimin minimum gerilime oranı bize gerilim duran dalga oranını verir. Γ yansıma katsayısını V_{max} ve V_{min} ise maksimum ve minimum gerilim değerlerini ifade eder. Aşağıdaki eşitlikte gerilim duran dalga oranının ifadesi verilmiştir.

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.7)$$

Gerilim duran dalga oranı iletim hattının karakteristik empedansı ile anten giriş empedansının uyumunu gösterir. Yansıma katsayısının 1 veya -1 olduğu durumlarda VSWR'e sonsuza gider bu en istenmeyen durumdur. İstenen durumda VSWR'e 1 değerini alır.

2.1.6 Anten Verimi

Anten ışıma verimi, dielektrik ve iletim kayıplarının hesaba katılarak antenin ışıma performansını veren önemli parametrelerden biridir. Işıma verimliliği(e_{cd}), eşitlik (2.8)'teki şekliyle ifade edilir [3], [4].

$$e_{cd} = \frac{R_r}{R_L + R_r} = \frac{\text{Işıyan Güç}}{\text{Anten Tarafından Kabul Edilen Güç}} \quad (2.8)$$

Yüzde yüz güç transferi olması için, $Z_s = R_s + jX_s$ (kaynak empedansı) ve $Z_a = R_r + jX_a$ (antenin giriş empedansı) karmaşık eşlenik olmalıdır [4]. Eğer bir empedans uyumsuzluğu oluşursa bu yansıma yol açar. Yansıma katsayısını gösteren eşitlik (2.9)'da verilmiştir.

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_a - Z_s}{Z_a + Z_s} \quad (2.9)$$

Burada “ V_r ” antenden yansıyan gerilim ve “ V_i ” antene iletilen gerilimdir. Oluşan geri yansımalar duran dalgalar oluşturur. Bu durum gerilim duran dalga oranı (GDDO) ile belirtilir. [4]

2.1.7 Anten Kazancı (Gain)

Kazanç bir antenin aldığı giriş gücünü belirli bir yönde ışımaya dönüştürme yeteneğinin bir ölçüsüdür ve ışıma gücünü tepe yaptığı yerde ölçülür.[3] Kazanç, yönlülük ve verimin çarpımıyla ifade edilir. Yükselme (θ) ve yanca (φ) açılarının bir fonksiyonudur. Verimi % 100 olan antende kazanç ve yönlülük eşittir.

$$G(\theta, \varphi) = e_{cd} D(\theta, \varphi) \quad (2.10)$$

2.1.8 Anten Işıma Güç Yoğunluğu

Işıma güç yoğunluğunu gösteren ifade (2.11) aşağıda verilmiştir. Işıma birim vektörü \hat{a}_r ve r yarıçaptır.

$$W_0 = \hat{a}_r - \left(\frac{P_{rad}}{4\pi r^2}\right) \quad (2.11)$$

2.1.9 Anten Işıma Verimliliği

Anten ışıma verimliliği e_{cd} , iletim verimliliği e_c ve dielektrik verimliliği e_d 'nin toplamından oluşan verimliliklerdir. Ancak iletkenlik kayıpları ve dielektrik kayıplarının anten ışıma verimliliğinin hesaplanmasını güçleştirdiği için, anten üzerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak hesaplanır [1]. Işıma verimi, ışıma gücünün çekilen güce oranıdır. Kaynaktan gelen gücün bir miktarı ısı dönüşerek antende kayıp olmasına neden olur. Bu kayıp ile ışıma gücünün toplamı alınan güce eşit olduğundan ısı kayıplarının azalması ışıma gücünün dolayısı ile verimliliğin artmasını sağlar. Isıya dönüşen güç azaldıkça verim artar. P_{IN} anten giriş gücü, P_{OUT} antenden yayılan toplam güç, R_r ışıma direnci ve R_L ısı kayıp direnci olmak üzere formül 2.12'de ifade edilmiştir.

$$\frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{R_r}{R_r + R_L} \quad (2.12)$$

2.1.10. Işıma Şiddeti

Işıma şiddeti, belirlenen yön için açı başına antenden yayılan güçtür. Uzak alan parametresi olan ışıma şiddeti, ışıma yoğunluğu ve uzaklığın karesinin çarpımına eşittir.

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.13)$$

U = ışıma şiddeti (W/birim katı açı)

W_{rad} = ışıma yoğunluğu (W/m^2)

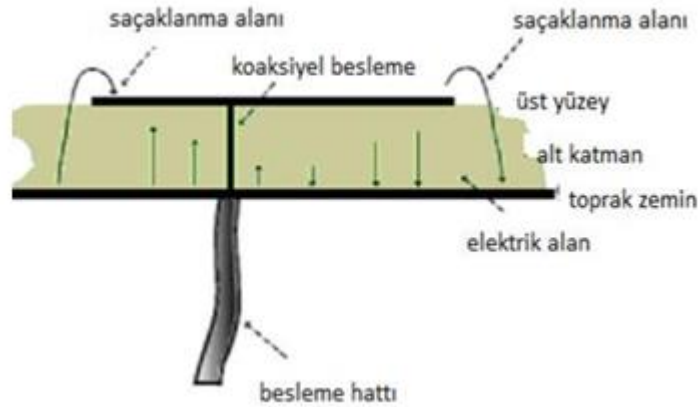
2.1.11. Friis İletim Denklemi

Friis iletim denklemi, D her iki antenin en büyük boyutu olmak üzere $R > 2D^2/\lambda$ uzaklığı kadar birbirinden ayrı iki antenden alıcının aldığı gücü vericinin yaydığı güçle ilişkilendirir.[3]

$$\frac{P_r}{P_t} = e_t e_r \frac{\lambda^2 D_t(\theta_t, \phi_t) D_r(\theta_r, \phi_r)}{(4\pi R)^2} \quad (2.14)$$

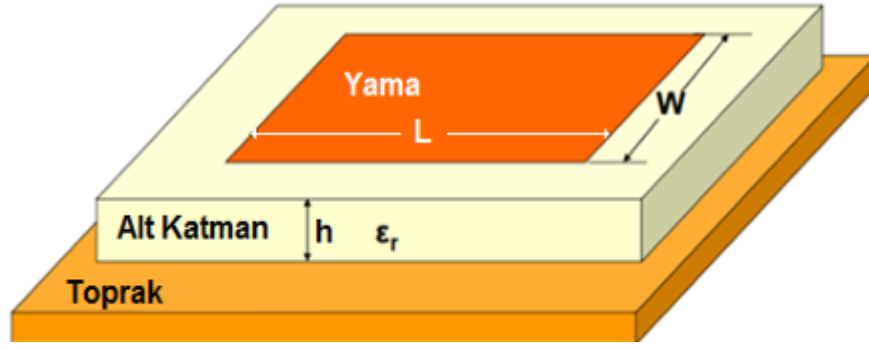
3. MİKROŞERİT YAMA ANTENLER

Mikroşerit yama anten en temel haliyle paralel iki iletkenin ince bir dielektrik katman ile birbirinden ayrılmasıyla oluşturulur. Üst taraftaki iletken ışıma amaçlı kullanılırken, alt yüzeydeki iletken topraklama amaçlı kullanılır. İletken olarak iletkenlik katsayısı yüksek elementler kullanılır. Bakır mikroşerit anten tasarımında ve üretiminde en sık kullanılan iletkenidir. Mikroşerit anten yama kısmının uyarılması neticesinde yama kenarlarından yer düzlemi doğrultusuna bir EM dalga propagasyonu olur. Yansıyan dalgalar ise boşluğa yayılarak ışıma yaparlar. Fringing effect olarak adlandırılan yama kenarlarında oluşan saçaklanma olayı mikroşerit anten ışımasına yol açar [5]. Şekil 3.1’de mikroşerit yama anten ışıma alanları gösterilirken Şekil 3.2’de klasik bir yama antene ait katmanlar ve parametreleri gösterilmektedir.



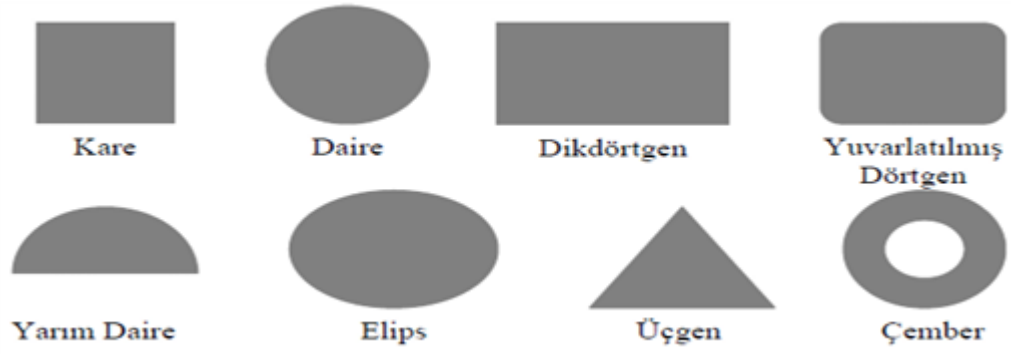
Şekil 3.1 Mikroşerit yama anten ışıma alanı

Tanjant kaybı alt katman için önemli bir parametredir. Dielektrik kaybı olarak da adlandırılan “tanjant kaybı” frekans ile artar. Alt katmanın düşük tanjant kayıplı olması anten ışıma verimini arttıran önemli bir unsurdur [5].



Şekil 3.2 Tek katmanlı mikroşerit yama anten

Burada; h toprak yüzey ile yama arasında yer alan dielektrik malzeme yüksekliğini, t yama kalınlığını, L yama boyunu, W ise yama genişliğini ifade etmektedir. Tasarım parametreleri belirlenirken h için; $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.005\lambda_0$, ϵ_r (Dielektrik sabiti) için; $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$, L için; $0.333\lambda_0 \leq L \leq 0.5\lambda_0$ eşitsizlikleri geçerli kabul edilmektedir [3]. Yama iletken tasarımında dikdörtgen, kare, üçgen, daire ve eliptik gibi temel geometrik şekiller tercih edilir. Şekil 3.3’de mikroşerit antenlerde kullanılan temel yama şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Mikroşerit anten yama şekilleri

3.1. Mikroşerit Yama Antenlerin Avantaj ve Dezavantajları

Yaklaşık olarak 100 MHz'den 50 GHz'e kadar geniş bir frekans aralığında kullanılan mikroşerit antenlerin bilinen mikrodalga antenlerine göre üstünlüklerini aşağıdaki biçimde sıralayabiliriz.

- Hafifliği, küçük hacimli olması.
- Düşük üretim maliyeti.
- Düzlemsel biçimliliği nedeniyle kullanışlı olması,
- Çok ince biçimli yapılabilmesi nedeniyle uzay araçlarının aerodinamik yapısını bozmazlar.
- Bu tip antenler güdümlü mermiler, roketler ve uydular üzerine önemli değişikliklere neden olmaksızın yerleştirilebilirler.
- Düşük saçılma ara kesitine (scattering cross section) sahiptirler.
- Besleme konumundaki ufak değişikliklerle doğrusal ve dairesel kutuplanmış ışıma yapabilirler.
- İkili frekans antenlerinin kolaylıkla yapılabilir olması,
- Boşluk desteği gerekmez.
- Osilator, yükselteç, değişken zayıflatıcılar, anahtarlar, modulatörler, karıştırıcılar, faz değiştiricileri v.s. gibi katıhal araçları mikroşerit antenlerin alt taşına ilave edilerek, bileşik sistemler geliştirilebilir.
- Besleyici hatları ve uyumlandırma devreleri, antenle birlikte aynı zamanda üretilebilir biçimdedir.

Mikroşerit antenlerin yukarıdaki üstünlüklerinin yanı sıra bazı dezavantajları da şöyle sıralanabilir;

- Dar band genişliği.
- Çeşitli kayıplar sonucu; düşük kazançlı olmaları.
- Mikroşerit antenlerin çoğu yarı düzlem içinde ışırlar.
- 20 dB olan en üst kazancın elde edilmesinde pratik güçlükler olması
- Düşük endfire ışıma performansı.

- Besleyici ve ışıma elemanı arasındaki zayıf yalıtım.
- Yüzey dalgaları uyarımının mümkün olabilmesi,
- Düşük güç kapasitesi olması.

Yukarıda belirtilen dezavantajlardan bazıları tasarım ve üretimde en düşük düzeye indirilebilirler.[6]

3.2.Mikroşerit Antenlerin Besleme Çeşitleri

Mikroşerit antenler kullanılmaya başladıklarında toprak kısmının içinden geçen koaksiyel sonda ya da mikroşerit hat vasıtası ile beslenirlerdi. Daha sonra geliştirilen yöntemler ile birlikte temaslı ve temassız besleme çeşitleri ortaya çıkmıştır. Bu besleme çeşitlerinin en öne çıkanları mikroşerit besleme, koaksiyel besleme, açıklık besleme ve yakınlık besleme yöntemleridir [7].

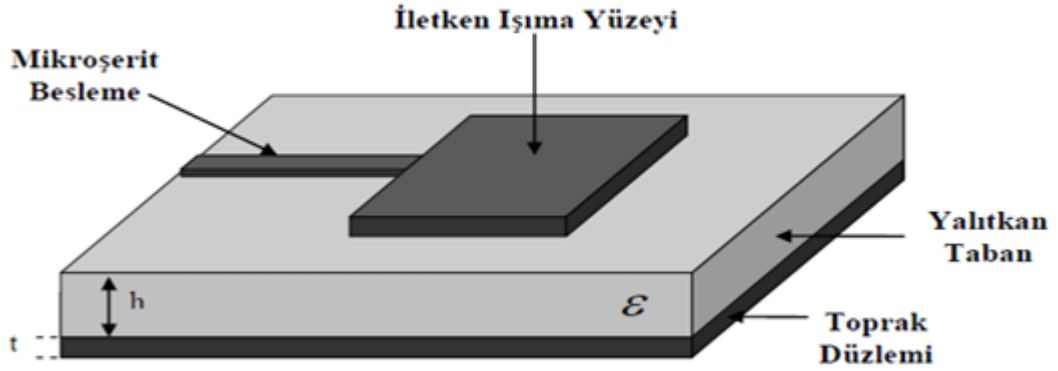
3.2.1. Eş Eksenli Besleme Yöntemi

Mikroşerit yama antenlerde eş eksenli besleme, antenin besleme noktasına doğrudan bir koaksiyel kablounun bağlanmasıyla gerçekleştirilen bir besleme yöntemidir.

Koaksiyel kablounun iç iletkeni, üst katmandaki yama kısmına temas edecek şekilde yerleştirilir, dış iletken kısmı ise antenin alt tabakasında bulunan toprak yüzeye bağlanır. Bu besleme yönteminin en önemli avantajı, empedans uyumunun ekstra bir çaba gerektirmeden, koaksiyel hattın iç iletkeninin yamanın uygun bir noktasına temas etmesiyle sağlanabilmesidir. Ayrıca, bu besleme tipi üretim açısından kolaydır ve mikroşerit besleme hatlarına kıyasla istenmeyen ışıma oranları daha düşüktür. Bununla birlikte, en büyük dezavantajı, kalın dielektrik katman kullanıldığında besleme ucunun yamaya ulaşmasında yaşanan zorluklardır. Bu durum, yapının modellemesini karmaşık hale getirebilir.

3.2.2. Mikroşerit Besleme Yöntemi

Mikroşerit besleme yönteminde besleme hattı ışıma yapan yüzey ile aynı düzlemde bulunur. Bu yöntemde yama, mikroşerit hattın uzantısı olduğu için üretimi basitleşmiş olur. Üretim kolaylığı nedeni ile en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Mikroşerit beslemenin yapısı Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.4 Mikroşerit beslemeli anten

Genel olarak besleme hattı yamadan daha ince seçilir. Bir başka avantajı ise empedans uyumu sağlamada besleme hattının konumunda değişiklik yapılmasındaki kolaylıktır. Ancak aradaki dielektrik yüzeyin kalınlığı fazla olduğunda istenmeyen dalgalar oluşur buda bant genişliğinin 2-5% olarak sınırlar [1]. Empedans uyumu için bir yöntem yama ile anten empedansları arasındaki farkı kapatmak için çeyrek dalga empedans dönüştürücü kullanmaktır. Bu şekilde empedansların birbiri ile aynı olacağı şekilde taşıyım mümkün olur. Ayrıca dizi anten oluşturma da kolaylık sağlanır. Bir başka yöntem ise besleme kısmında yamada yarıklar açılmasıdır. Açılan bu yarıklar empedans uyumunu sağlasa da antenin çekebileceği güçte sınırlamaktadır ve sahte ışımalarda artışa neden olur. Bu yöntemde antenin besleme yerini değiştirerek antenin frekansı belirlenebilir veya kullanılacağı yere fiziki olarak uygun olacak şekilde konumlandırılır. Bu yer değişikliği ışıma görüntüsünün değişikliğine neden olmaz. Ayrıca yamanın boyutlarını değiştirmekte çalışma frekansına ulaşmada belirleyicidir.

4. DİZİ ANTENLER

Anten dizisi sistemi, geleneksel antenlerin paraziti reddedememeleri açısından dezavantajlarının üstesinden gelmek için çözüm oldu. Anten dizisi, aynı yönlendirme ve radyasyon düzenine sahip bireysel sensör elemanı "anten" setinin geometrik düzenlemesidir, bu elemanlar iletim veya alım bölümünde kullanılmak üzere birbirine bağlıdır.[8] Bu dizinin elemanları sinyal işleme birimi ile ilişkili olduğundan, esas olarak uyarlanabilir sistemlerdeki radyasyon modelinin şeklini etkiler.[9] Anten dizisindeki bu elemanlar, alınan sinyallerin genliğinde hiçbir fark olmayacak şekilde yakın aralıklıdır ve tasarlanan sistemin karmaşıklığı önlemesi için gereken minimum sayıda anten vardır.

4.1. Faz Dizinli Anten

Faz dizili antenler, tutarlı bir şekilde beslenen çok sayıda sabit anten elemanından oluşur ve bir ışını uzayda belirli açılara taramak için her bileşende değişken faz veya zaman gecikmesi kontrolü kullanır. Değişken genlik kontrolü bazen desen şekillendirme için de sağlanır. Diziler bazen sabit açıklıklı antenlerin (reflektörler, lensler) yerine kullanılır, çünkü elemanların çeşitliliği radyasyon modelinin daha hassas kontrolüne izin verir, bu da alt yan loblar veya dikkatli desen şekillendirme ile sonuçlanır. Bununla birlikte, dizilerin kullanılmasının ana nedeni, elektronik olarak yeniden konumlandırılabilen (taranabilen) bir kılavuz ışın üretmektir. Bu Dizi, radar ve uydu iletişimde kullanılan mikrodalga frekanslarında geniş uygulamalara sahiptir.[10]

4.2. Hüzmeleme (Beamforming)

Hüzmeleme (beamforming) anteni, sinyalleri uzayda belirli bir yöne odaklayan veya belirli bir alana eşit olarak dağıtan bir anten sistemidir. Bu antenler, birden fazla anten elemanından ve bu elemanların sinyallerini yönlendirmek için kullanılan elektronik devrelerden oluşur.

4.3. Faz Dizimli Anten ve Hüzmeleme (Beamforming) Arasındaki Farklar

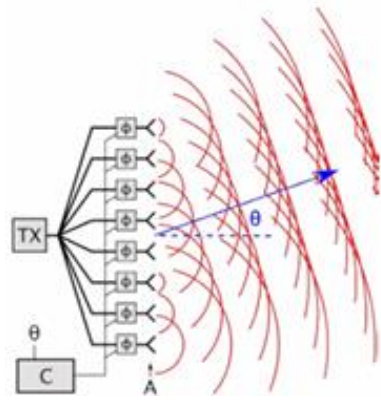
Faz dizili antenler ve hüzmeleme (beamforming) antenleri belirgin farklılıklara sahiptir. Faz dizili antenler, her anten elemanı için bağımsız faz ve genlik kontrolüne izin veren daha karmaşık bir tasarıma sahiptir. Hüzmeleme (beamforming) antenlerde ise, anten elemanlarının fazı genellikle sabittir ve sadece genlikleri kontrol edilir.

- Faz dizili antenler, hüzmeleme (beamforming) antenlerden daha pahalıdır.
- Faz dizili antenler, hüzmeleme (beamforming) antenlerden daha fazla esneklik sunar. Phased array antenlerde, ışın şekli, yönü ve genişliği elektronik olarak kontrol edilebilir. Hüzmeleme (beamforming) antenlerde ise, ışın şekli ve genişliği genellikle anten tasarımıyla belirlenir.
- Faz dizili antenler, hüzmeleme (beamforming) antenlerden daha fazla güç sağlayabilir. Bu, daha fazla sayıda anten elemanına sahip olmalarından ve her bir elemanın fazını ve genliğini ayrı ayrı kontrol edebilmelerinden kaynaklanmaktadır.

4.4. Analog Hüzmeleme (Beamforming)

Analog ışın oluşturmada, bir anten dizisindeki her bir anten elemanı bir faz kaydırıcıdan beslenir. Anten elemanlarının bireysel fazı kontrol edilerek ışın yönlendirilir [4]. Analog hüzme oluşturma uygulaması kolaydır ve dijital hüzmeleme (beamforming) ye kıyasla daha az güç tüketimine sahiptir. Bununla birlikte, daha yüksek frekanslarda, özellikle 28 GHz ve ötesinde, faz kaydırıcıların bant genişliği, antenin işlemleri için sınırlamalar oluşturabilir. Analog hüzme oluşturma esas olarak faz dizi antenlerinde kullanılır. Tasarım faz kaydırıcılar gerektirdiğinden, bu yaklaşımın uygulanması pahalıdır. Ayrıca, her anten elemanı diğer elemanlardan en az $0,7 \times \lambda$ ile ayrılmalıdır veya $\lambda/2 < d < \lambda$ arasında olmalıdır. Sonuç olarak, faz dizi antenleri kompakt bir pakette tasarlanamaz. Yüksek maliyetleri göz önüne alındığında, faz dizi antenleri yalnızca özel cihazlarda kullanılır [5]. Faz değiştiriciler analog veya dijital olabilir. Analog faz kaydırıcılar söz konusu olduğunda, faz kaydırıcı boyunca voltaj değiştirilerek faz değiştirilir. Analog faz değiştiriciler sürekli bir faz kayması

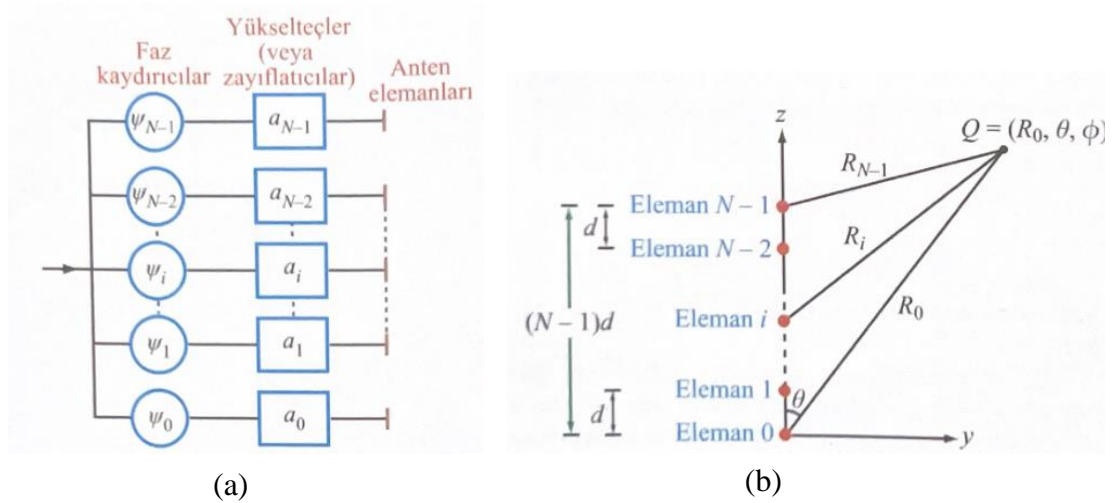
sağlar, ancak bu tür faz değıştirciler, yanlış sonuçlara neden olabilecek harici gürültüye eğilimlidir.



Şekil 4.1 Faz Dizinli Hüzmeleme Anten

4.5. Anten Dizileri Parametreleri

Burada anten dizisinin hüzme yönünün, dizi elemanlarının bağıl fazlarının kontrol edilerek nasıl elektronik olarak taranabileceğini açıklayan matematiksel eşitlikler verilecektir.



Şekil 4.2 a) Tek genlik ve faz kontrollü dizi elemanları b) Gözlem noktasına bağlı dizi geometrisi

N özdeş ışıma kaynağından oluşan bir doğrusal dizi, ortak bir ösilatör ile beslenir. Her bir dalda, o daldaki anten elemanını besleyen sinyalin genlik ve fazını kontrol etmek üzere bir yükseltgeç veya zayıflatıcı ve faz kaydırıcı seri olarak yerleştirilir.

Her hangi bir ışıyan elemanın uzak alan bölgesinde, eleman elektrik alan şiddeti:

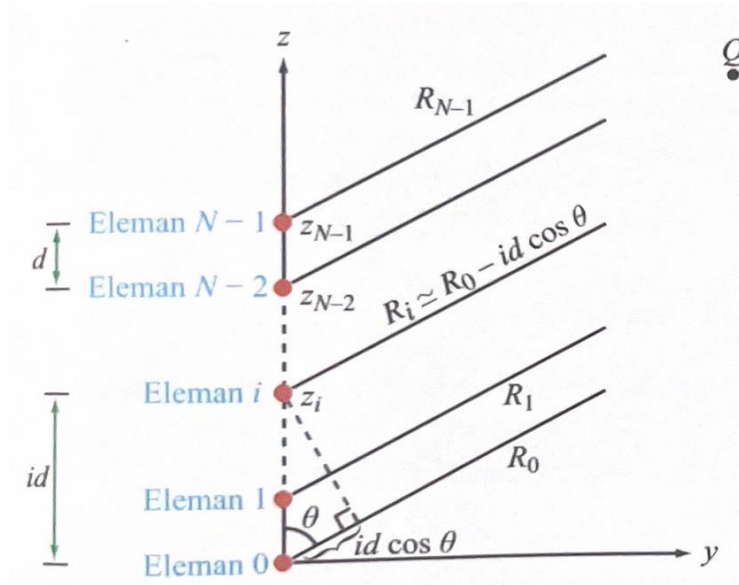
$$E_e(R, \theta, \Phi) \quad (4.1)$$

İki fonksiyonun çarpımı olarak açıklanabilir. Şekil 4.2 (b)'de gösterilen dizi için.Q gözlem noktasından R_i uzaklığındaki i elemanına bağlı uzak bölge alanı :

$$E_i(R, \theta, \Phi) = A_i \frac{e^{-jkR_i}}{R_i} f_e(\theta, \Phi) \quad (4.2)$$

ifadesindeki gibidir. Burada $A_i = a_i e^{j\psi_i}$ bir referans uyarıma bağlı olan E_i 'yi arttıracak uyarımın a_i genliği ve ψ_i fazını temsil eden bir karmaşık besleme katsayısıdır.

4.5.1. Anten Dizisinin Güç Yoğunluğu



Şekil 4.3 Dizi elemanları ile gözlem noktası arasındaki ışınlar

$$S_e(R_0, \theta, \Phi) = S_e(R_0, \theta, \Phi) F_a(\theta). \quad (4.3)$$

Burada $F_a(\theta) = \text{Dizi Faktörü} :$

$$F_a(\theta) = \left| \sum_{i=0}^{N-1} a_i e^{j\psi_i} e^{j i k d \cos \theta} \right|^2 \quad (4.4)$$

olarak gösterilir. a_i 'ler ile verilen dizi genlik dağılımı ve ψ_i 'ler ile verilen dizi faz dağılımıdır. Faz dağılımı, yönünü kontrol etmek için kullanılabilirken genlik dağılımı dizi ışıma örüntüsünün şeklini kontrol etmek için kullanılır.

4.5.2. Birbiçimli Genlik ve Faz

Ardışık elemanlardan ışıyan alanlar arasındaki faz farkı

$$\gamma = k d \cos \theta = \frac{2\pi d}{\lambda} \cos \theta \quad (4.5)$$

Buradan birbiçimli faz

$$F_a(\gamma) = \left| \sum_{i=0}^{N-1} a_i e^{j i \gamma} \right|^2 \quad (4.6)$$

dir. Birbiçimli genlik ve faz ise

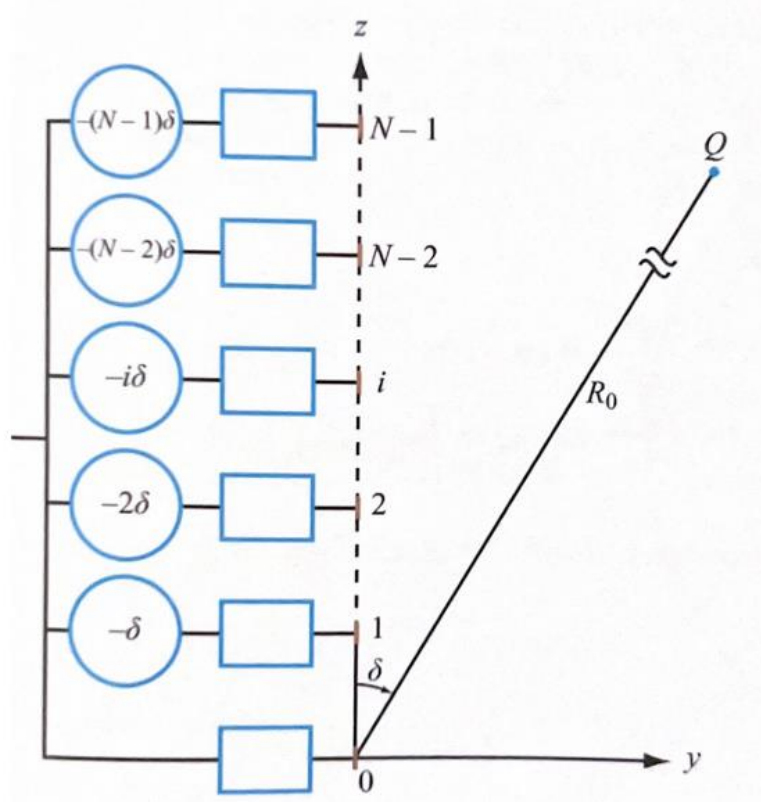
$$F_a(\gamma) = \frac{\sin^2(N\gamma/2)}{\sin^2(\gamma/2)} \quad (4.7)$$

ile gösterilir.

4.5.3. Elektronik Tarama

Elektronik yönlendirmeü dizi üzerinde bir doğrusal faz dağılımı uygulanarak başarlılır:

$\psi_0 = 0, \psi_1 = -\delta, \psi_2 = -2\delta$ vb.



Şekil 4.4 Doğrusal faz uygulaması

Burada δ ardışık elemanlar arasındaki artımsal faz gecikmesidir.

$$F_a(\gamma') = \left| \sum_{i=0}^{N-1} a_i e^{ji\gamma'} \right|^2 \quad (4.8)$$

$$\gamma' = kdcos\theta - \delta$$

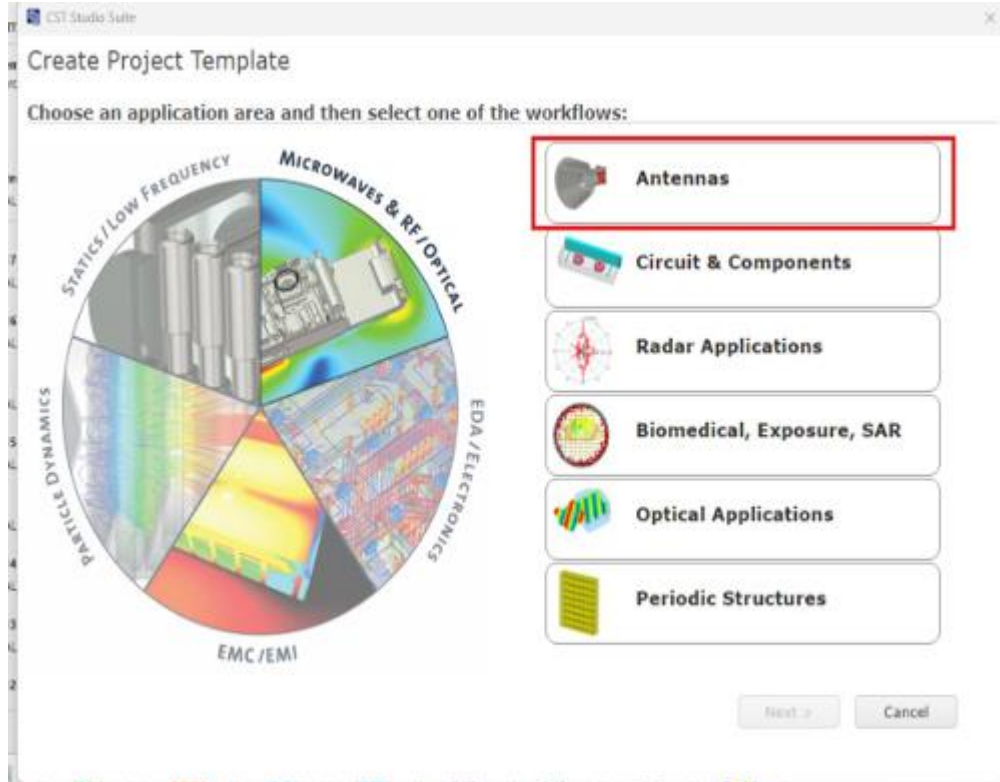
Faz açısı $\delta = kdcos\theta_0$ 'dır. ($\theta_0 = \text{tarma açısı}$) [11].

5. CST Üzerinde Mikroşerit Yama Anten ve Dizi Tasarım ve Simülasyon Aşamaları

Gerçekleştirilen projede antenlerin faz kaydırma simülasyonları CST programıyla gerçekleştirilmiştir. Bu program sayesinde bünyesinde bulundurduğu Array Factor aracı ile kolay ve hızlı bir şekilde faz kaydırma işlemi incelenmiştir. Ardından Array Task aracı ile istenen dizin detaylı simülasyonları yapılabilir.

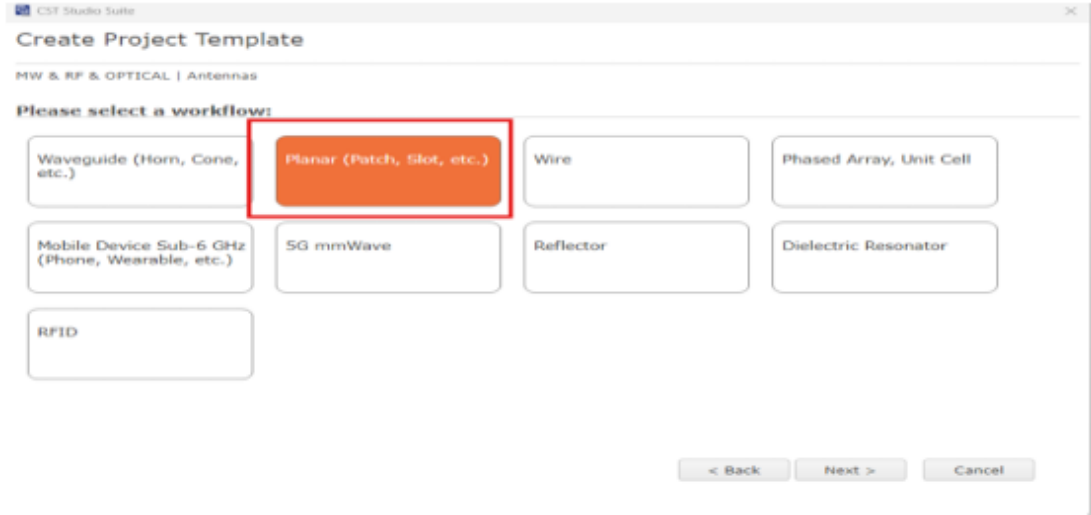
Dizisini yapacağımız mikroşerit yama antenin program üzerindeki tasarım yöntemi;

- I. Program açılır ve ardından “Antennas” kısmı seçilerek “next” kısmına tıklanır.



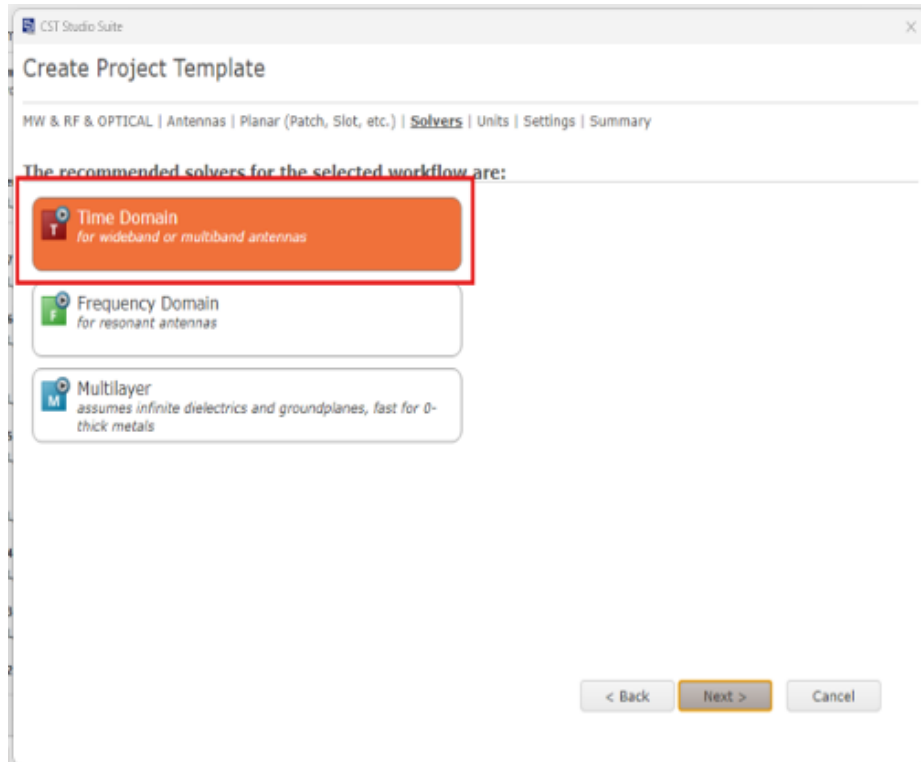
Şekil 5.1 Uygulama alanı seçim ekranı

- II. Daha sonra açılan pencerede yama anten yapacağımız için Planar (patch, slot , vb) bölümü seçilir ve next'e tıklanır.



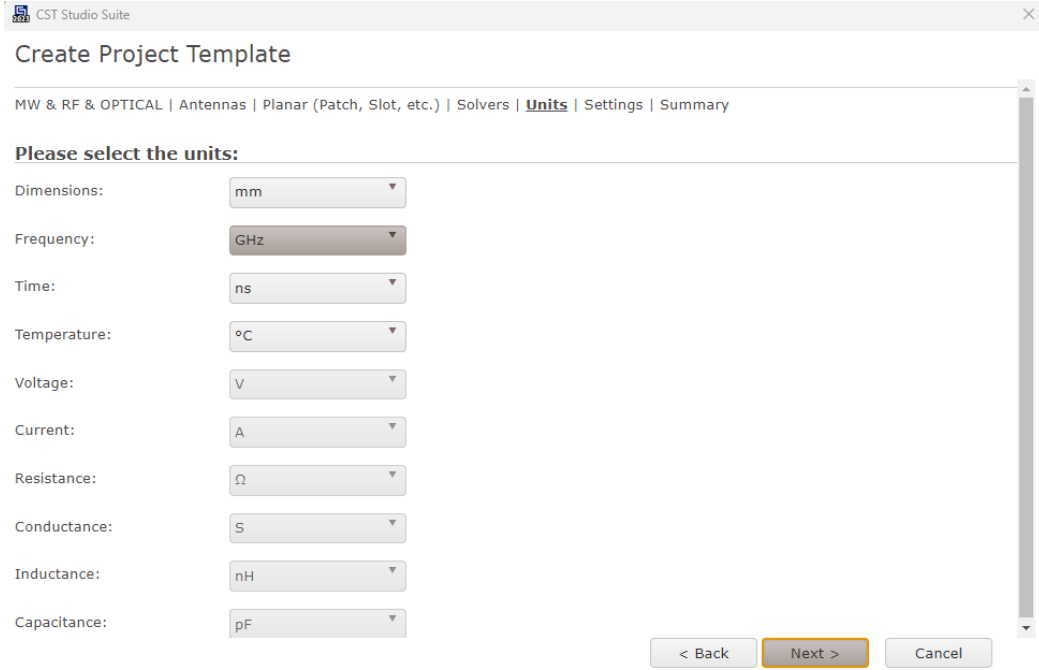
Şekil 5.2 Yama anten seçim ekranı

- III. “Time Domain” kısmı seçilerek “next” e tıklanır.



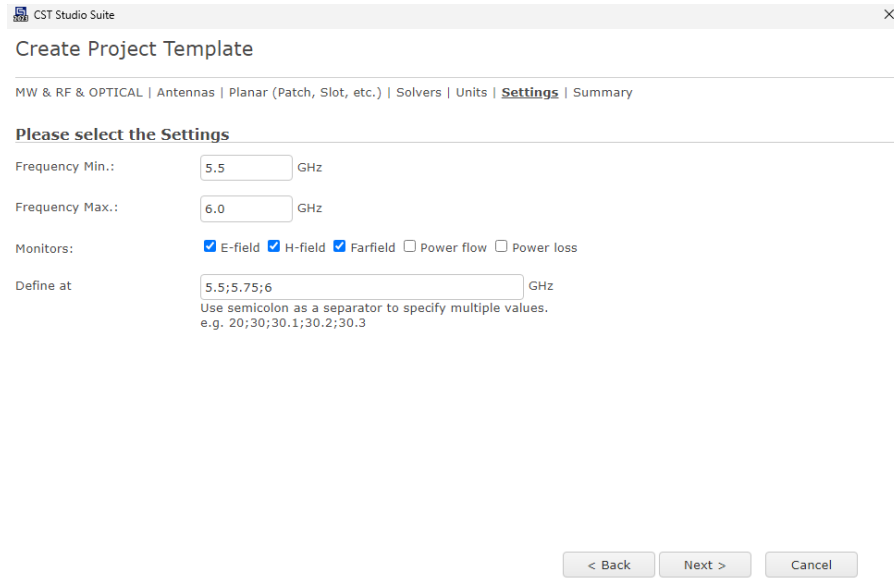
Şekil 5.3 Zaman uzayı seçimi

IV. Buradan anten çiziminde kullanmak istediğimiz birimleri ayarlıyoruz.



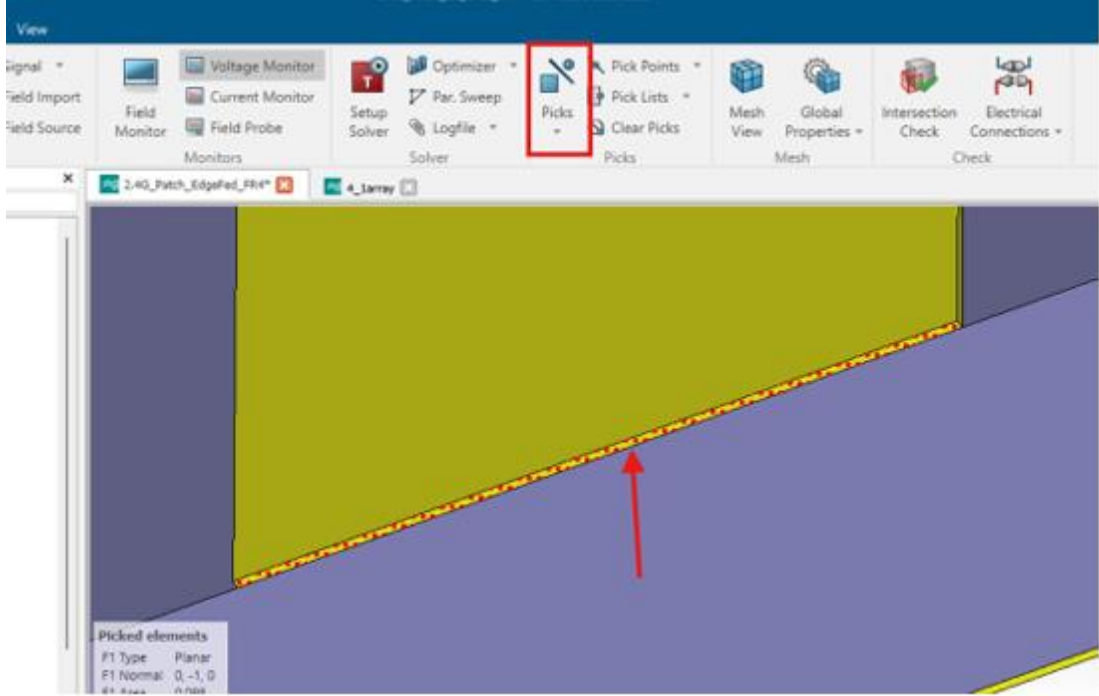
Şekil 5.4 Tasarımda kullanılacak birim seçimi

V. Buradan antenin frekans aralığının ve simülasyonunu yapmak istediğimiz monitörleri seçiyoruz.



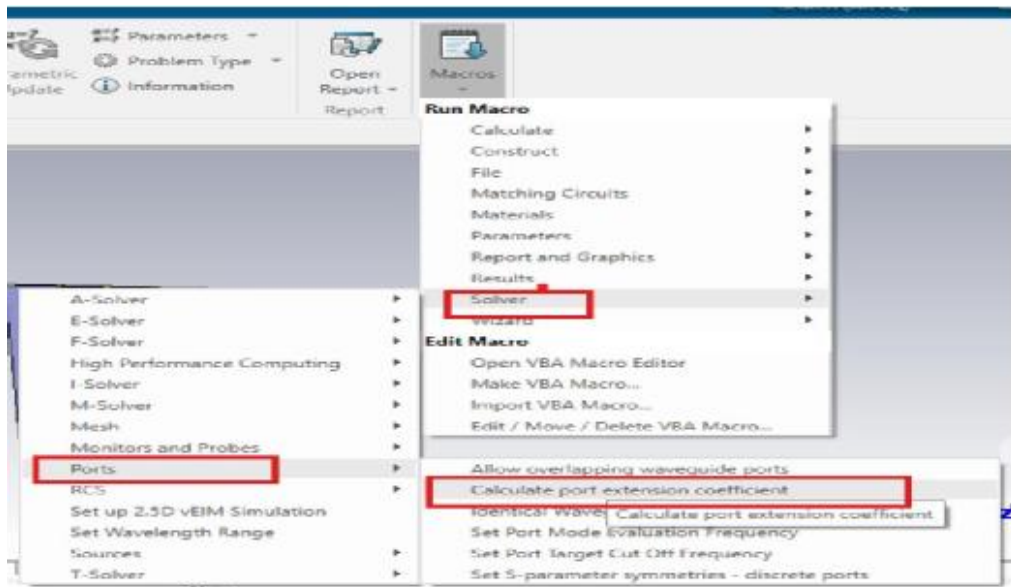
Şekil 5.5 Frekans aralığı ve alan monitör seçimi ekranı

- VI. Anten tasarlandıktan sonra port eklemesi yapmak için “Picks” bölümü seçilir ve ardından antene girecek portun bölmesi seçilir.



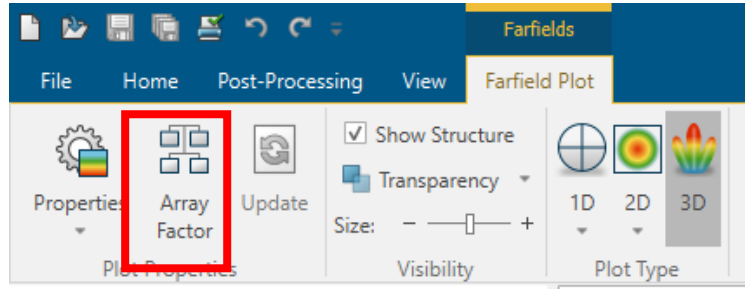
Şekil 5.6 Port tanımlama ekranı

- VII. Portun bölmesi seçildikten sonra calculate port yapılarak port eklenmesi yapılır.



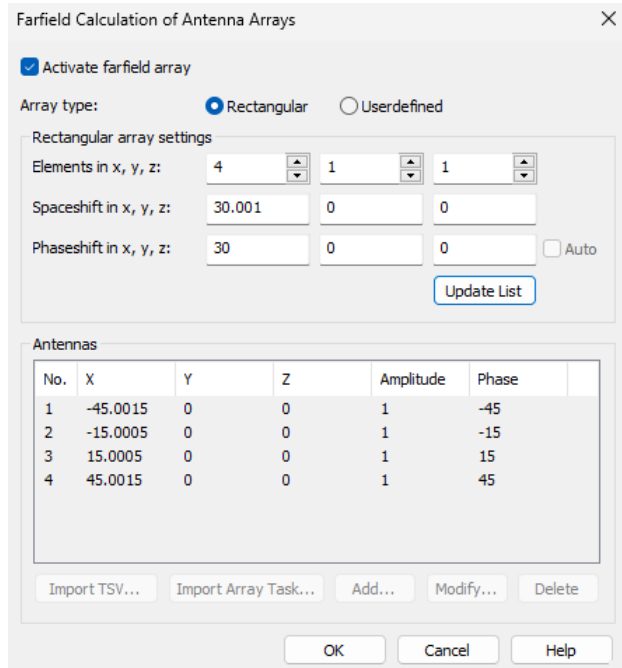
Şekil 5.7 Port hesaplama ekranı

VIII. Tekli anten tasarımı bittikten sonra dizi anten tasarlama aşamasına geçiyoruz. Burada iki tane dizi anten aracımız var. İlki “Array Factor”, ikincisi ise “Array Task”. Array Factor ile tasarlayacağımız dizinin hızlı bir şekilde uzak alan (farfield) diyagramlarının önizlemesini yapabiliyoruz. İstersek bu diyagramlarda faz ayarlamalarını da yapabiliyoruz. Aşağıdaki pencereden Array Factor aracımızı seçiyoruz.



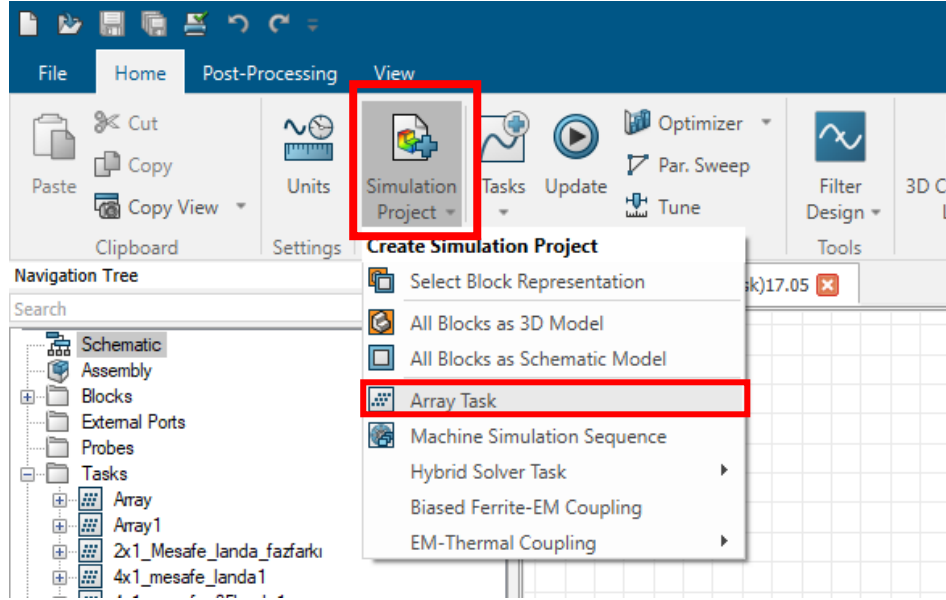
Şekil 5.8 “Array factor” aracı seçim ekranı

IX. Açılan pencerede “Activate farfield array” kutucuğunun seçili olduğuna emin olduktan sonra “elements” kısmından kaç kaçlık bir dizi tasarlayacağımızı ayarlıyoruz. “Spaceshift” kısmından antenler arası mesafeyi ayarlıyoruz. ”Phaseshift” kısmından ise portlar arası faz farkını ayarlıyoruz.



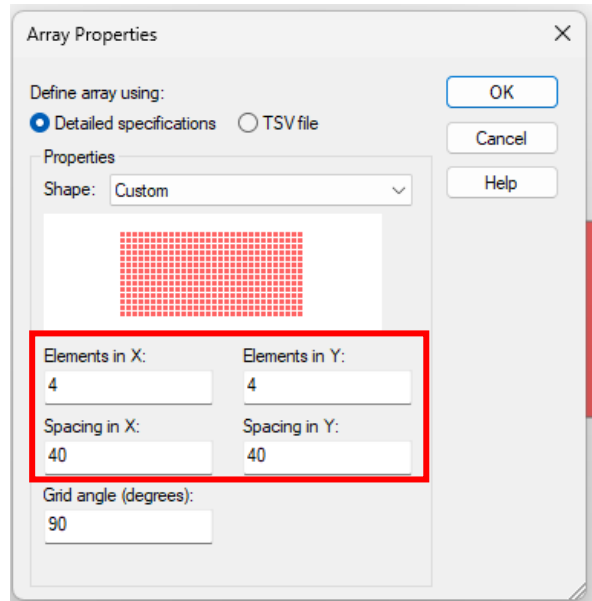
Şekil 5.9 Uzak alan hesaplama ekranı

- X. “Array Task” ile detaylı dizi analizi yapmak için aşağıdaki kısımdan “Array Task” kısmını seçiyoruz.



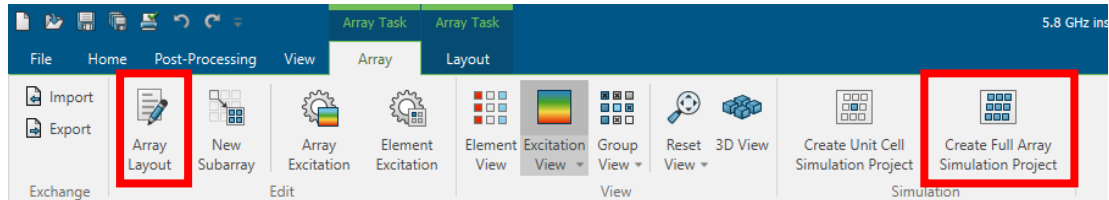
Şekil 5.10 “Array Task” seçim ekranı

- XI. “Array Task” kısmı seçildikten son gelen pencereden dizinin boyutlarını ve antenler arası mesafeyi ayarlıyoruz.



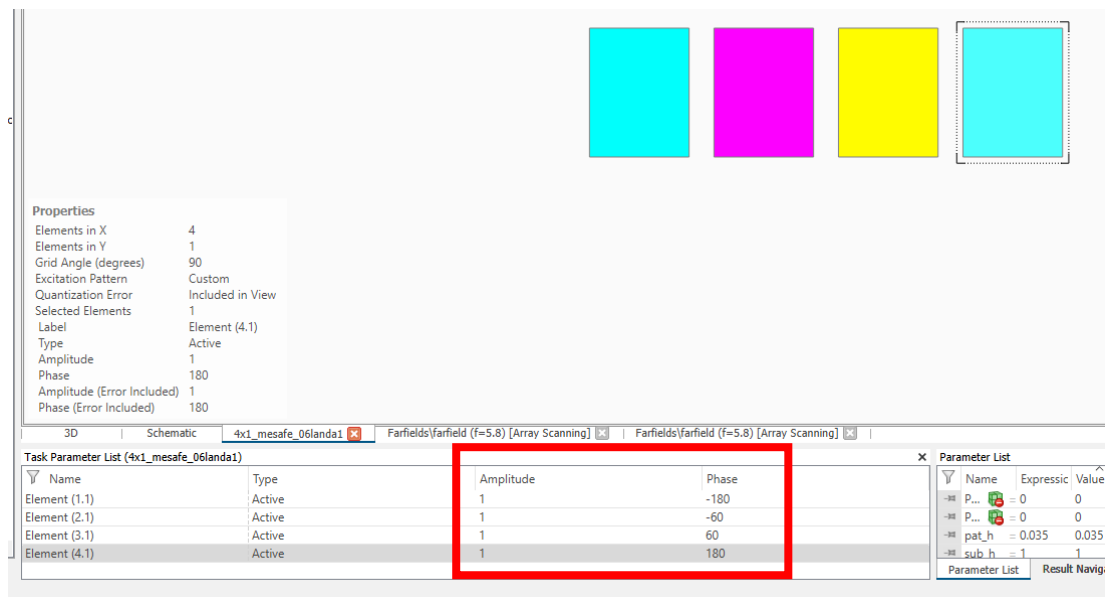
Şekil 5.11 Dizi parametreleri ayarlama ekranı

XII. Dizi için istediğimiz ayarları yaptıktan sonra programın diziyi oluşturması için “Create Full Array Simulation Project” kısmına tıklıyoruz. Dizi parametrelerinde değişiklik yapmak içinse “Array Layout” kısmını seçiyoruz.



Şekil 5.12 Dizi oluşturma ve dizi parametreleri düzenleme seçim ekranı

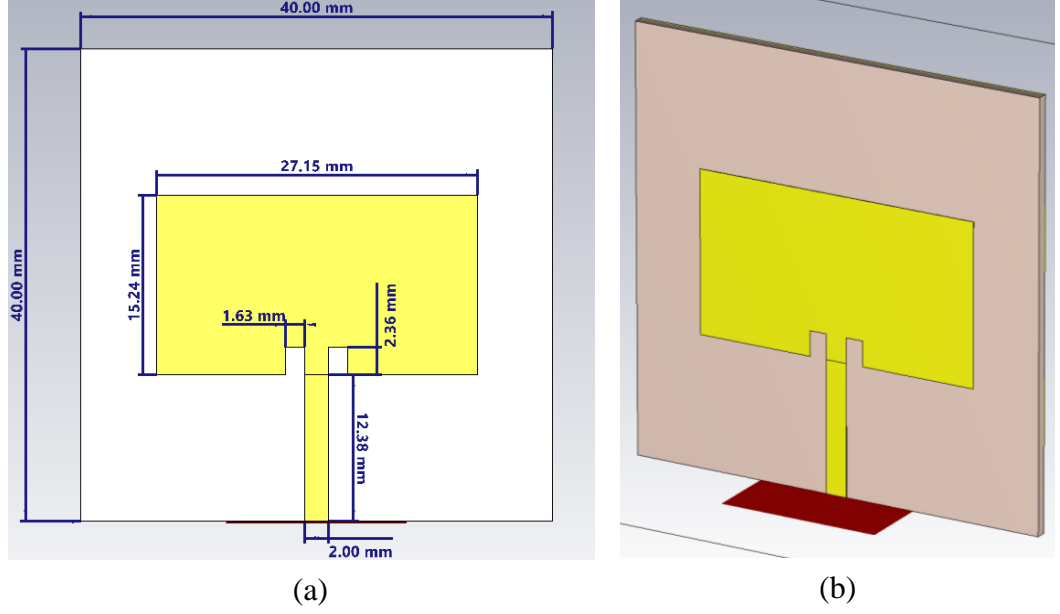
XIII. Dizi portları arasındaki fazı ve genliği ayarlamak için aşağıdaki kısmı kullanıyoruz.



Şekil 5.13 Dizi faz ayarlama ekranı

6. MİKROŞERİT YAMA ANTEN DİZİSİ TASARIMI VE SİMÜLASYONU

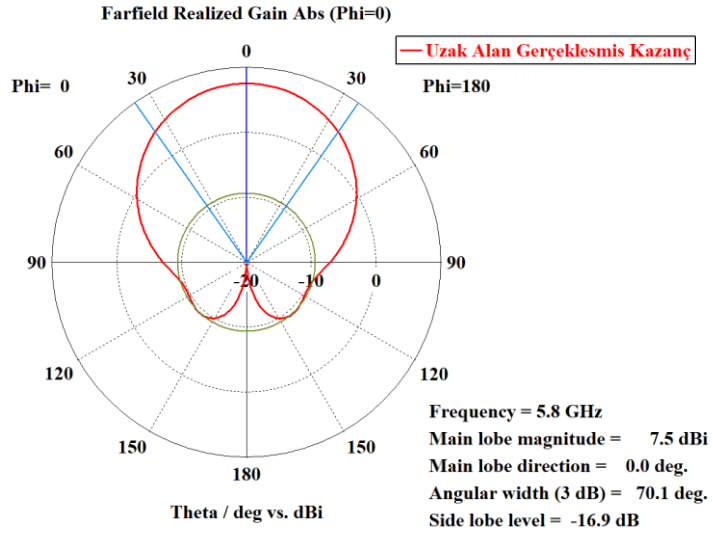
6.1. Dizisi Yapılacak MYA'nın Tasarımı ve Simülasyonu



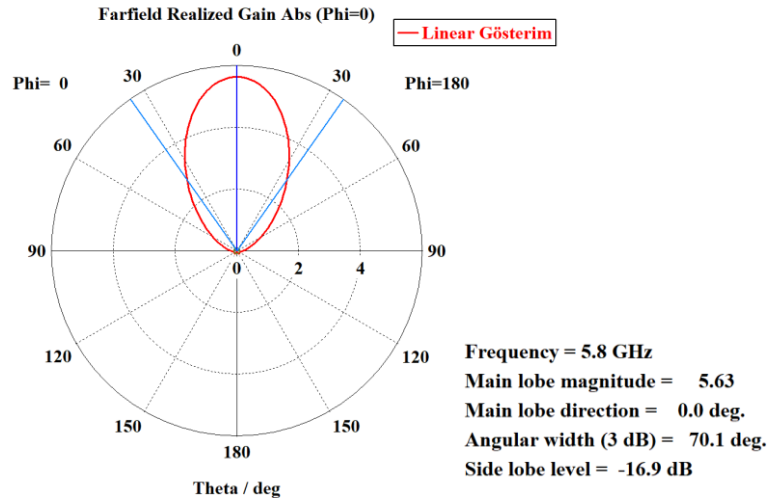
Şekil 6.1 5.8 Ghz Mikroşerit Anten Tasarımı a) önden b) perspektif görüntüsü

Anten Ölçütleri	En x Boy (mm)	40x40
W	Alt katman yama genişliği (mm)	27.15
L	Yama Boyu (mm)	15.24
Dielektrik malzeme	Tür	Taconic TLX-8
Dielektrik malzeme yükseliği (h)	Yükseklik (mm)	1.0
ϵ_r	Dielektrik sabiti	2.55
$\tan\delta$	Dielektrik kayıp tanjantı	0.0017

Tablo 1 5.8 Ghz Mikroşerit yama anten tasarım ölçütleri

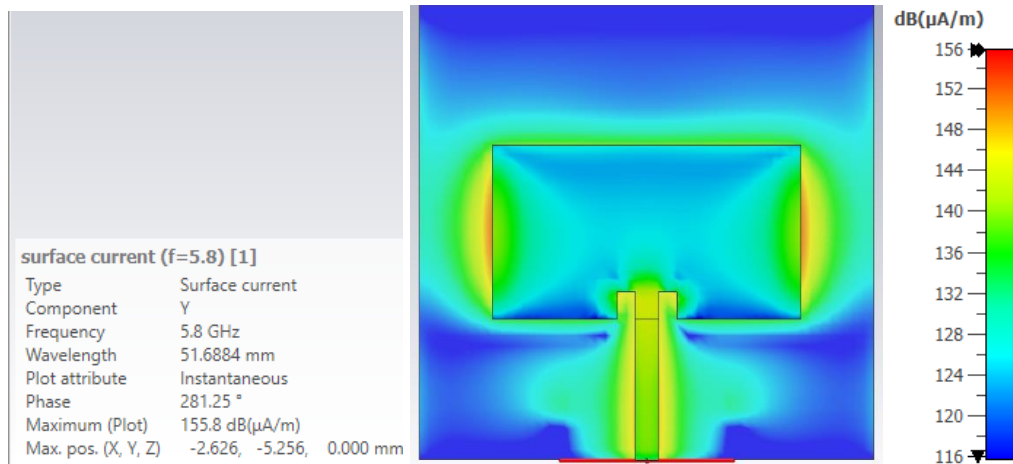


(a)

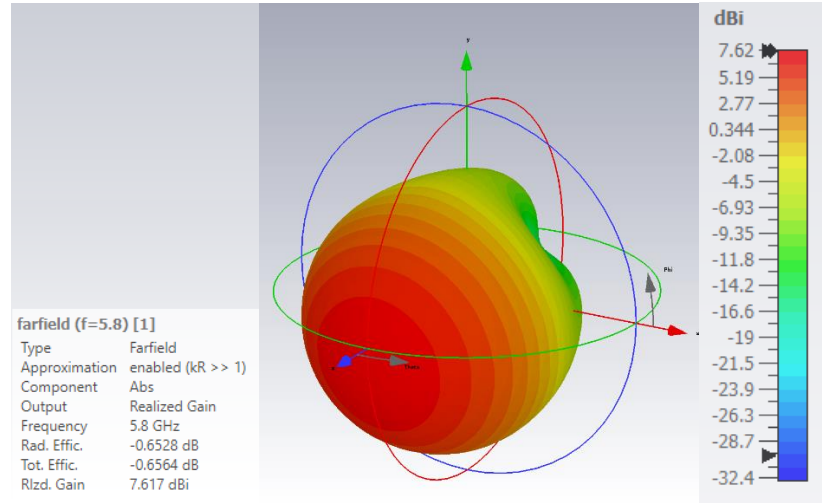


(b)

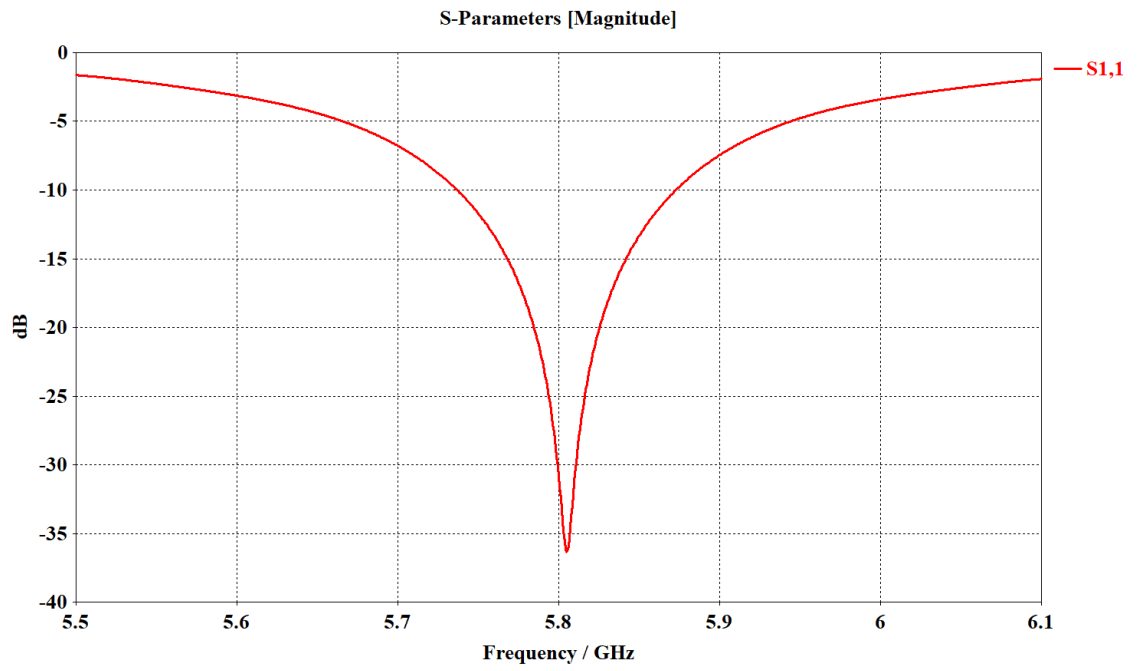
Şekil 6.2 2x1 5.8 GHz MYA'nın polar kazanç diyagramı (a) Doğrusal (b) Lineer gösterim



Şekil 6.3 5.8 GHz MYA'nın yüzey akım dağılımı



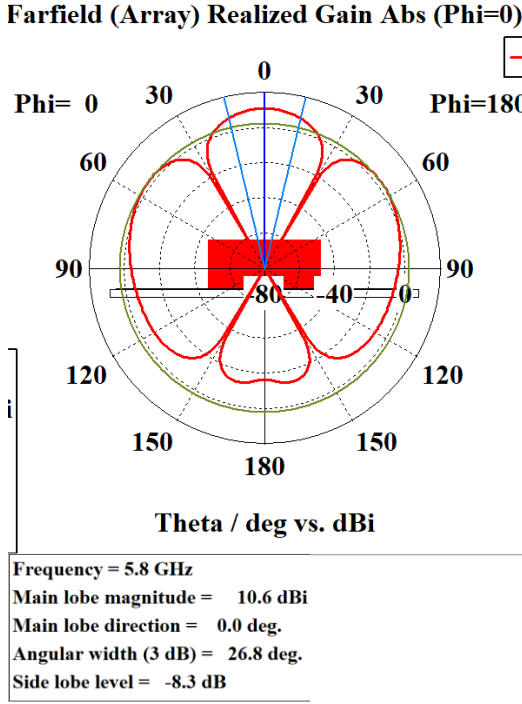
Şekil 6.4 5.8 GHz MYA'nin 3D Kazanç Gösterimi



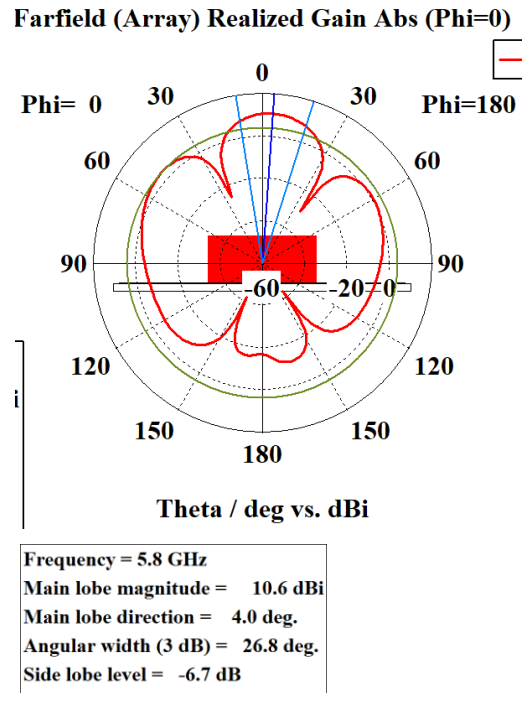
Şekil 6.5 5.8 GHz MYA'nin S_{11} Grafiği

6.2. Array Factor Kullanılarak 2x1 Dizi oluşturma

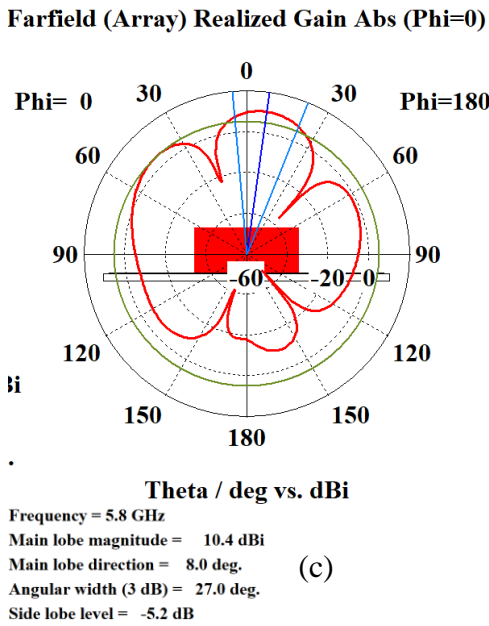
Antenler arasındaki mesafenin λ ve doğrusal faz dağılımının 0-30-60 ve 90 olduğu durumların incelenmesi;



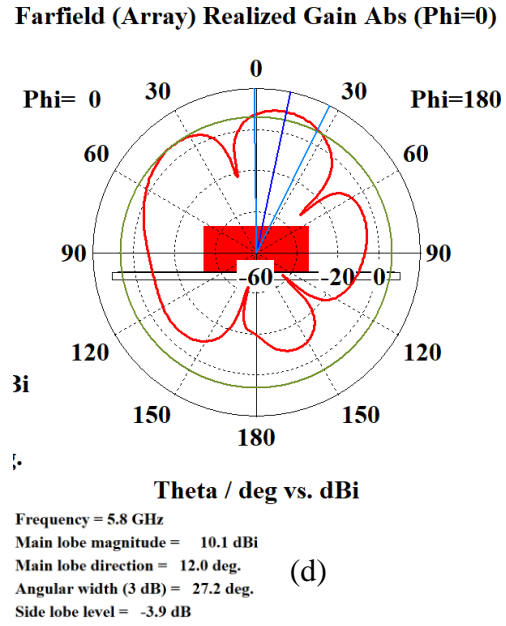
(a)



(b)

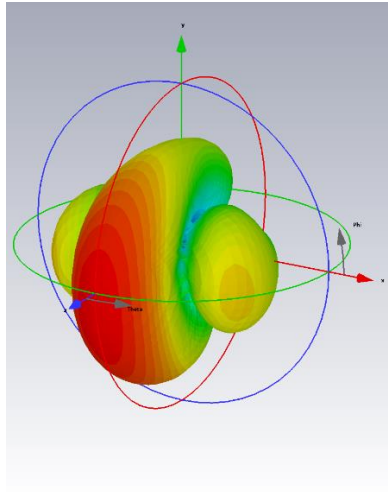


(c)



(d)

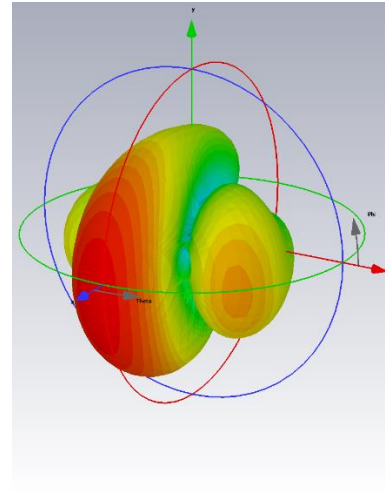
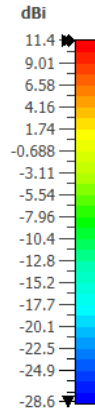
Şekil 6.6 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan diyagramlar (a) 0 (b) 30 (c) 60 ve (d) 90 derece faz dağılımı



farfield (f=5.8) [1]

Type	Farfield (Array)
Approximation	enabled (kR >> 1)
Component	Abs
Output	Directivity
Frequency	5.8 GHz
Rad. Effic.	-0.6347 dB
Tot. Effic.	-0.6385 dB
Dir.	11.43 dBi

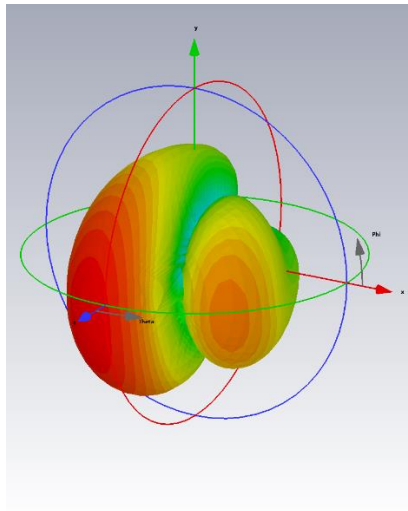
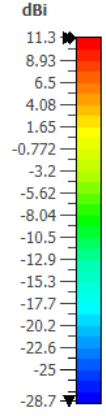
(a)



farfield (f=5.8) [1]

Type	Farfield (Array)
Approximation	enabled (kR >> 1)
Component	Abs
Output	Directivity
Frequency	5.8 GHz
Rad. Effic.	-0.6347 dB
Tot. Effic.	-0.6385 dB
Dir.	11.35 dBi

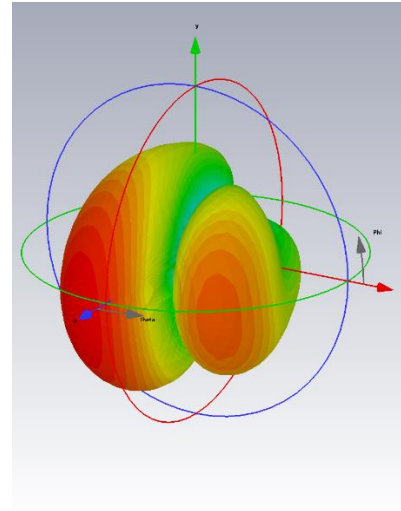
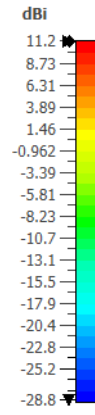
(b)



farfield (f=5.8) [1]

Type	Farfield (Array)
Approximation	enabled (kR >> 1)
Component	Abs
Output	Directivity
Frequency	5.8 GHz
Rad. Effic.	-0.6347 dB
Tot. Effic.	-0.6385 dB
Dir.	11.16 dBi

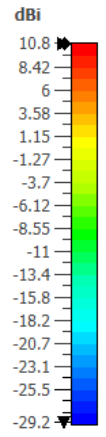
(c)



farfield (f=5.8) [1]

Type	Farfield (Array)
Approximation	enabled (kR >> 1)
Component	Abs
Output	Directivity
Frequency	5.8 GHz
Rad. Effic.	-0.6347 dB
Tot. Effic.	-0.6385 dB
Dir.	10.85 dBi

(d)

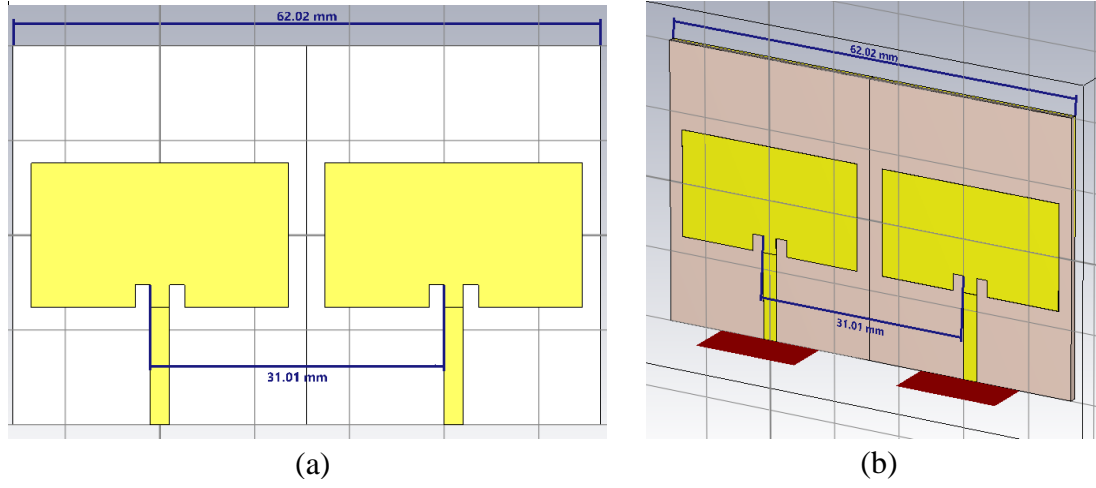


Şekil 6.7 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan 3D ışıma diyagramları (a) 0 (b) 30 (c) 60 ve (d) 90 derece faz dağılımı

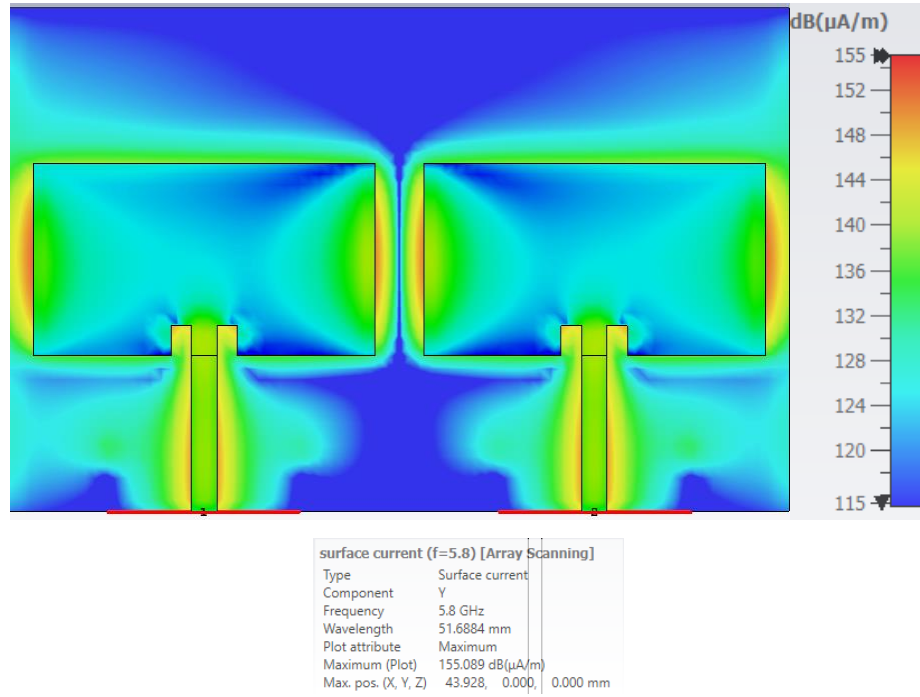
6.3. Array Task Kullanılarak 2x1 Dizi oluşturma

Antenler arasındaki mesafenin (d) 0.6λ , doğrusal faz dağılımının $\Delta\psi = 0-30-60-90-120-180$ olduğu ve farklı port genliklerinin olduğu durumların incelenmesi;

6.3.1. 2x1 Dizi Tasarımı

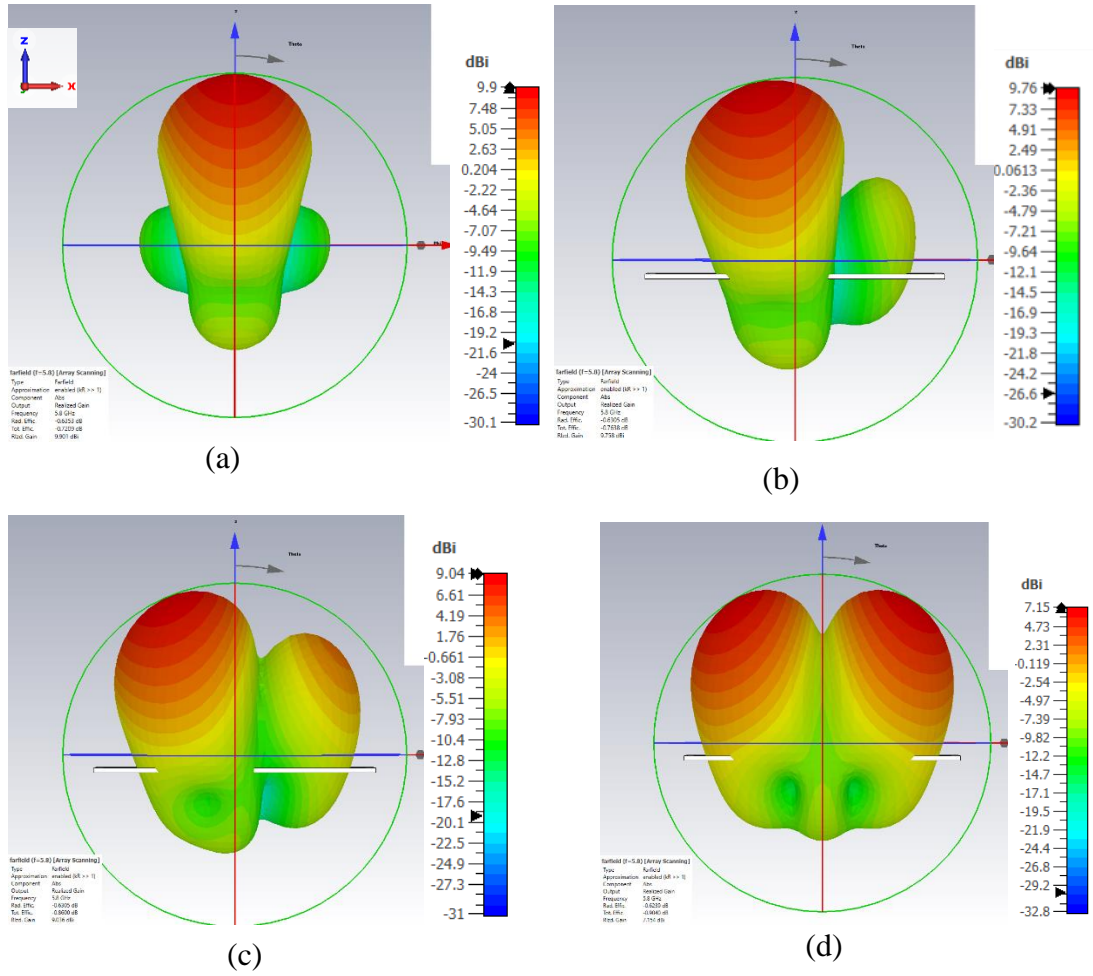


Şekil 6.8 2x1 MYA (a) ön (b) perspektif görüntüsü

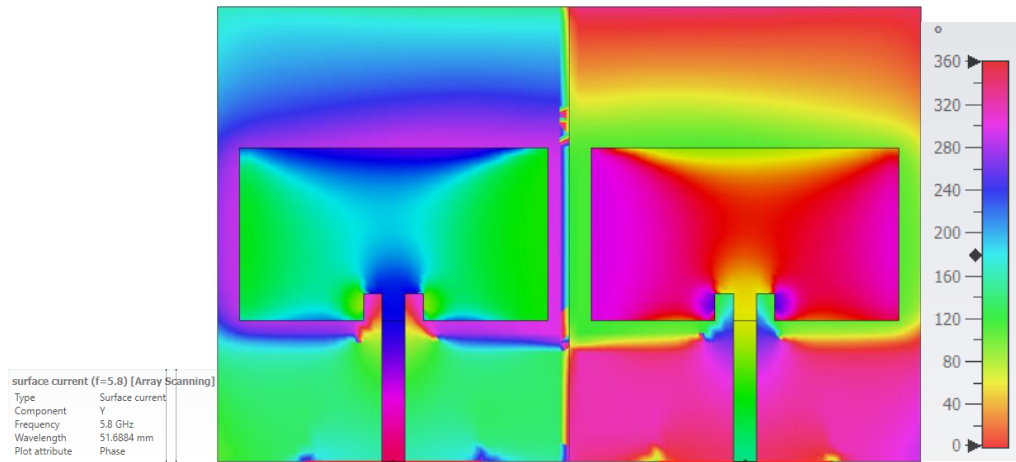


Şekil 6.9 2x1 5.8 GHz MYA'nin yüzey akım dağılımı

6.3.2. Port1 ve Port2'nin Genliklerinin 1 Olması Durumu

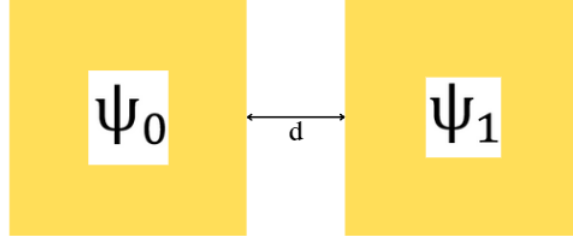


Şekil 6.10 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan 3D kazanç diyagramları (a) 0 (b) 60 (c) 120 ve (d) 180 derece faz dağılımı



Şekil 6.11 5.8 GHz 2x1 MYA'nın yüzey faz dağılımları

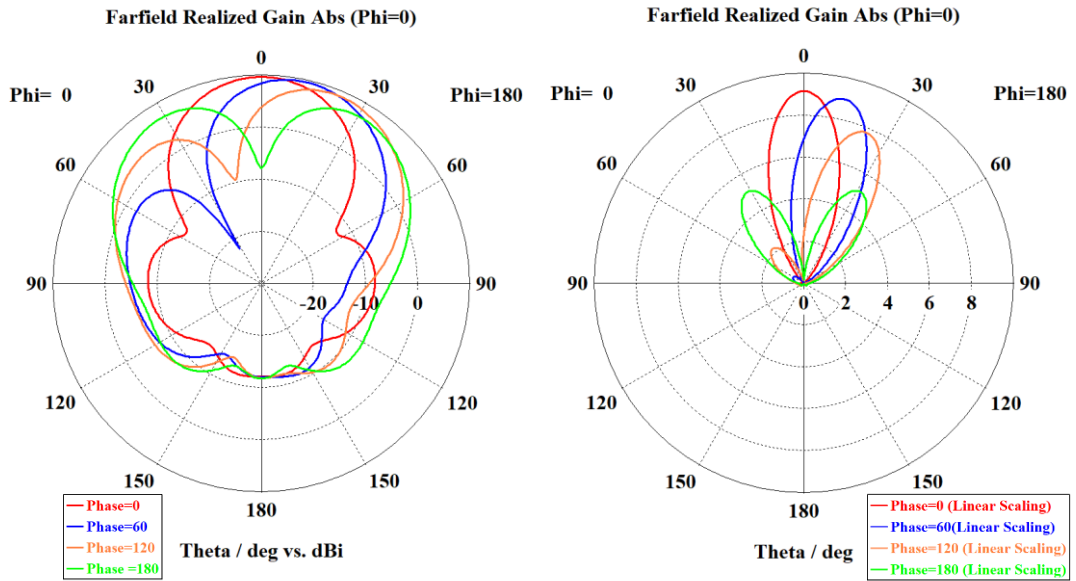
Şekil 6.10’da verilen yüzey faz dağılımları diyagramında örnek olarak $\psi_0 = 0$ ve $\psi_1 = 180$ doğrusal faz dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 6.12 Dizi anten üzerinde doğrusal faz dağılımının gösterimi

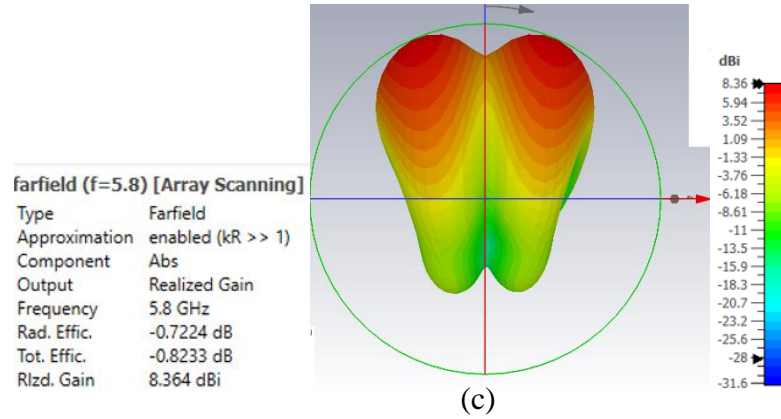
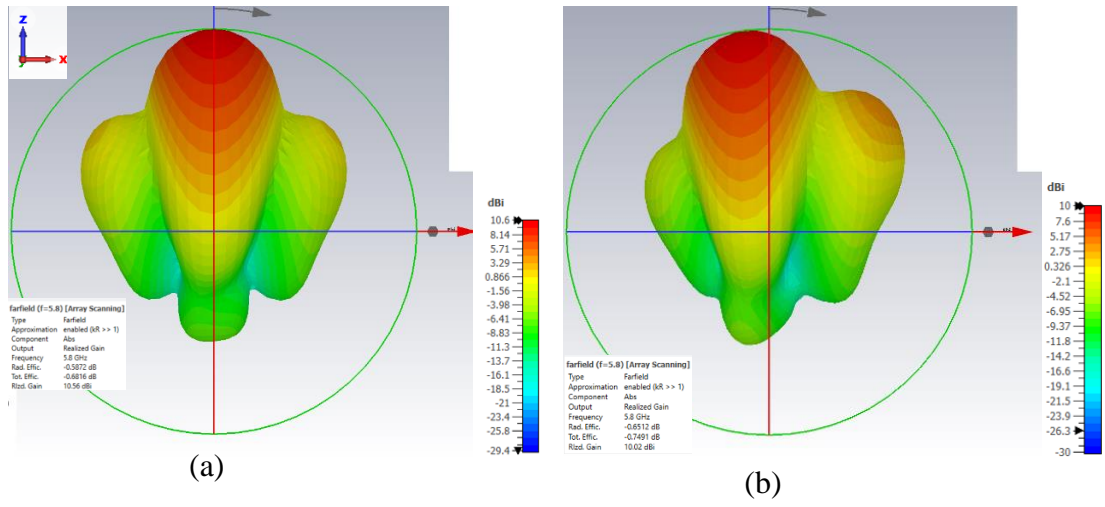
Doğrusal Faz Dağılımı			Hüzme Genişliği (3dB) (°)	Gerçekleşmiş Kazanç(dBi)	Ana Lob Yönü (°)	Antenler Arası Mesafe (d) (λ)
ψ_0	ψ_1	$\Delta\psi$				
0	0	0	41.6	9.9	0	
0	60	60	41.3	9.75	12	
0	120	120	40.4	9.0	23	
0	180	180	39.8	7.18	32	

Tablo 2. 5.8 GHz 2x1 MYA’nin doğrusal faz dağılımına göre elde edilen hüzme genişliği, kazanç ve ana lob yönü sonuçları



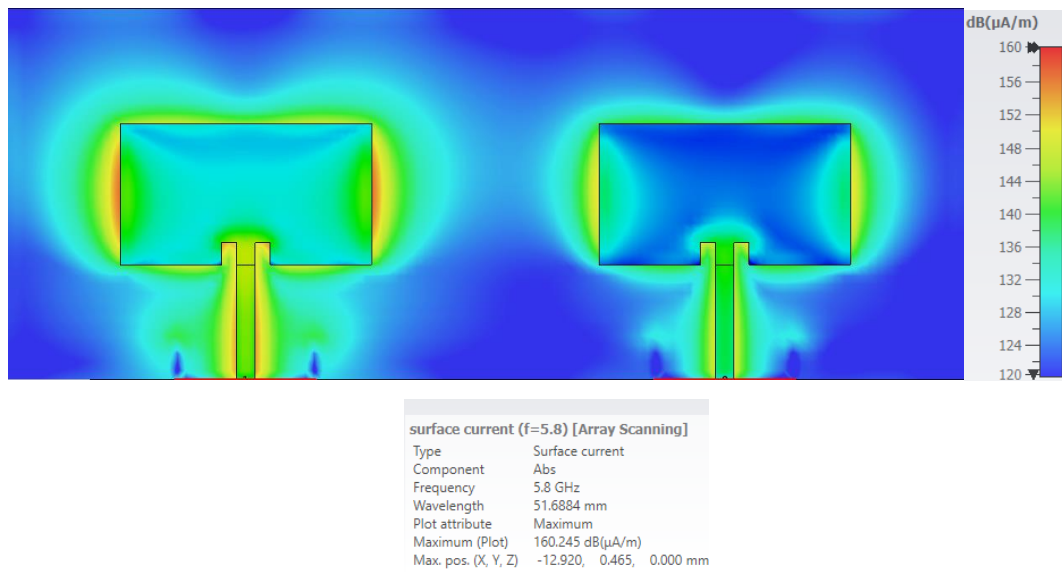
Şekil 6.13 Doğrusal Faz Dağılımının Ardından Oluşan 2x1 5.8 GHz Antenin Polar Kazanç Diyagram

6.3.3. Portlar Arası Genlik Farkının 2/1 Olduğu Durum

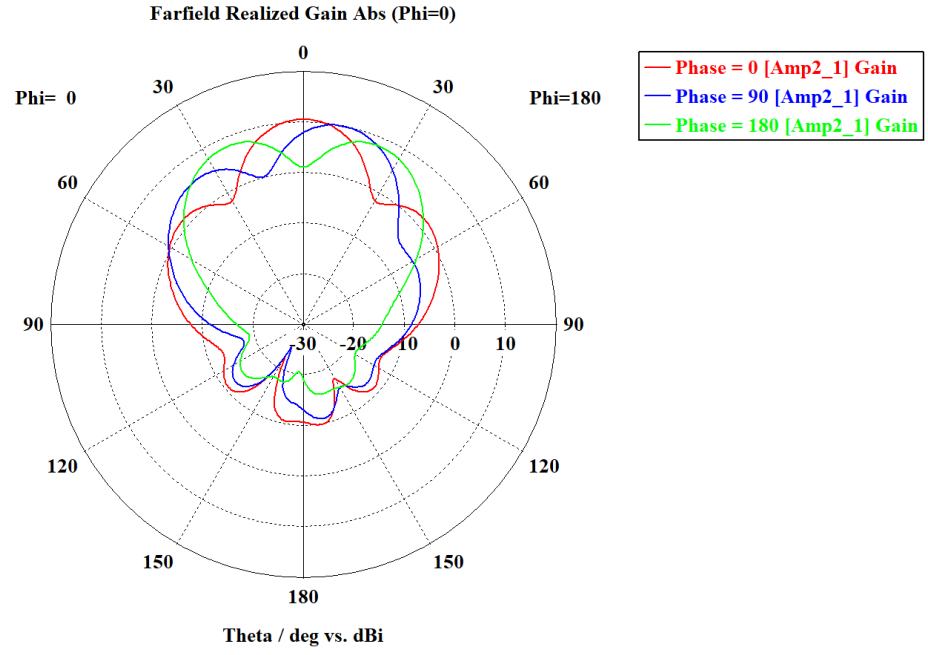


Şekil 6.14 Faz Kaydırmanın Ardından Oluşan 3D Işıma Diyagramları a) 0 b) 60

c) 180 Derece Faz Kayması

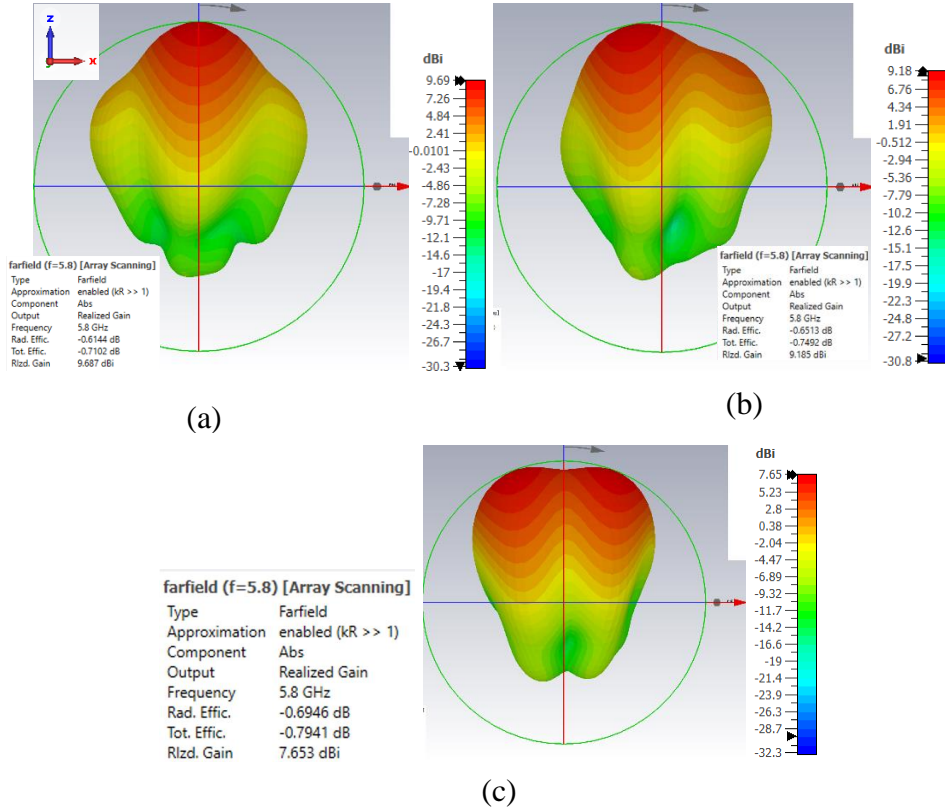


Şekil 6.15 2x1 5.8 GHz MYA'nın $Genlik_1=2$ ve $Genlik_2 = 1$ Olduğu Durumdaki Yüzey Akım Dağılımı

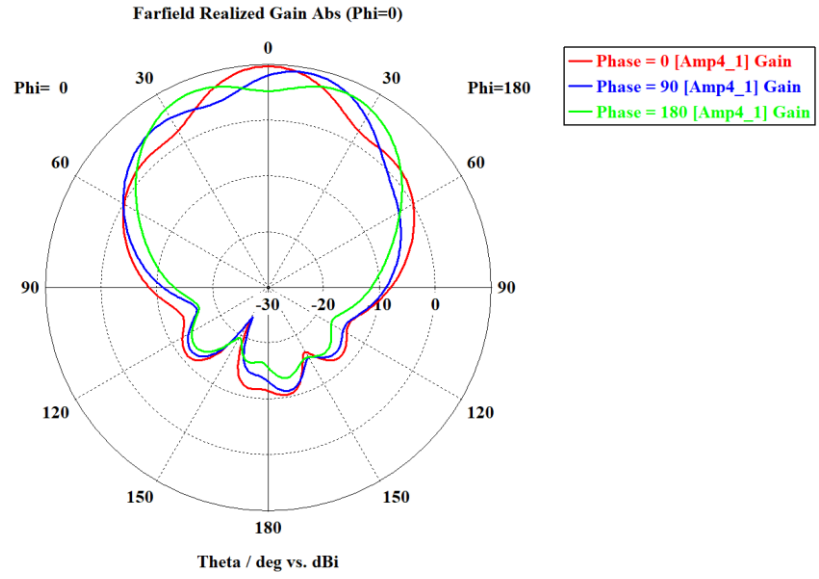


Şekil 6.16 Doğrusal Faz Dağılımının Ardından Oluşan 2x1 5.8 GHz Antenin Polar Işıma Diyagramı

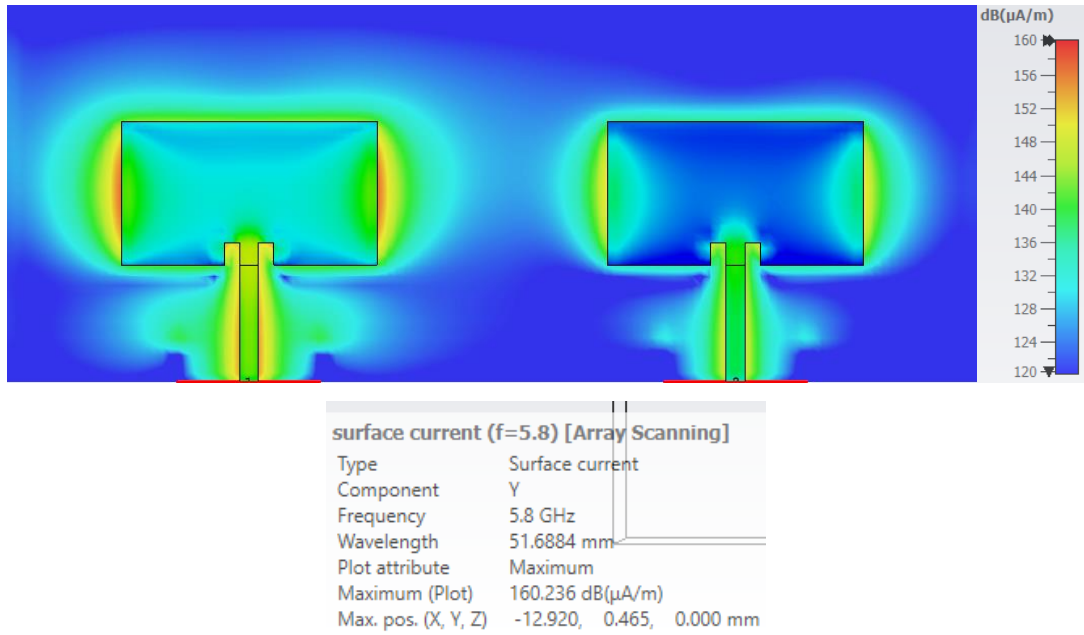
6.3.4. Portlar Arası Genlik Farkını 4/1 Olduğu Durum



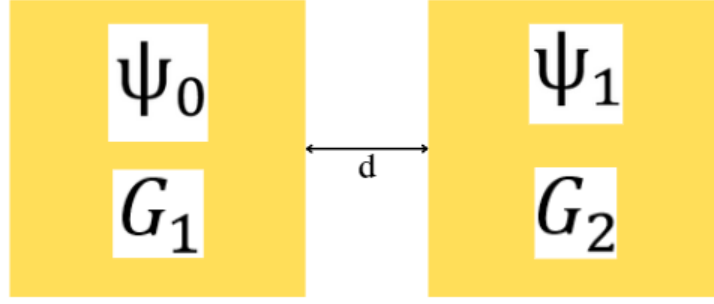
Şekil 6.17 Doğrusal Faz Dağılımının Ardından Oluşan 2x1 5.8 GHz Antenin 3D Işıma Diyagramları a) 0 b) 90 c) 180 Derece Faz Kayması



Şekil 6.18 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan 2x1 5.8 GHz MYA'nın polar ışınım diyagramı



Şekil 6.19 2x1 5.8 GHz MYA'nın $Genlik_1=4$ ve $Genlik_2 = 1$ Olduğu Durumdaki Yüzey Akım Dağılımı



Şekil 6.20 Dizi Anten Üzerinde Doğrusal Faz Dağılımının ve Portlardaki Genlik Dağılımının Gösterimi

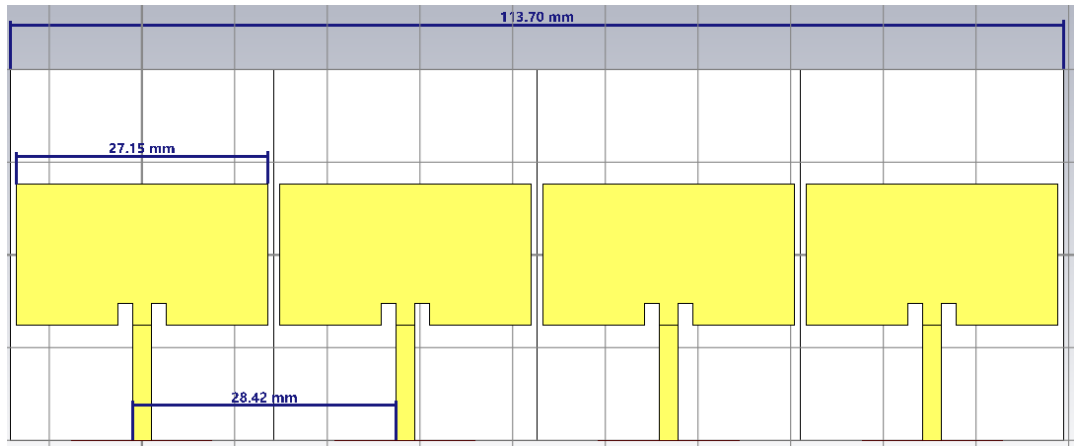
Doğrusal Faz Dağılımı			Portlardaki Genlik Oranı		Hüzme Genişliği (3dB) (°)	Gerçekleşmiş Kazanç(dBi)	Ana Lob Yönü (°)	Antenler Arası Mesafe (d) (λ)
ψ_0	ψ_1	$\Delta\psi$	G_1	G_2				
0	0	0	2	1	28.4	10.6	0	1
0	90	90			28.7	10	11	
0	180	180			30	8.36	23	
0	0	0	4	1	33.2	9.69	0	
0	90	90			34.4	9.18	10	
0	180	180			79.5	7.65	21	

Tablo 3. 5.8 GHz 2x1 MYA dizisinin doğrusal faz dağılımı ve farklı genlik oranlarına göre hüzme genişliği, kazanç ve ana lob yönü sonuçları

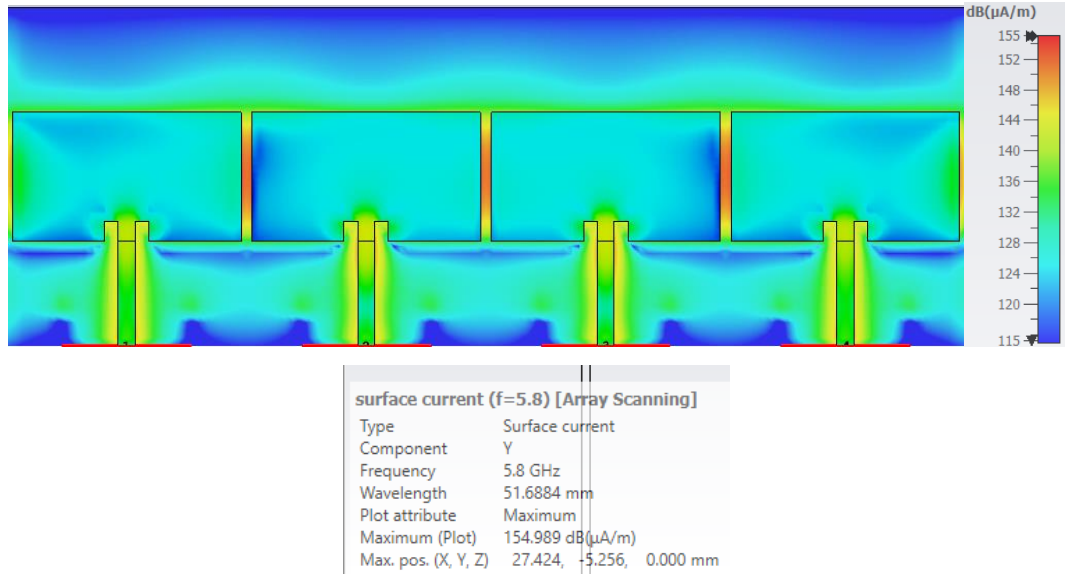
6.4. “Array Task” Kullanarak 4x1 Dizi Oluşturma

Antenler arasındaki mesafenin 0.55λ ve doğrusal faz dağılımının $\Delta\psi = 0-30-60-90-120-150-180$ olduğu durumların incelenmesi;

6.4.1. 4x1 Dizi Tasarımı

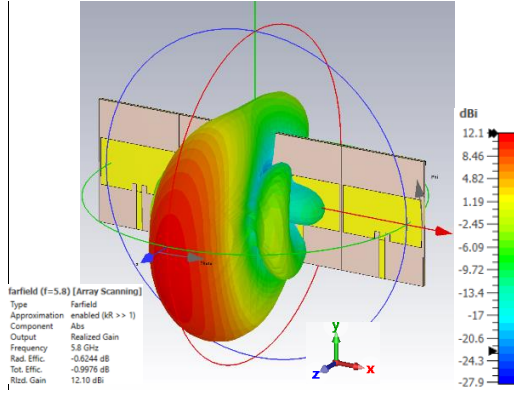


Şekil 6.21 4x1 MYA tasarımı ön görüntüsü

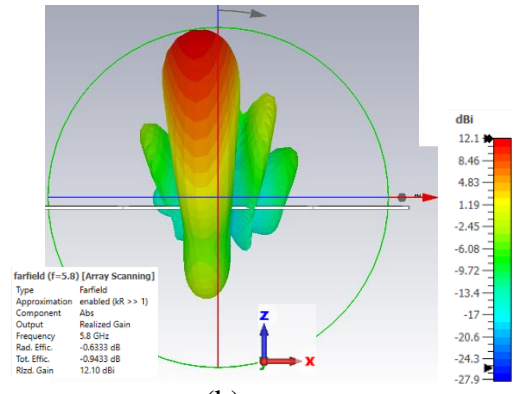


Şekil 6.22 4x1 5.8 GHz MYA’nin Yüzey Akım Dağılımı

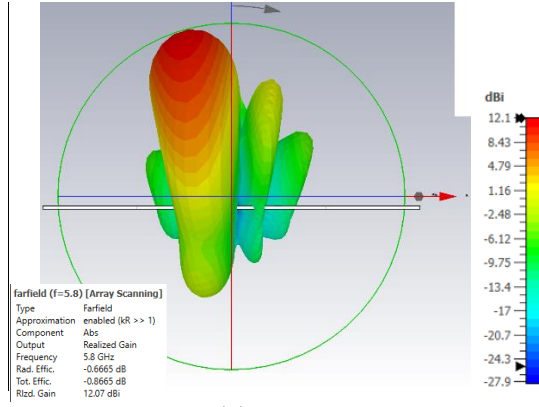
6.4.2. Dizi Üzerinde Doğrusal Faz Dağılımının Yapılması



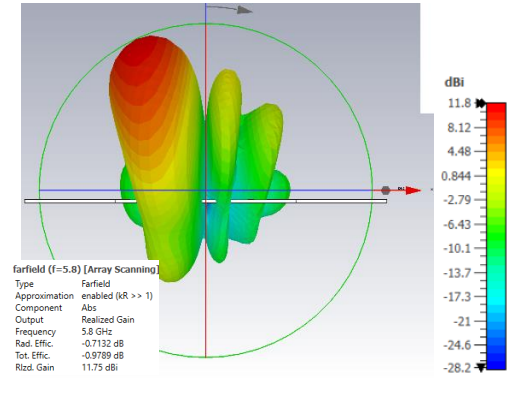
(a)



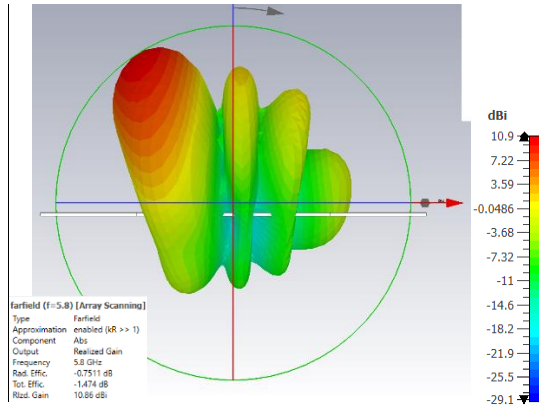
(b)



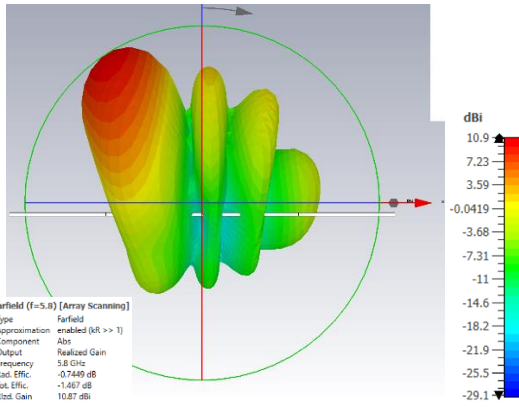
(c)



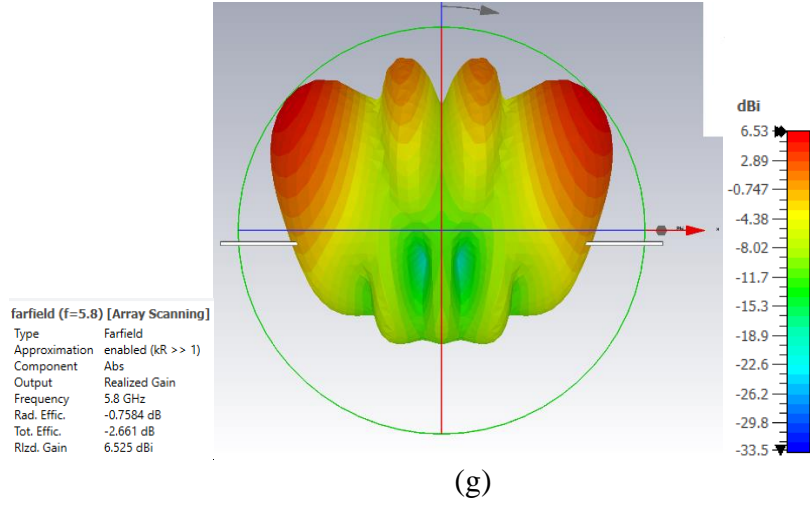
(d)



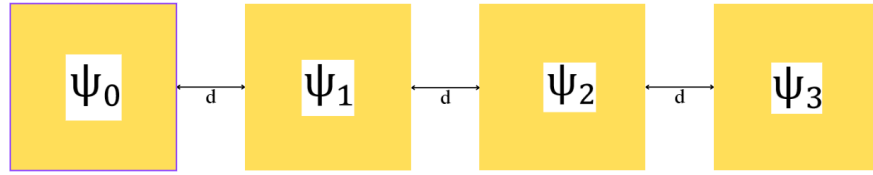
(e)



(f)



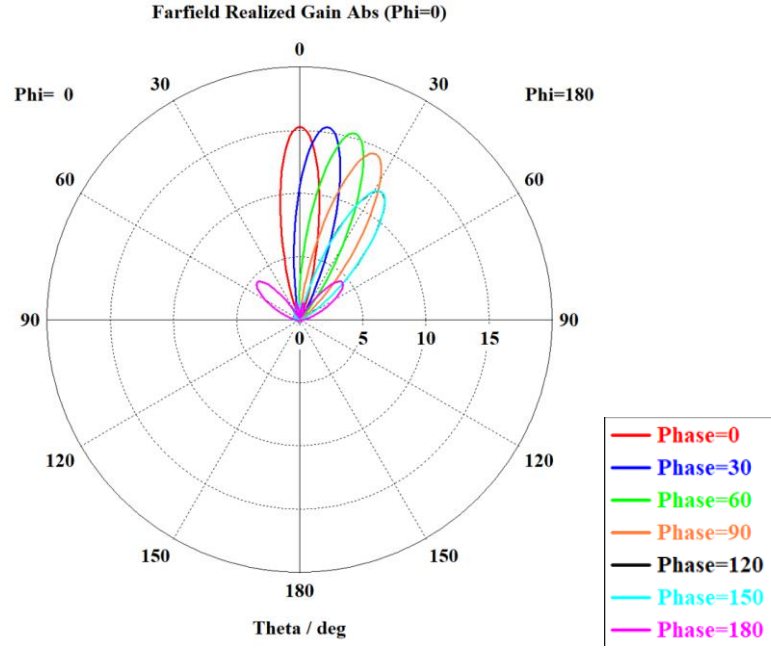
Şekil 6.23 Doğrusal faz dağılımının ardından Oluşan 4x1 5.8 GHz MYA'nın 3D kazanç diyagramı. (a) 0 (b) 30 (c) 60 (d) 90 (e) 120 (f) 150 (g) 180 derece faz dağılımı



Şekil 6.24 Dizi Anten Üzerinde Doğrusal Faz Dağılımının Gösterimi

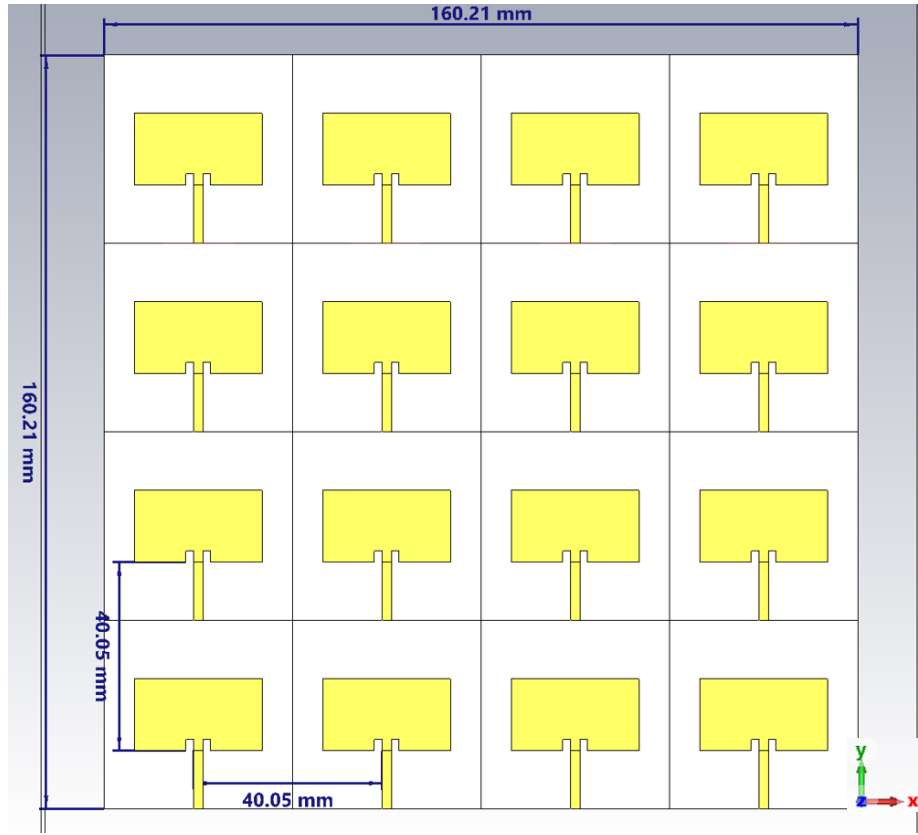
Doğrusal Faz Dağılımı					Hüzme Genişliği (3dB) (°)	Gerçekleşmiş Kazanç(dBi)	Ana Lob Yönü (°)	Antenler Arası Mesafe (d) (λ)
ψ_0	ψ_1	ψ_2	ψ_3	$\Delta\psi$				
0	0	0	0	0	22.5	12.10	0	0.55
-45	-15	15	45	30	22.8	12.10	8	
-90	-30	30	90	60	23.5	12.07	17	
-135	-45	45	135	90	24.5	11.75	25	
-180	-60	60	180	120	25.7	10.86	32	
-225	-75	75	225	150	25.7	10.87	33	
-180	-90	90	180	180	28.8	6.5	49	

Tablo 4 5.8 GHz 4x1 MYA dizisinin doğrusal faz dağılımına göre hüzme genişliği, kazanç ve ana lob yönü sonuçları

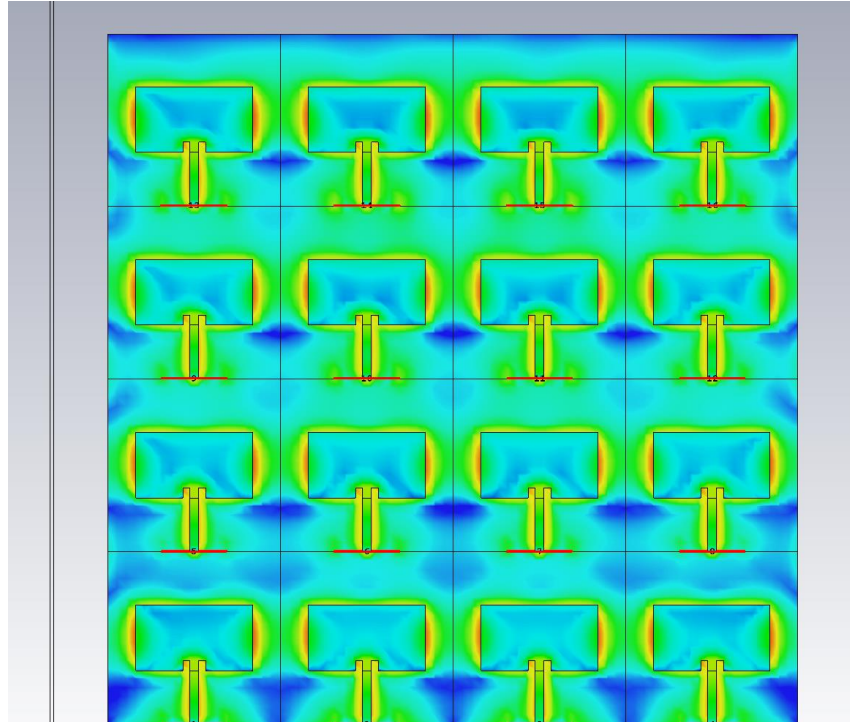


Şekil 6.25 Doğrusal Faz Dağılımının Ardından Oluşan 2x1 5.8 GHz Antenin Polar Işıma Diyagramı

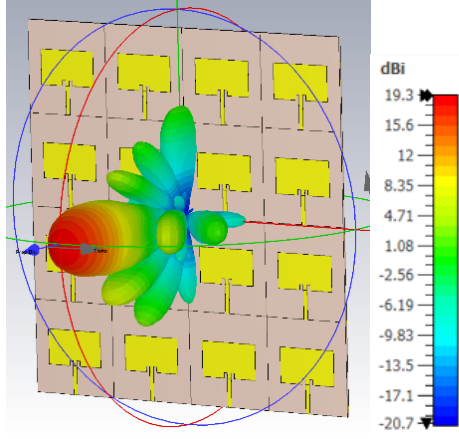
6.5.“Array Task” Kullanarak 4x4 Dizi Oluşturma



şekil 6.26 4x4 MYA dizi tasarımı ön görüntüsü



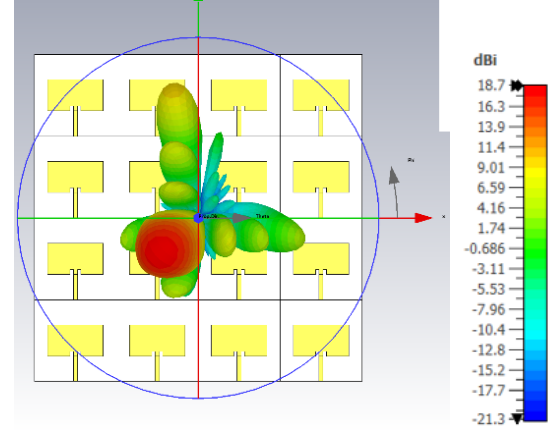
şekil 6.27 4x4 MYA dizisinin yüzey akım dağılımı



farfield (f=5.8) [Array Scanning]

Type	Farfield
Approximation	enabled ($kR \gg 1$)
Component	Abs
Output	Realized Gain
Frequency	5.8 GHz
Rad. Effic.	-1.260 dB
Tot. Effic.	-1.309 dB
Rlzd. Gain	19.26 dBi

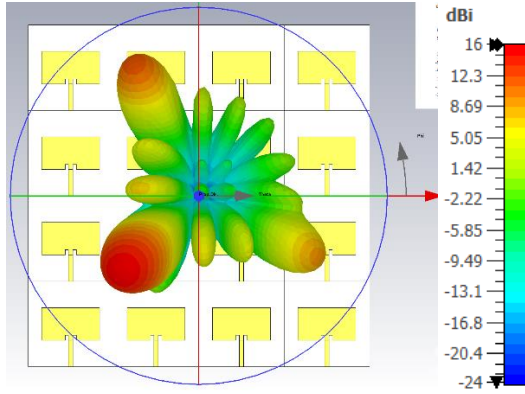
(a)



farfield (f=5.8) [Array Scanning]

Type	Farfield
Approximation	enabled ($kR \gg 1$)
Component	Abs
Output	Realized Gain
Frequency	5.8 GHz
Rad. Effic.	-0.4643 dB
Tot. Effic.	-0.5699 dB
Rlzd. Gain	18.71 dBi

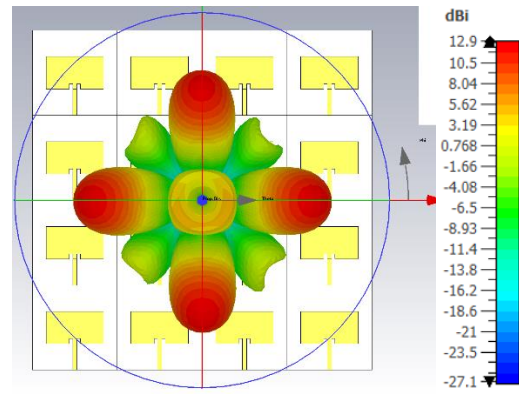
(b)



farfield (f=5.8) [Array Scanning]

Type	Farfield
Approximation	enabled ($kR \gg 1$)
Component	Abs
Output	Realized Gain
Frequency	5.8 GHz
Rad. Effic.	-0.7810 dB
Tot. Effic.	-0.9594 dB
Rlzd. Gain	15.96 dBi

(c)

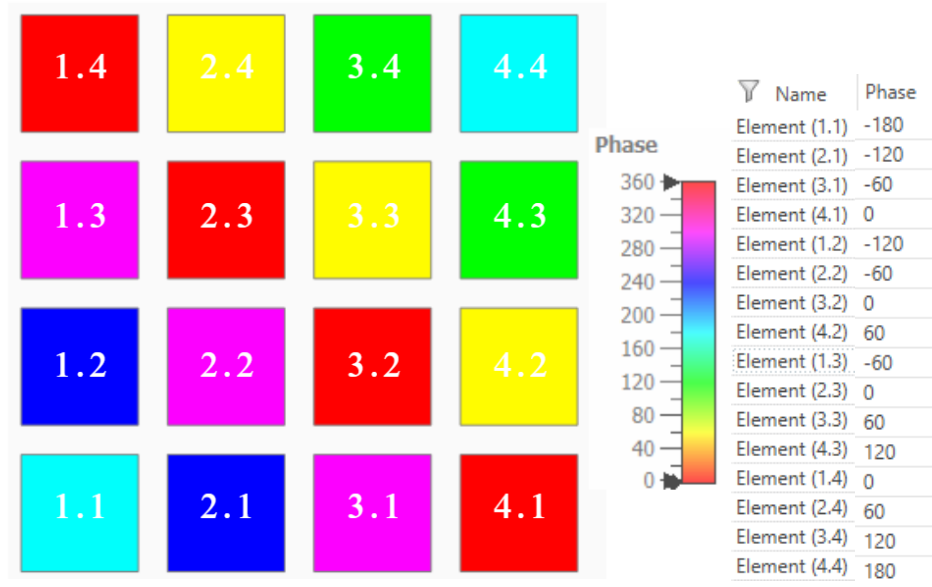


farfield (f=5.8) [Array Scanning]

Type	Farfield
Approximation	enabled ($kR \gg 1$)
Component	Abs
Output	Realized Gain
Frequency	5.8 GHz
Rad. Effic.	-0.9276 dB
Tot. Effic.	-1.127 dB
Rlzd. Gain	12.89 dBi

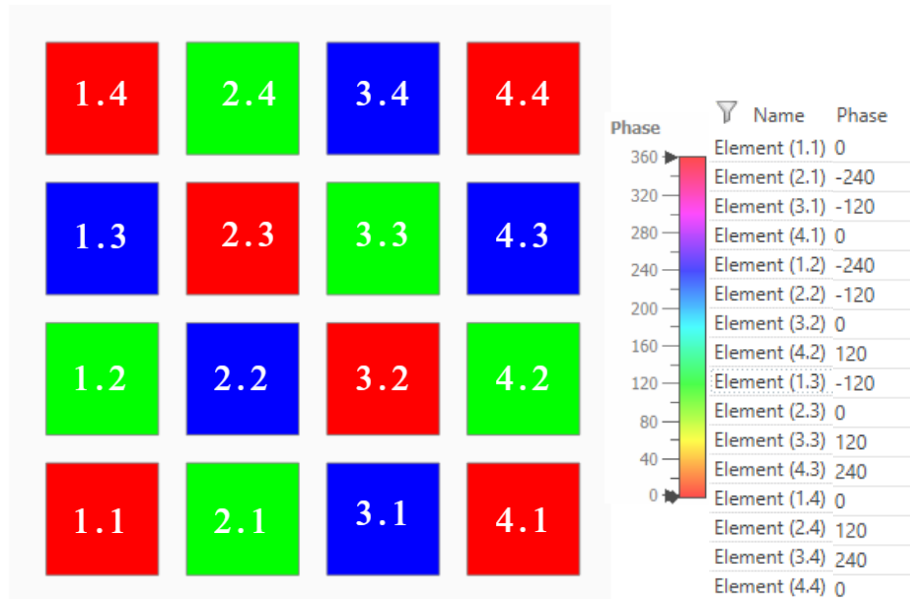
(d)

Şekil 6.28 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan 4x4 5.8 GHz MYA'nın 3D kazanç diyagramı. (a) 0 (b) 60 (c) 120 (d) ise farklı derecelerdeki faz dağılımı



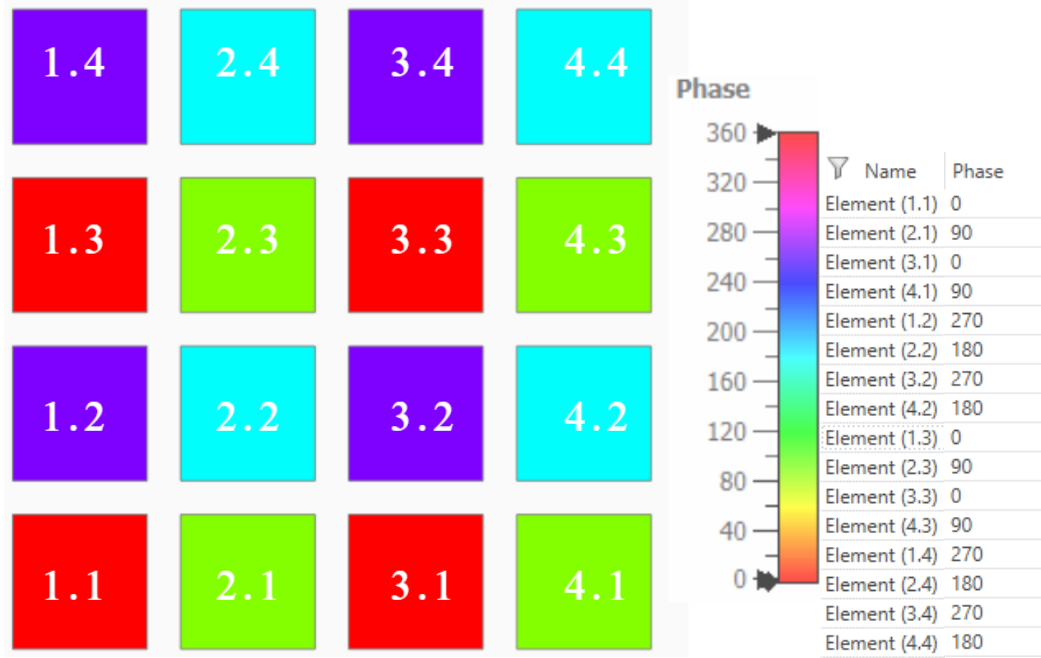
Şekil 6.29 4x4 MYA Dizisi İçin Doğrusal Faz Dağılımı Diyagramı

Şekil 6.29 4x4 MYA dizisi için doğrusal faz dağılımı gösterilmiştir. Antenler arası mesafe (d) 0.7λ olarak ayarlanmış, faz dağılımı ardışık olarak X ve Y eksenindeki antenler arasında 60° olarak verilmiştir. Hüzme genişliği 16.7° ve kazanç 18.71 dBi olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 6.30 4x4 MYA Dizisi İçin Doğrusal Faz Dağılımı Diyagramı

Şekil 6.30’da 4x4 MYA dizisi için doğrusal faz dağılımı gösterilmiştir. Faz dağılımı ardışık olarak X ve Y eksenindeki antenler arasında 120° olarak verilmiştir. Hüzme genişliği 18.2° ve kazanç 15.96 dBi olarak gözlemlenmiştir.



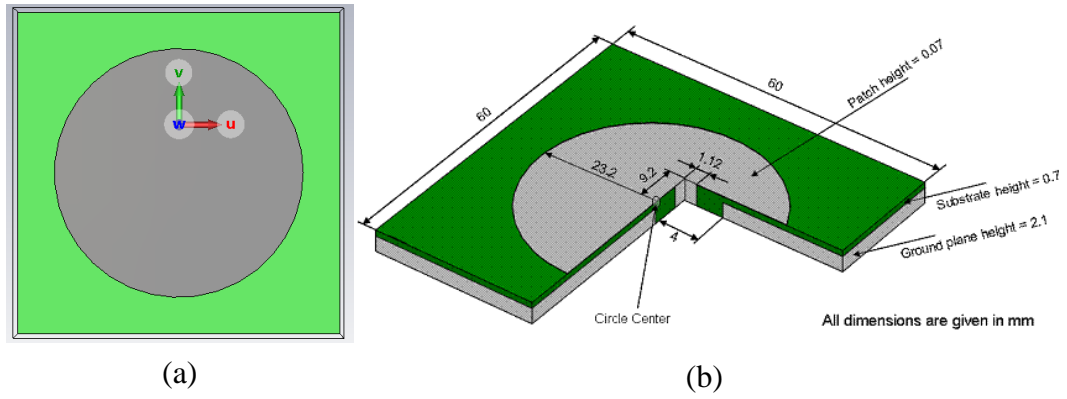
Şekil 6.31 4x4 MYA Dizisi İçin Doğrusal Faz Dağılımı Diyagramı

Şekil 6.31’de 4x4 MYA dizisi için doğrusal faz dağılımı gösterilmiştir. Ana lobu 4 eşit kazanç elde edilecek şekilde faz dağılımları yapılmıştır. Hüzme genişliği $\Theta=45^\circ$ yönünden bakıldığında 24.7 ve kazanç 12.89 dBi olarak gözlemlenmiştir.

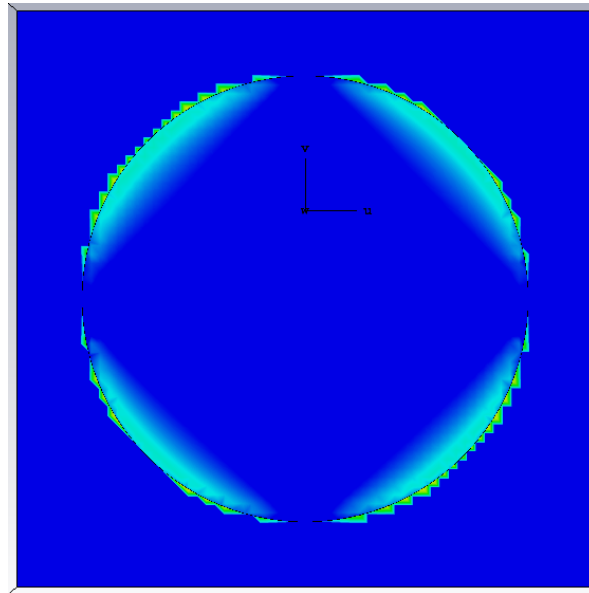
6.6. 2.4 GHz 16x16 Sekizgen Geometrilili Dizi Simülasyonu

Antenler arasındaki mesafenin (d) 0.5λ , doğrusal faz dağılımının $\Delta\psi_x = 0-90-170$ olduğu durumlar incelenmiştir. Yan lobların azaltmak maksatı ile sekizgen bir geometri tercih edilmiştir. MYA'nın beslemesi için eş eksenli besleme yöntemi kullanılmıştır.

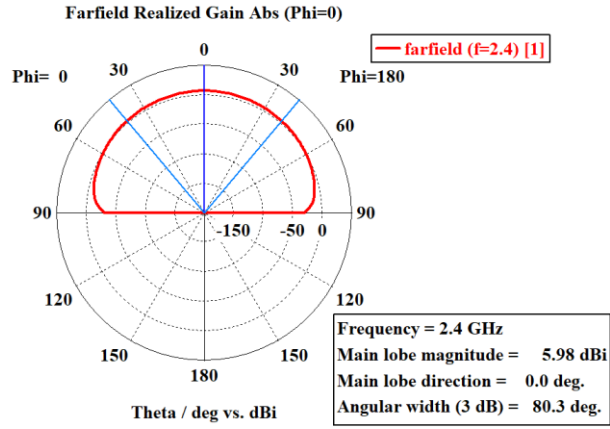
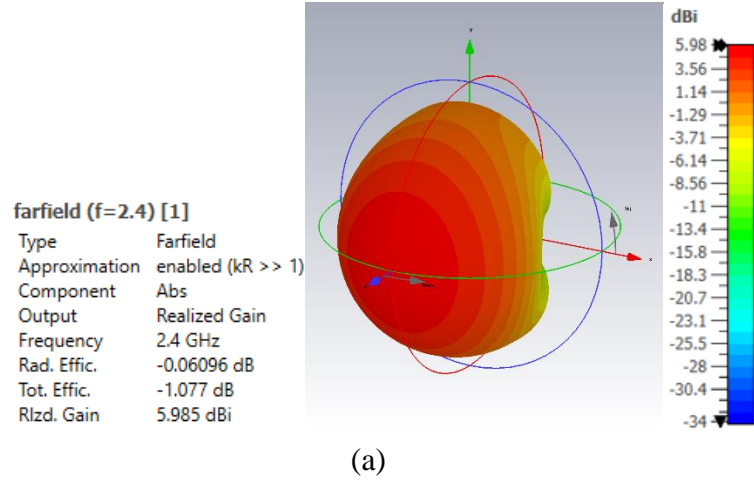
6.6.1. Dizisi Yapılacak 2.4 GHz MYA'nın Tasarım Parametreleri



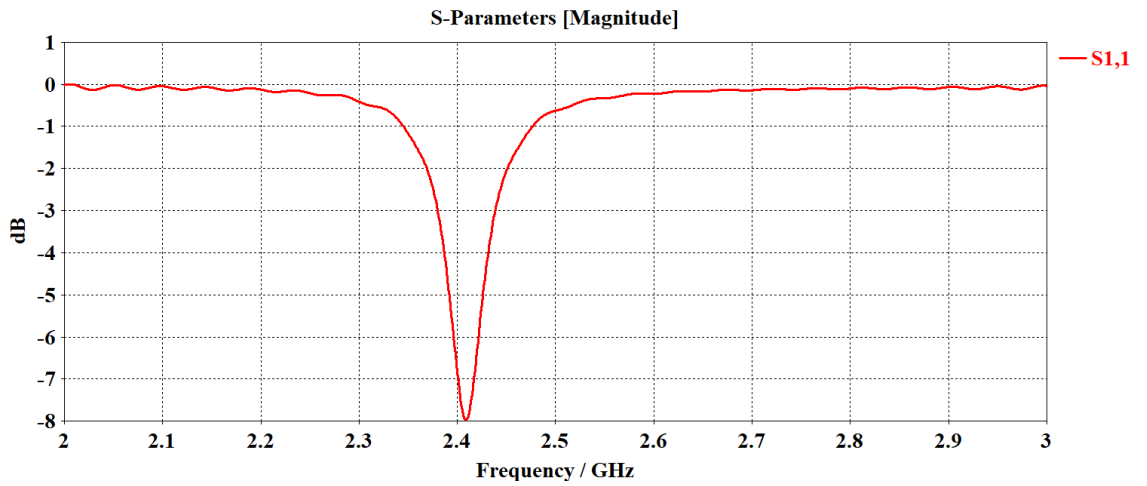
Şekil 6.32 2.4 GHz MYA'nın a) ön görüntüsü b) Tasarım ölçütleri



Şekil 6.33 2.4 GHz MYA'nın Yüzey Akım Dağılımı

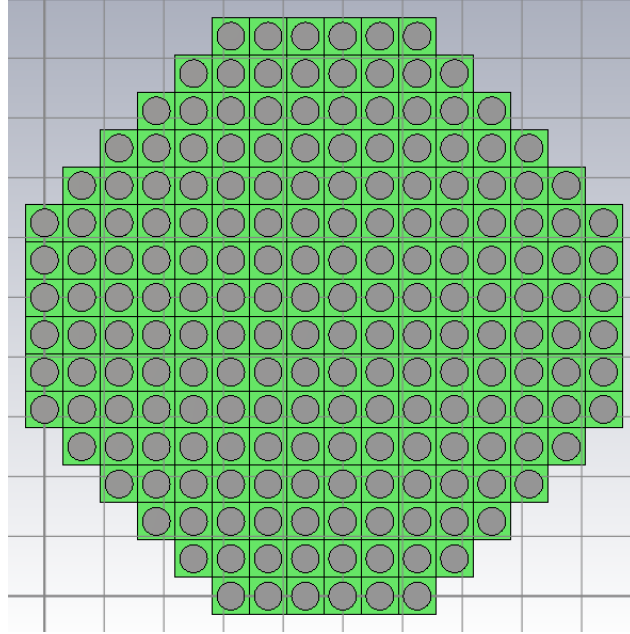


Şekil 6.34 (a) 2.4 GHz MYA'nin 3D kazanç diyagramı (b) Polar kazanç diyagramı

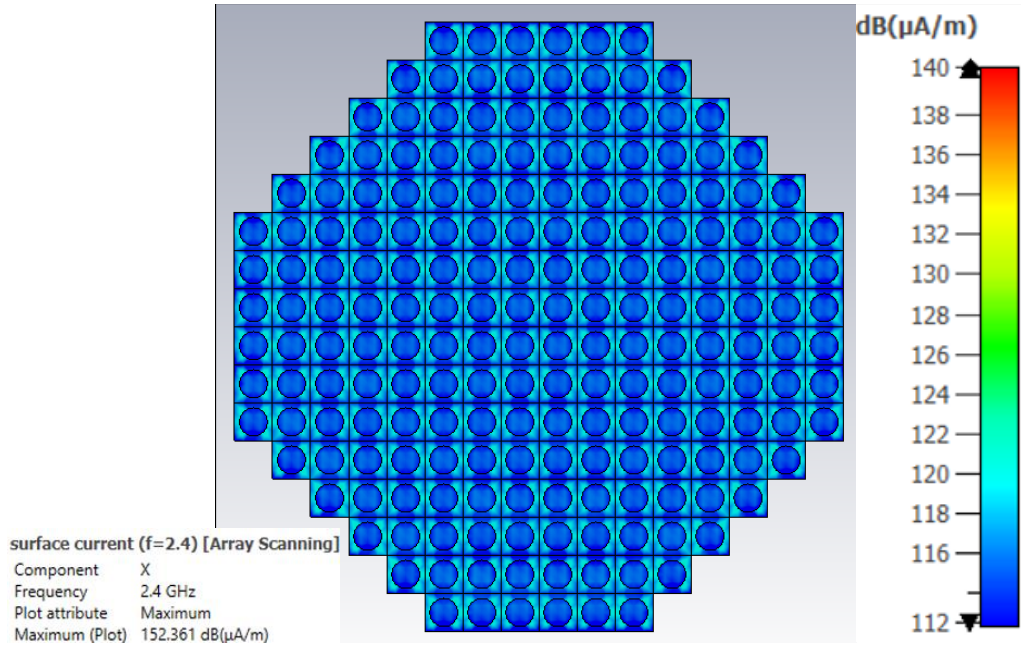


Şekil 6.35 2.4 GHz Yama MYA'nin S_{11} Grafiği

6.6.2. 2.4 GHz 16x16 Sekizgen Geometrili Dizi

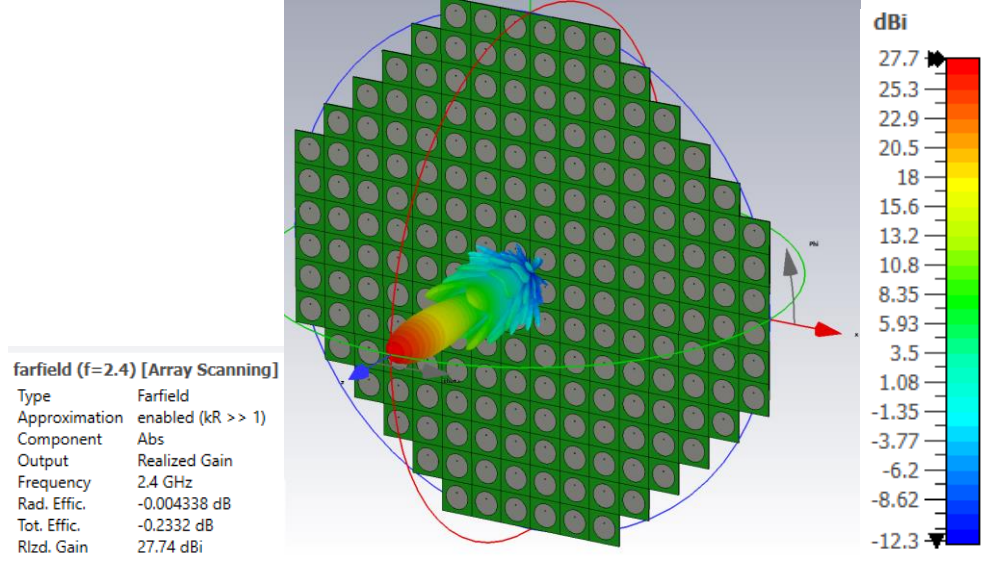


Şekil 6.36 16x16 2x4 GHz sekizgen geometrili MYA dizi tasarımı ön görüntüsü

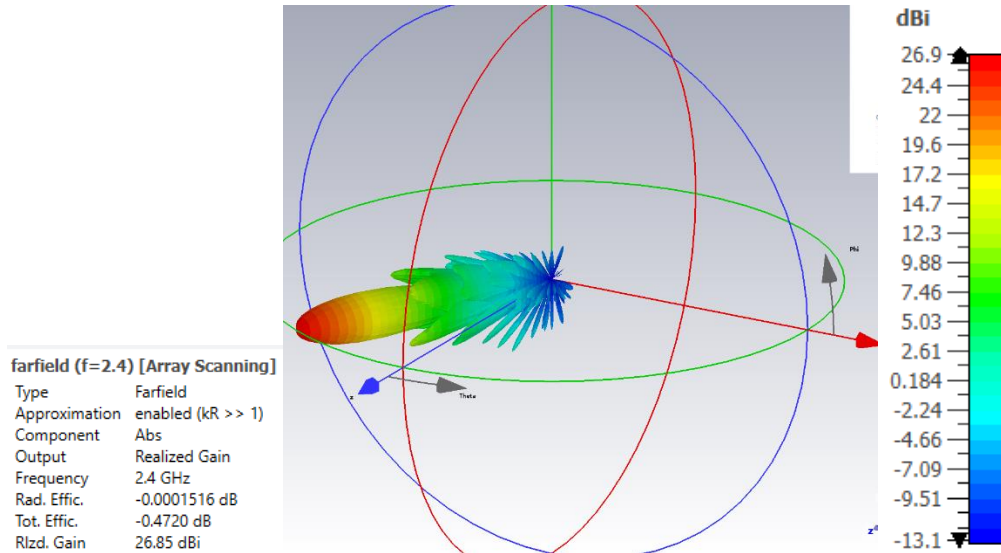


Şekil 6.37 16x16 2x4 GHz sekizgen geometrili MYA dizisinin yüzey akım dağılımı

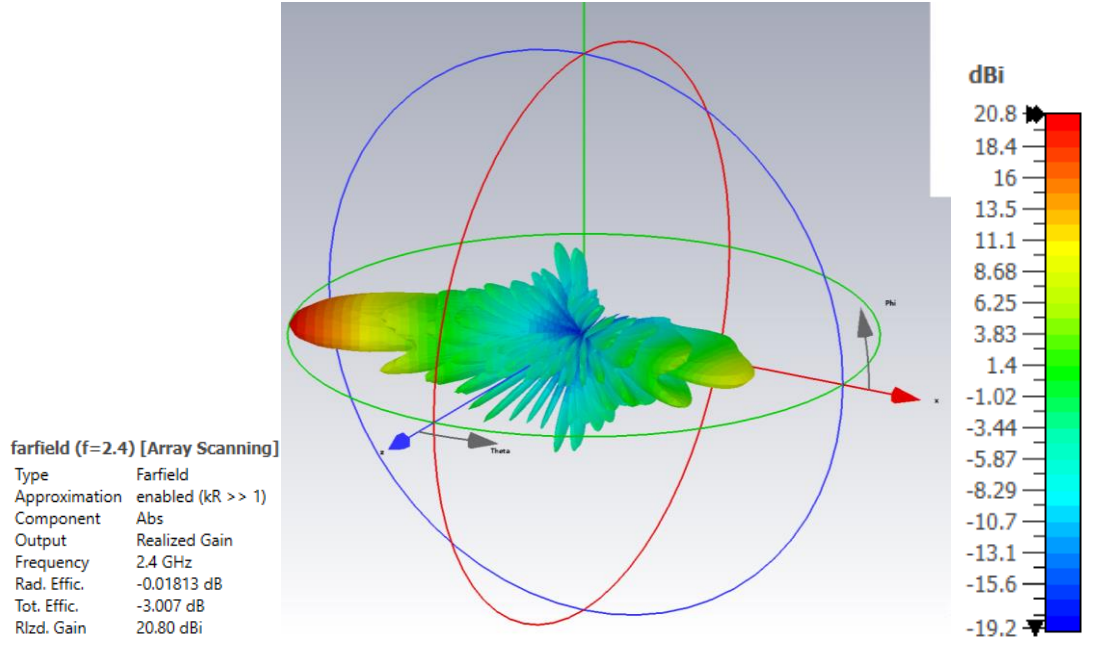
Hüzme taraması yapmak için doğrusal faz dağılımının $\Delta\psi_x = 0-90-170$ olarak ayarlandığı durumlar:



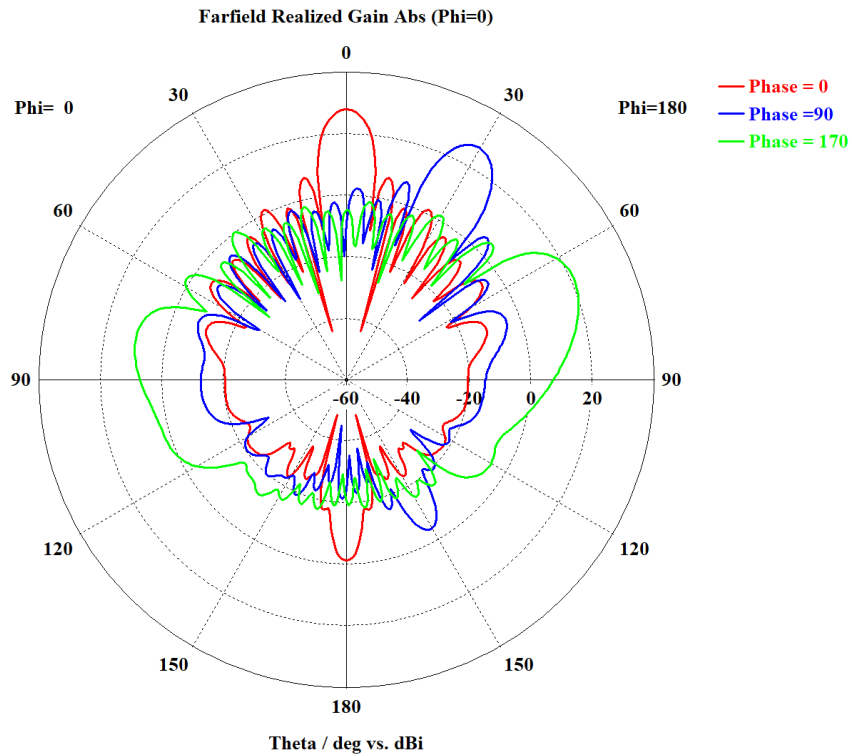
Şekil 6.38 Doğrusal faz dağılımının $\Delta\psi_x=0$ ardından oluşan 16x16 2.4 GHz MYA dizisinin 3D kazanç diyagramı



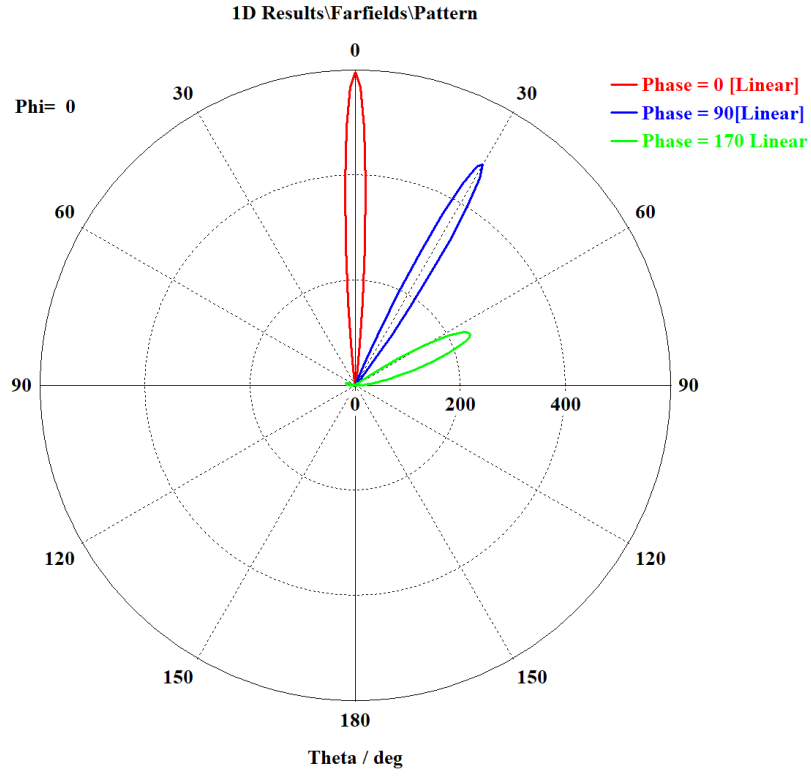
Şekil 6.39 Doğrusal faz dağılımının $\Delta\psi=90$ ardından oluşan 16x16 2.4 GHz MYA dizisinin 3D kazanç diyagramı



Şekil 6.40 Doğrusal faz dağılımının $\Delta\psi_x=170$ ardından oluşan 16x16 2.4 GHz MYA dizisinin 3D kazanç diyagramı



Şekil 6.41 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan 16x16 2.4 GHz MYA'nin polar kazanç diyagramı



Şekil 6.42 Doğrusal faz dağılımının ardından oluşan 16x16 2.4 GHz MYA'nın lineer kazanç diyagramı

Doğrusal Faz Dağılımı	Hüzme Genişliği (3dB) (°)	Gerçekleşmiş Kazanç(dBi)	Ana Lob Yönü (°)	Antenler Arası Mesafe (d) (λ)
$\Delta\psi_x$				
0	7.4	27.7	0	0.5
90	8.5	26.9	30	
170	16.1	20.8	66	

Tablo 5. 16x16 2.4 GHz MYA dizisinin doğrusal faz dağılımına göre elde edilen hüzme genişliği, kazanç ve ana lob yönü sonuçları

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, mikroşerit yama anten dizilerinin tasarımı ve faz kaydırma tekniklerinin hüzmleme performansına etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında farklı frekanslarda (5.8 GHz ve 2.4 GHz) çalışan anten dizileri tasarlanmış ve simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, anten dizilerinin hüzmleme genişliğini daralttığı, doğrusal faz dağılımının uygulanmasıyla antenlerin hüzmleme tarama kabiliyetlerinin artırıldığı görülmüştür.

Hüzmleme yönünü değiştirmek, antenlerin mekanik olarak kontrol edilmesi gereksinimini ortadan kaldırmakla kalmayıp, elektronik yönlendirme sayesinde çok yüksek hızlarda hüzmleme taraması yapılabilmesine olanak tanımaktadır. Bu durum, özellikle hızlı ve dinamik çevrelerde, örneğin mobil iletişim sistemleri ve radar uygulamalarında büyük avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, faz dizinli antenlerin ve hüzmleme tekniklerinin, gelecekteki iletişim teknolojileri için önemli bir bileşen olabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu tezde gerçekleştirilen tasarım ve simülasyon çalışmaları, mikroşerit yama anten dizilerinin ve faz kaydırma tekniklerinin etkin bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Bu da, gelecekteki haberleşme sistemlerinde daha verimli ve esnek anten çözümlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] AGARWAL, K., RAO, G.P., KARTIKEYAN, M.V., THUMM, M.K., A Proximity Fed Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna with ACross Slot in the Ground Plane, Karlsruhe, Germany.
- [2] Chang, K., 2000. RF and Microwave Wireless Systems, John Wiley & Sons Publication, New York.
- [3] Balanis, C. A. ,(2016). Antenna Theory: Analysis and Design, Fourth Edition, John Wiley and Sons Inc. ,New Jersey.
- [4] Saunders, S.R. ve Zavala, A.A. ,(2007). Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems,Second Edition, John Wiley and Sons Inc., Chichester.
- [5] Mikroşerit yama anten ve uygulama alanları, <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/mikroserit-yama-anten-ve-uygulama-alanlari>,
- [6] YAZGAN, E. , Hacettepe Üniv. Elektrik ve Elektronik Müh. Böl., MİKROŞERİT ANTENLER, Beytepe, ANKARA
- [7] Fang, D. G., 2010: Antenna Theory and Microstrip Antennas, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida
- [8] (Balanis & Ioannides, Akıllı Antenlere Giriş, 2007).
- [9] (Bellofiore, Balanis, Foufz, & Spanias, İletişim ağları için Mobil Cihazlar için Akıllı Anten Sistemleri, 2002)
- [10] Mailloux, Robert J. Phased Array Antenna Handbook. Second edition, Artech House, 2005.
- [11] Fawwaz T. Ulaby, Eric Michielssen, and Umberto Ravaioli, Fundamentals of Applied Electromagnetics