

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇİFT BANT MİKROŞERİT YAMA Wİ-Fİ ANTEN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik-Elektronik Müh. Ural AKINCIOĞLU**

**OCAK 2019  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇİFT BANT MİKROŞERİT YAMA Wİ-Fİ ANTEN TASARIMI**

**Elektrik Elektronik Müh. Ural AKINCIOĞLU**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**"ELEKTRONİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 / 12 / 2018**

**Tezin Savunma Tarihi : 11 / 01 / 2019**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Haydar KAYA**

**Trabzon 2019**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında  
Ural AKINCIOĞLU Tarafından Hazırlanan**

**ÇİFT BANT MİKROŞERİT YAMA Wİ-Fİ ANTEN TASARIMI**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 25 / 12 / 2018 gün ve 1784 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR**

**Üye : Doç. Dr. Birol SOYSAL**

**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Haydar KAYA**


**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nda yapılan bir çalışmadır.

Burada sunulan çalışmanın, çift bant mikroşerit yama Wi-Fi antenin simülasyon programı kullanılarak nasıl gerçekleştirilebileceği konusunda yapılacak çalışmalara yardımcı olmasını diliyorum.

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanmasından, tasarım, simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesine, gerekli değişikliklerin yapılmasına ve en uygun şeklin elde edilmesine kadar bütün aşamalarda benden yardım ve önerilerini esirgemeyen tez danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Haydar KAYA'ya ve bana her zaman destek olan aileme ve nişanlım Cansu DEMİRCİ'ye teşekkür ederim.

Ural AKINCIOĞLU  
TRABZON 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çift Bant Mikroşerit Yama Wi-Fi Anten Tasarımı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Haydar KAYA'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 11/01/2019

Ural AKINCIOĞLU

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	XII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Mikroşerit Antenler .....	2
1.3. Mikroşerit Yama Antenlerde Bant Genişliği .....	3
1.4. Yansıma Katsayısı .....	4
1.5. Mikroşerit Antenleri Besleme Şekilleri .....	5
1.5.1. Koaksiyel Kablo ile Besleme.....	5
1.5.2. Mikroşerit Hat ile Besleme.....	5
1.5.3. Ayrık Kuplaj Metodu .....	6
1.6. Anten Geometrisi .....	6
1.7. Işıma Örüntüsü.....	7
1.8. Geri Dönüş Kaybı .....	8
1.9. Yöneltilik .....	9
1.10. Anten Kazancı.....	9
1.11. Polarizasyon .....	9
1.12. “FR4” Malzemesi.....	10
1.13. Wi-Fi/WLAN Kanalları .....	10
1.14. 802.11 Sistemleri ve Bantları.....	11
1.15. 2.4 GHz Wi-Fi Kanalı Frekansları.....	11
1.16. 5 GHz Wi-Fi Kanalı Frekansları.....	12
1.17. Standart Seçimi .....	13

1.18.	Literatür Taraması.....	14
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	16
2.1.	Giriş.....	16
2.2.	Simülasyon Çalışması.....	16
2.3.	Anten Boyutlarının Performans Üzerine Etkileri.....	17
2.3.1	Parametrelerin Değişimi .....	17
2.3.2.	Ana Gövde Üzerinde Yapılan Parametre Çalışmaları .....	18
3.	BULGULAR.....	19
3.1.	kd+k Parametresi Değişimi $S_{11}$ Parametresi ve Işıma Örüntüleri.....	19
3.2.	ke Parametresi Değişimi $S_{11}$ Parametresi ve Işıma Örüntüleri.....	26
3.3.	ka Parametresi Değişimi $S_{11}$ Parametresi ve Işıma Örüntüleri.....	31
3.4.	kb Parametresi Değişimi $S_{11}$ Parametresi ve Işıma Örüntüleri .....	36
3.5.	Ana Gövde Parametre Çalışmaları $S_{11}$ Parametresi ve Işıma Örüntüleri.....	41
3.6.	Uygun Yapının Boyutlandırılması.....	48
4.	TARTIŞMA .....	50
5.	SONUÇLAR .....	51
6.	ÖNERİLER.....	53
7.	KAYNAKÇA.....	54
	ÖZGEÇMİŞ	

## Yüksek Lisans Tezi

### ÖZET

#### ÇİFT BANT MİKROŞERİT YAMA Wİ-Fİ ANTEN TASARIMI

Ural AKINCIOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Haydar KAYA  
2019, 56 Sayfa

Günümüzde mobil ve kablosuz ağ haberleşme sistemlerinin kullanımı gittikçe artmış, tek bant antenler ihtiyaca cevap veremez hale gelmiştir. Bu durum, çalışmaların birden fazla frekans bandında çalışan antenler üzerine yoğunlaşmasını sağlamıştır. Ayrıca üzerinde çalışılan çift bant mikroşerit yama antenlerin kazançları yüksek ve maliyetleri daha düşüktür. Boyutlarının küçük olması sebebiyle de mobil ve giyilebilir cihazlarda rahatlıkla kullanılabilir. Bu çalışmada IEEE 802.11n standardı baz alınarak, 2.4 ve 5 GHz bantlarında çalışan 50x70x1.6 mm boyutlarında mikroşerit yama anten FR4 yüzeye CST Studio Suite programı kullanılarak tasarlandı. 2.4 GHz bandı 6. kanalda (2.426-2.437 GHz) 2.43 GHz ve 5 GHz bandı 40. kanalda 5.20 GHz frekansları referans frekanslar olarak alındı. Referans frekanslarda anten boyutları optimize edilerek,  $S_{11}$  parametresi antenin verimli çalışacağı değerlere getirildi (anten giriş empedansının referans empedans 50 Ohm'a yaklaştırılması). 2.43 GHz ve 5.20 GHz frekanslarında anten kazancının ve ışıma genliklerinin yüksek, maksimum ışıma doğrultularının birbirine yakın olması için çalışmalar yapıldı. Bu çalışmalar sonucunda, hedeflenen amaçlara en uygun anten tasarımı gerçekleştirildi.

**Anahtar Kelimeler:** Mikroşerit Yama Anten, Çift Bant, IEEE802.11n, Anten Tasarımı, Wi-Fi Anten, Anten Kazancı, Işıma Örüntüsü



Master Thesis

SUMMARY

DUAL BAND MICROSTRIP PATCH WI-FI ANTENNA DESIGN

Ural AKINCIOĞLU

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Electrical-Electronics Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assistant Professor Haydar KAYA

2019, 56 Pages

Today, the use of mobile and wireless network communication systems has increased, the single-band antennas have become unable to respond to the need. Studies focus on the antennas that work in more than one frequency band. Moreover, double band microstrip patch antennas advantages are high antenna gain and the lower costs. Because of its small size, it can be used easily in mobile and wearable devices. In this study, 50x70x1.6 mm microstrip patch antenna on FR4 surface which is working on 2.4 and 5 GHz bands based on IEEE 802.11n standard was designed with CST Studio Suite program. 2.4 GHz band at 6th channel (2.426 to 2.437 GHz) 2.430 GHz and 5 GHz band at 40th channel 5.20 GHz frequencies were taken as references frequencies. At the reference frequencies, the antenna dimensions are optimized and the parameter  $S_{11}$  set to the values that the antenna operated efficiently (the antenna input impedance approximates the reference impedance to 50 ohms). The studies were carried out to ensure direction of the radiation pattern at the 2.43 GHz and 5.20 GHz bands close to each other, high radiation amplitudes and high antenna gain. As a result of these studies, the most suitable antenna design was realized for the targeted purposes.

**Key Words:** Microstrip Patch Antenna, Dual Band, IEEE802.11n, Antenna Design, Wi-Fi Antenna, Antenna Gain, Radiation Pattern

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Mikroşerit antenin üstten görünüşü.....	3
Şekil 2. Bant genişliği grafiği.....	3
Şekil 3. Mikroşerit hat ile besleme .....	6
Şekil 4. İki boyutlu ışınma örüntüsü.....	7
Şekil 5. Eksenlerin gösterimi.....	8
Şekil 6. Anten boyutlarının parametrelendirilmiş hali .....	17
Şekil 7. Tasarlanan antende i+k parametre gösterimi .....	18
Şekil 8. $kd + k = 6$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi.....	19
Şekil 9. $kd + k = 6$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü.....	20
Şekil 10. $kd + k = 6$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü.....	20
Şekil 11. $kd + k = 10$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi.....	21
Şekil 12. $kd + k = 10$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü.....	21
Şekil 13. $kd + k = 10$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü.....	22
Şekil 14. $kd + k = 18$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi.....	22
Şekil 15. $kd + k = 18$ mm için 2.43 GHz frekansta ışınma örüntüsü .....	23
Şekil 16. $kd + k = 18$ mm için 5.2 GHz frekansta ışınma örüntüsü .....	23
Şekil 17. $kd + k = 22$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi.....	24
Şekil 18. $kd + k = 22$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü.....	24
Şekil 19. $kd + k = 22$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü.....	25
Şekil 20. $ke = 2$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi .....	26
Şekil 21. $ke = 2$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	26
Şekil 22. $ke = 2$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	27
Şekil 23. $ke = 8$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi .....	27
Şekil 24. $ke = 8$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	28
Şekil 25. $ke = 8$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	28
Şekil 26. $ke = 12$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi .....	29
Şekil 27. $ke = 12$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	30
Şekil 28. $ke = 12$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	30
Şekil 29. $ka = 6$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi .....	31

Şekil 30. $k_a = 6$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	32
Şekil 31. $k_a = 6$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	32
Şekil 32. $k_a = 14$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi .....	33
Şekil 33. $k_a = 14$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	33
Şekil 34. $k_a = 14$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	34
Şekil 35. $k_a = 22$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi .....	34
Şekil 36. $k_a = 22$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	35
Şekil 37. $k_a = 22$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	35
Şekil 38. $k_b = 2$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi .....	36
Şekil 39. $k_b = 2$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	37
Şekil 40. $k_b = 2$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	37
Şekil 41. $k_b = 7$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi .....	38
Şekil 42. $k_b = 7$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	38
Şekil 43. $k_b = 7$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	39
Şekil 44. $k_b = 10$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi .....	39
Şekil 45. $k_b = 10$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	40
Şekil 46. $k_b = 10$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü .....	40
Şekil 47. $i+k = 6$ mm ve $k = 1$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi .....	41
Şekil 48. $i+k = 6$ mm ve $k = 1$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü....	42
Şekil 49. $i+k = 6$ mm ve $k = 1$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü.....	42
Şekil 50. $i+k = 6$ mm ve $k = 2$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi .....	43
Şekil 51. $i+k = 6$ mm ve $k = 2$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü....	43
Şekil 52. $i+k = 6$ mm ve $k = 2$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü.....	44
Şekil 53. $i+k = 10$ mm ve $k = 2$ mm için $ S_{11} $ 'in dB cinsinden frekansla değişimi .....	44
Şekil 54. $i+k = 10$ mm ve $k=2$ mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma Örüntüsü..	45
Şekil 55. $i+k = 10$ mm ve $k = 2$ mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü....	45
Şekil 56. Gerçekleştirilen antenin görüntüsü.....	47
Şekil 57. Gerçekleştirilen antenin ölçülen $ S_{11} $ grafiği.....	47
Şekil 58. Uygun antenin ön yüzeyi parametrelenmiş görünümü.....	48
Şekil 59. Uygun antenin arka yüzeyi parametrelenmiş görünümü.....	49

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. IEEE802.11 modelinde kullanılan frekans bantları tablosu	11
Tablo 2. 2.4 GHz Wi-Fi kanalı frekansları tablosu	12
Tablo 3. 5 GHz Wi-Fi kanalı frekansları tablosu	13
Tablo 4. Parametrelerin değişim tablosu	18
Tablo 5. $k_d + k$ parametresinin boyut karşılaştırma tablosu	25
Tablo 6. $k_e$ parametresinin boyut karşılaştırma tablosu	31
Tablo 7. $k_a$ parametresinin boyut karşılaştırma tablosu	36
Tablo 8. $k_b$ parametresinin boyut karşılaştırma tablosu	41
Tablo 9. $i$ ve $k$ parametrelerinin boyut karşılaştırma tablosu	46
Tablo 10. Anten ön yüzey boyutları	48
Tablo 11. Anten arka yüzey boyutları	49

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BG	Bant Genişliği
D	Yöneltilik
D <sub>0</sub>	Maksimum yöneltilik
dB	Desibel
DFS	Dinamik Frekans Seçimi (Dynamic Frequency Selection)
f	Frekans
FR4	Flame Retardant 4 (Alev Geciktirici 4)
G	Kazanç
RL	Geri Dönüş Kaybı (Return Loss)
OFDM	Dikgen Frekans Bölüşümlü Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
P <sub>gir</sub>	Anten girişindeki gelen güç
P <sub>yan</sub>	Antenden geri yansıtılan güç
PCB	Baskı Devre Kartı (Printed Circuit Board )
PTFE	Politetrafloroetilen
SRD	Kısa Menzilli Cihazlar (Short Range Devices)
TEM	Enine Elektromagnetik Mod (Transverse Electro-Magnetic)
TPC	İletim Gücü Kontrolü (Transmit Power Control)
U	Işıma şiddeti
Wi-Fi	Kablosuz Bağlantı Alanı ( Wireless Fidelity)
WLAN	Kablosuz Yerel Alan Açı (Wireless Local Area Network)
Γ	Yansıma katsayısı
ε <sub>r</sub>	Bağıl elektriksel geçirgenlik

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte mobil ve kablosuz ağ haberleşme sistemlerinin kullanımı gittikçe artmıştır. Tek bant antenler ise bu artışa cevap veremez hale gelmişlerdir. Bu durum, çalışmaların birden fazla bantta çalışan antenlerin üzerine yoğunlaşmasına neden olmuştur.

Tek bant Wi-Fi antenlerde genel olarak 2.4 GHz bandı kullanılıyordu. Ancak bu bantta Wi-Fi cihazlarından başka cihazlar da mevcuttur. Dolayısıyla bant kalabalıklaşmış ve isteklere cevap veremez hale gelmiştir. Bu sorunlar, bilim insanlarını teşvik ederek alternatif aramalarına neden olmuştur. Bu çalışmalar sonucu 5 GHz bandı da kullanılmaya başlanmıştır. Bu bant, 2.4 GHz bandına oranla daha boş bir banttır ve bu bantta daha büyük hızlar elde edilmiştir [1].

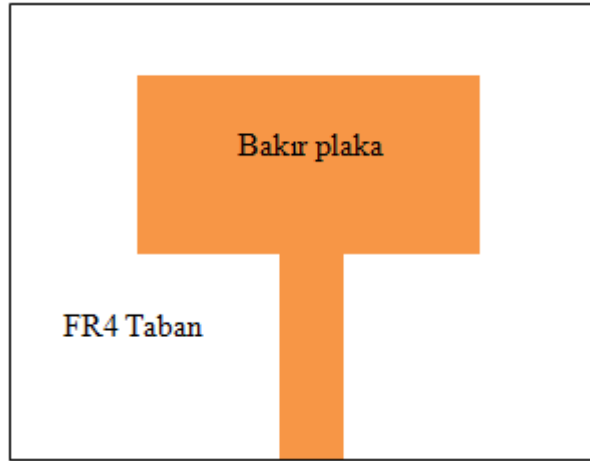
Bu çalışmada, standart olarak hem 2.4 GHz bandında hem de 5 GHz bandında aynı anda çalışabilen Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü'nün (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 802.11n standardı tercih edilmiştir. IEEE 802.11n standardı, 802 Yerel ve Metropolitan Alan Ağları Standartları Komitesi (802 Local and Metropolitan Area Network Standards Committee) tarafından belirlenmiştir [2]. IEEE'nin 150 ülkede 500.000 bini aşkın üyesi vardır ve bu üye sayısı gün geçtikçe artmaktadır. IEEE temel ve uluslararası standartları belirlenmesinde rol oynar. Bu standartlar hakkında uzmanların görüşlerini toplar ve değerlendirir [3].

Bu çalışmada, 50x70 mm boyutlarında özgün bir mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. Mikroşerit yama antenler 1953 yılında G.A. Deschamps tarafından geliştirilmiştir [4]. 1955 yılında Gutton ve Baissinot tarafında bir mikroşerit antene patent alınmıştır [5]. Mikroşerit antenlerin, geniş değer aralıklı dielektrik sabitleri, ısı ve mekanik özelliklerinin kullanılabilir olması, düşük kayıp oranlarının geliştirilmesi gibi özelliklerinin tasarlanan antenlere uygulanmasında zorluk çekilmesinden dolayı bu antenler ilk zamanlar çok kullanışlı olmamıştır. Bu problemin çözümü ise iyi dielektrik tabanların gelişimi ile gerçekleşmiştir. Bu gelişime paralel olarak mikroşerit antenlerin popülerliği 1970'li yıllarda artmış ve antenler hızlı bir gelişim göstermiştir [6]. Pratik anlamda ilk mikroşerit anteni ise 1970 yılında Munson [7] ve Howell [8] üretmiştir.

## 1.2. Mikroşerit Antenler

Mikroşerit antenlerin yama kısımlarında kullanılan malzeme genellikle bakırdır. Antenin dielektrik tabanı ise geniş bir aralıkta değişen özelliklere sahip isteğe göre seçilen yalıtkan bir malzemedir. Bu dielektrik taban, yama ve toprak kısmı ile beraber bir iletim hattı oluşturarak yarı-TEM (Enine Elektromagnetik Mod) dalgalarla meydana gelen enerji için bir kılavuz gibi çalışır. Dielektrik malzemenin kalınlığı 0.05 mm ile 6.35 mm değerleri arasında değişir. Alumina, quartz, PTFE (Politetrafloroetilen) gibi malzemeler yüksek maliyetleri dolayısıyla çok tercih edilmezler. Yüksek frekanslarda maliyeti daha düşük FR4 (Flame Retardant 4) malzeme kullanılır. Tezdeki anten tasarımlarında dielektrik taban olarak FR4 malzemesi kullanılmıştır. Yama kısımlarında kullanılan bakırın kalınlığı 0.035 mm'dir. Dielektrik sabiti ve kayıp tanjantı, dielektrik tabanların elektriksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Kayıp tanjantı ne kadar büyürse anten verimi o derece azalır. Bundan dolayı genellikle düşük tanjantlı malzeme tercih edilir [6].

Mikroşerit yama antenler, elektriksel özelliklerinden ziyade elektriksel olmayan özellikleri ile anten yapılarına yenilik ve gelişme sağlamıştır. Mikroşerit yama antenlerin ağırlıkları azdır ve bütün mikrodalga tümlşik devrelerine (MIC) uyum sağlayabilirler. Küçük yapıları ve devre elemanlarıyla aynı dielektrik katmanda olmalarından dolayı entegre devrelere kolay bir şekilde uygulanabilirler. Taşınabilir cihazlarda kullanıldığında cihazların boyutlarını büyütmezler. Ucuz oldukları için kullanıldıkları sistem yüksek maliyet gerektirmeden gerçekleştirilebilir. Elektriksel performans olarak diğer geleneksel anten sistemleri ile karşılaştırıldığında ise bazı dezavantajları vardır. Bunlar düşük bant genişliği, yüksek besleme devre kayıpları, düşük çapraz polarizasyon ve düşük güç kontrol kapasitesi gibi özelliklerdir. Bunların çoğu temel mikroşerit elemanlara yapılacak eklemeler veya geliştirmeler ile ortadan kısmen veya tamamen kaldırılabilir. Ancak yine de yama antenler için en kısıtlayıcı durum temel mikroşerit elemanların bant genişliğidir [9]. Şekil 1'de mikroşerit antenin üstten görünüşü verilmiştir.

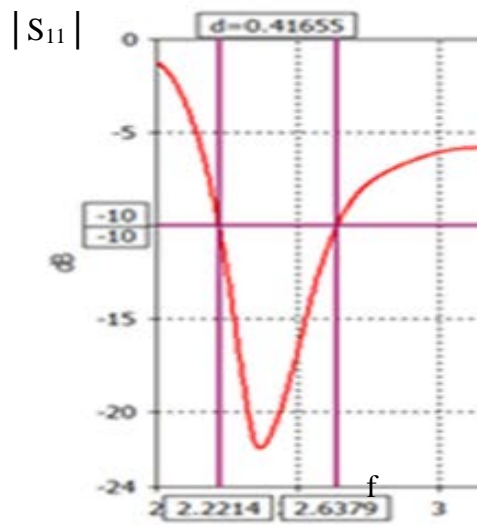


Şekil 1. Mikroşerit Antenin Üstten Görünüşü

### 1.3. Mikroşerit Yama Antenlerde Bant Genişliği

Bant genişliği, antenin özelliklerine göre performansının belirtilen bir standarda uygun olduğu frekans aralığıdır. Yani haberleşme kanalının kapasitesini ifade etmek için kullanılır [10].

Kablosuz iletişimde, antenin frekans bant genişliği üzerinden -10 dB'den az bir geri dönüş kaybı sağlaması gerekmektedir. Geri dönüş kaybının -10 dB olduğu frekanslar arasındaki fark antenin bant genişliğini verir. Örnek bir bant genişliği grafiği Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 2. Bant genişliği grafiği



Şekil 2'nin bant genişliği aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$BG = 2.6379 \text{ GHz} - 2.2214 \text{ GHz} = 0.4165 \text{ GHz} \quad (1)$$

Mikroşerit antenlerde empedans uyumu kalitesine bağlı olarak bant genişliği %1 ile %5 arasında değişiklik gösterir. Bant genişliğini en verimli değere ulaştırmak için birkaç yöntem tanımlanmıştır [11].

Bu yöntemlerden birincisi, dielektrik tabakanın kalınlığını arttırmaktır. Dielektrik tabakanın kalınlığı arttırılarak geniş bir bant genişliği elde edilebilir. Ancak kalite faktörünün düşük olması ve belli bir sınırdan sonra istenmeyen yüzey dalgalarında artış meydana gelmesi gibi dezavantajları vardır.

İkinci yöntem ise elektriksel geçirgenliği düşük malzeme kullanmaktır. Elektriksel geçirgenliği düşük malzeme kullanılarak daha geniş bir bant genişliği elde edilebilir ancak bu yöntem de anten boyutlarının önemli ölçüde büyümesine neden olur.

#### 1.4. Yansıma Katsayısı

Yansıma katsayısı, yüksek frekanslı uygulamalar ve mikrodalga iletim hatlarında kullanılan önemli bir parametredir. Her iletim hattının kendine özgü karakteristik empedansı mevcuttur. Yansıma, hattın kendi karakteristik empedansından farklı bir  $Z_Y$  empedansı ile sonlandırılması durumunda ortaya çıkar. Yansıma katsayısı  $\Gamma$  ile tanımlanır ve aşağıdaki gibi hesaplanır [12].

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} = \frac{Z_Y - Z_o}{Z_Y + Z_o} \quad (2)$$

$S_{11}$ ,  $Z_y \neq Z_0$  durumu için giriş yansıma katsayısını ifade eder ve dB cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_{11}(dB) = 20 \log |S_{11}| \quad (3)$$

## 1.5. Mikroşerit Antenleri Besleme Şekilleri

Mikroşerit yama antenlerin genelde dielektrik tabakanın bir yüzünden ışınım yapan elemanları olduğu için mikroşerit hatla ya da koaksiyel hatla beslenmeleri mümkündür. Giriş empedansı ve polarizasyonu antenin besleme yöntemi ile belirlenir. Antenin verimli çalışması için besleme yöntemi çok önemlidir. Baskı devre yöntemi ile gerçekleştirilen antenleri beslemek için aşağıdaki yöntemler kullanılabilir.

- Koaksiyel kablo ile besleme
- Mikroşerit hat ile besleme
- Ayrık kuplaj metodu

### 1.5.1. Koaksiyel Kablo ile Besleme

Koaksiyel kablo ile besleme, mikroşerit yama antenlerin beslenmesinde çok yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Koaksiyel kablonun iç iletkeni, dielektrik boyunca uzanır ve metal yamaya lehimlenir. Bu besleme şeklinin avantajı beslemenin istenilen herhangi bir yere yerleştirilebilmesidir.

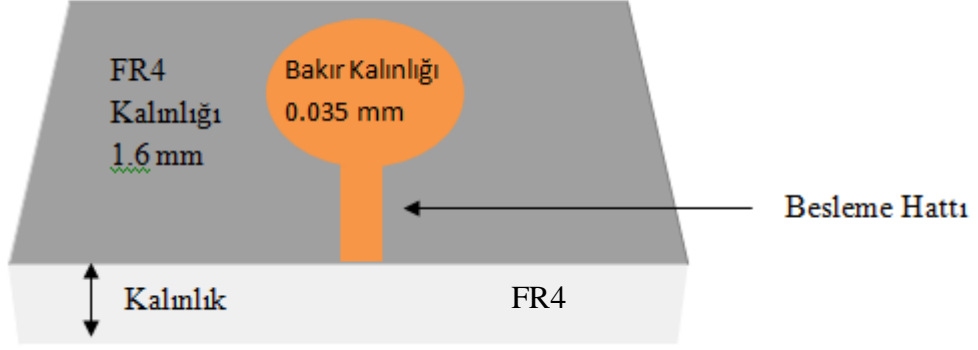
Bu besleme yönteminin en büyük artısı antenin giriş empedansına kolay uydurulması ve parazit oluşumunun en az seviyede olmasıdır [13].

### 1.5.2. Mikroşerit Hat ile Besleme

Bu besleme tekniğinde, besleme doğrudan mikroşerit yamanın kenarına bağlanır. Besleme düzeneği, anten ile aynı taban üzerinde olduğu için düzlemsel bir avantaj sağlar.

Parazit oluşumu fazla olmasına rağmen kolay üretilebilir olması nedeniyle tercih edilir.

Besleme hattı ile anten arasında empedans uyumuna ihtiyaç vardır. Besleme hattının uygun yerde seçilmesiyle empedans uyumu yapılır ancak beslemenin yeri ışımaya etki edebilir. Mikroşerit ve koaksiyel beslemelerde Green Fonksiyonu Tekniği ile besleme yerinin etkisi hesaplanır [6]. Mikroşerit hat ile besleme Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Mikroşerit hat ile besleme

### 1.5.3. Ayrık Kuplaj Metodu

Bu teknikte yama ve mikroşerit hattı toprak düzlemi ile ayrılmaktadır. Bu ayrılan yama ve mikroşerit hat toprak düzlemindeki bir ayrıkla birleştirilir. Bağlantı yuvası yamanın altındadır ve düşük çapraz polarizasyona yol açar. Bu besleme tekniğinin en büyük dezavantajı anten kalınlığını arttıran çoklu tabakalar nedeniyle üretiminin zor olmasıdır [14].

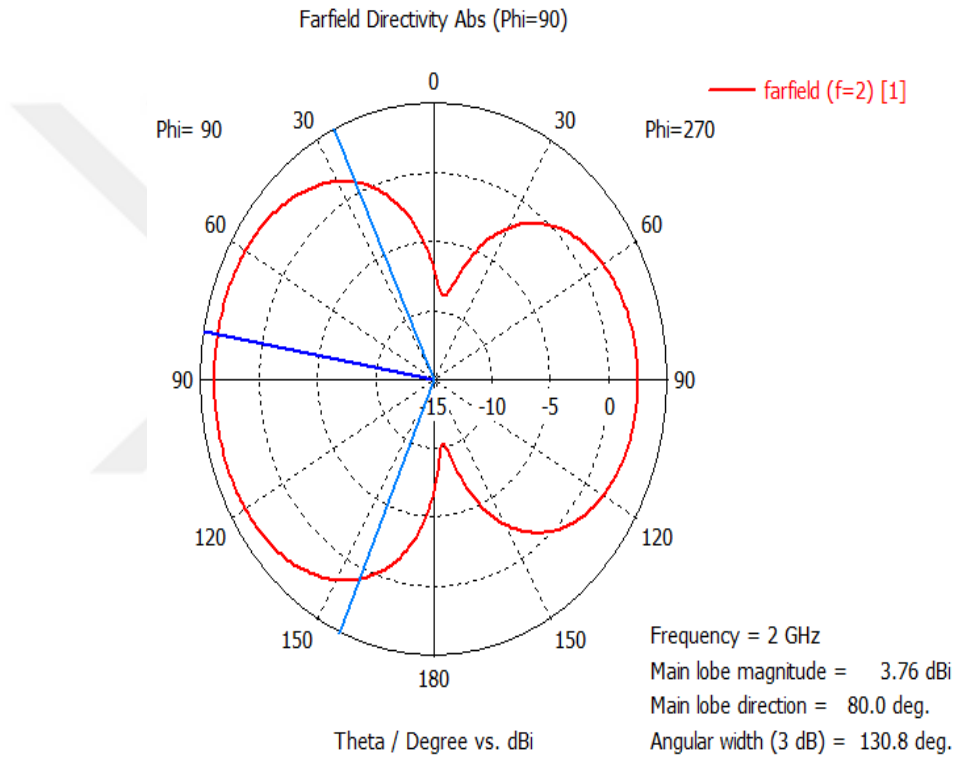
### 1.6. Anten Geometrisi

Anten dielektrik taban seçiminden sonra anten geometrisinin gerçekçi ve işe yarar şekilde belirlenmesi en önemli aşamadır. Taban malzemesinin elektriksel geçirgenliği  $\epsilon_r$ , kalınlığı  $h$  ve  $\tan \delta$  parametrelerinin ışımaya etkisi bilinmelidir. Kalın dielektrik taban seçilmesi ışımaya gücünü ve bant genişliğini artırır. Fakat ağırlığın artması, yüzey ve dielektrik kayıplarının çoğalmasından dolayı tercih edilmez. Dielektrik katsayısı düşük malzemeler ise kalın tabaka ile aynı etkilere sebep olmaktadır [15].

## 1.7. Işıma Örüntüsü

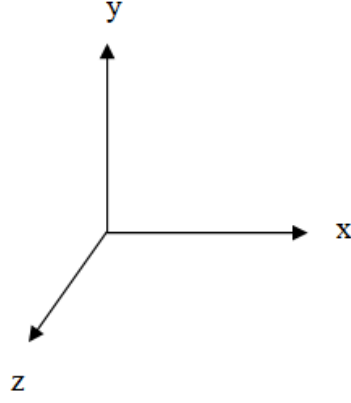
Işıma örüntüsü, anten tarafından yayılan ışımının bir fonksiyonu olarak antenin yaydığı gücün yoğunluğunu tanımlar. Antenin ışım özelliklerinin uzay koordinatlarının bir fonksiyonu olarak grafiksel gösterimidir.

Maksimum ışım yönünün ve gücünün belirlenmesinde rol oynar. Işıma örüntüsünün iki boyutlu örneği Şekil 4'te verilmektedir. Eksenlerin gösterimi Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 4. İki boyutlu ışım örüntüsü

Phi ( $\varphi$ ) açısı, x eksenine ile saat yönünün tersine yapılan açı, theta ( $\theta$ ) açısı ise, z eksenine ile yatayda yapılan açıdır [16].



Şekil 5. Eksenlerin gösterimi

### 1.8. Geri Dönüş Kaybı

Geri dönüş kaybı, anten ile iletim hattı arasındaki güç miktarının bir ölçüsüdür. Anten girişindeki gelen güç  $P_{gir}$ , kaynağa geri yansıtılan güç  $P_{yan}$  ile gösterilir. Gelen ve yansıyan güç oranı ise  $P_{gir}/P_{yan}$  ile gösterilir. Bu güç oranı ne kadar büyük olursa hat ve yük birbiriyle o kadar daha iyi uyumlanır. Güç, gerilimin karesiyle doğru orantılı olduğundan, geri dönüş kaybı Eşitlik (4) ve (5)'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$RL(dB) = 10 \log \frac{P_{gir}}{P_{yan}} \quad (4)$$

$$RL(dB) = -20 \log |\Gamma| \quad (5)$$

Verici ve anten arasındaki empedans uyumu sağlanamadığı zaman duran dalgalardan kaynaklı kayıp miktarı artmaktadır. Geri dönüş kaybına bakarak anten ile yük arasındaki empedans uyumu hakkında bilgi edinilebilir.

$\Gamma=0$  ve  $RL=\infty$  durumunda anten ile hat arasındaki empedans uyumu mükemmeldir. Bu durumun gerçekleştirilmesi zordur. Antenin kullanılacağı yere göre geri dönüş kaybı kabul edilebilir değerlere ayarlanmalıdır [17].

### 1.9. Yöneltilik

Yöneltilik ( $D$ ), antenin belirtilen yöndeki ışımaya şiddetinin ( $U$ ) tüm yönler üzerindeki ışımaya şiddetine oranı olarak tanımlanır. Ortalama ışımaya şiddeti ( $U_0$ ), antenden ışıyan toplam gücün ( $P_{ışıma}$ )  $4\pi$ 'ye oranıdır. Eğer yön özel olarak belirtilmemişse maksimum ışımaya şiddetinin yönü kullanılır [6][19]. Yöneltilik hesabı Eşitlik (6) ve (7)'de verilmektedir.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{ışıma}} \quad (6)$$

$$D_{\max} = D_0 = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{ışıma}} \quad (7)$$

### 1.10. Anten Kazancı

Bir antenin (belirtilen bir yöndeki) kazancı, (belirtilen bir yöndeki) ışımaya şiddetinin, yönsüz bir anten tarafından toplandığında elde edilecek ışımaya şiddetine oranı olarak tanımlanır. İzotropik ışıyan güce karşılık gelen ışımaya şiddeti, anten giriş gücünün  $4\pi$ 'ye oranına eşittir [6,18]. Anten kazancı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$G = 4\pi \frac{\text{ışımaya şiddeti}}{\text{Anten giriş gücü}} \quad (8)$$

### 1.11. Polarizasyon

Antenden ışıyan dalganın polarizasyonu olarak tanımlanır. Yön belirtilmediği sürece polarizasyon maksimum kazanç yönünde alınır. Işıyan enerjinin polarizasyonu antenin merkezinden olan yöne göre değişir, bundan dolayı anten örüntüsünün farklı bölümleri farklı polarizasyonlara sahip olabilir.

### 1.12. FR4 Malzemesi

FR (Fire Retardant) alev/yangın geciktirici anlamına gelir. FR-4 cam epoksi, dayanıklı, esnek ve yüksek basınçlı termoset plastik bir malzemedir.

Malzemenin alev veya yangın geciktirici olması gerekiyorsa yerine getirmesi gereken belirli şartlar vardır. Baskı devrede kullanıldığında, bir devre elemanı kısa devre yaparsa, devre kendiliğinden yanabilir. Bu da FR4'ün kendi kendine sönme özelliğine sahip olması gerektiği anlamına gelir.

FR4 yapısı, epoksi reçinenin yüksek basınçta sıkıştırılmasıyla elde edilir ve mat cam elyaf (veya keçe) yapı içerisine gömülür. Cam elyaf yapıyı güçlendirir ve kompozit materyalin dielektrik sabitini artırır.

Yapının örgüsü genellikle bir yönde daha yoğun bir şekilde birikir ve böylece malzeme doğal olarak anizotropiktir, farklı düzlemlerde dielektrik sabitinde küçük değişiklikler vardır.

FR4 epoksi cam alt tabakaları çoğu PCB uygulaması için tercih edilen malzemedir. Malzeme oldukça düşük maliyetlidir ve mükemmel mekanik özelliklere sahiptir.

Bu özelliklerinden dolayı geniş bir elektronik ekipman yelpazesi için idealdir. Tüketici pazarının büyük olması ve bu nedenle sürekli yeni mikrodalga sistemleri geliştirildiği için, bu sistemlerin maliyetini en aza indirmek büyük bir gereksinimdir [20][21].

Mikroşerit yama anten tasarımında alt tabaka kalınlığı önemlidir. Düşük dielektrikler katsayısı olan kalın tabakalar, büyük bant genişliğini ve daha yüksek verimi elde etmek için tercih edilirken, büyük dielektrik sabitleri olan ince alt tabakalar antenin toplam boyutunu azaltırken, yüksek kayıp tanjantları düşük bant genişliği oluşmasına neden olur [22].

Görüldüğü gibi taban seçimi, belirli bir uygulamada istenen özellikleri elde etmek için başlangıçta yapılması gereken önemli bir konudur.

### 1.13. Wi-Fi/WLAN Kanalları

IEEE 802.11 Wi-Fi/WLAN standartları, kanalların özelliklerinin birbirinden ayrışmasını sağlar. Bu özellikler, farklı Wi-Fi modüllerinin birbirleriyle konuşmasını ve etkin bir şekilde iletişim kurmasını sağlar. Wi-Fi/WLAN çözümlerinin etkin bir şekilde

çalışmasını sağlamak için RF frekansları, kanal numaraları ve bant genişlikleri gibi parametrelerin tümü ayarlanmalıdır [23].

#### 1.14. 802.11 Sistemleri ve Bantları

Çeşitli 802.11 modelleri vardır. Bu sistemlerin her biri farklı bantlar kullanır. Bu modeller Tablo 1’de gösterilmiştir [1].

Tablo 1. IEEE802.11 Modelinde Kullanılan Frekans Bantları Tablosu

IEEE802.11 Modeli	Kullanılan Frekans Bantları
802.11a	5 GHz
802.11b	2.4 GHz
802.11g	2.4 GHz
802.11n	2.4 ve 5 GHz
802.11ac	6 GHz altında
802.11ad	60 GHz’e kadar
802.11af	1 GHz’in altında
802.11ah	700 MHz, 860 MHz, 902 MHz vb. ülkelere göre değişen bantlar

Tasarlanan anten çift bantta çalışacağından dolayı kullanılan frekans bantları da bu durum göz önüne alınarak seçilmiştir. *IEEE802.11n* modeli seçilerek, antenimizin hem 2.4 GHz’de hem de 5 GHz’de çalışması sağlanmıştır. Bu iki bant aşağıda ayrı ayrı incelenerek en uygun kanal numaraları seçilmiştir.

#### 1.15. 2.4 GHz Wi-Fi Kanalı Frekansları

2.4 GHz Wi-Fi kanal frekansları Tablo 2’de gösterilmiştir.

2.4 GHz bandında 6. kanalda (2426-2448 MHz) 2.43 GHz frekansı çalışmamızda kullanılacak frekans seçilmiştir. Bu frekansın seçilme nedeni ise dünyanın her yerinde Wi-Fi frekansı olarak kullanılmasıdır.



Tablo 2. 2.4 GHz Wi-Fi Kanalı Frekansları Tablosu

Kanal Numarası	Alt Frekans MHz	Üst Frekans MHz	Avrupa	KuzeyAmerika	Japonya
1	2401	2423	✓	✓	✓
2	2406	2428	✓	✓	✓
3	2411	2433	✓	✓	✓
4	2416	2438	✓	✓	✓
5	2421	2443	✓	✓	✓
6	2426	2448	✓	✓	✓
7	2431	2453	✓	✓	✓
8	2436	2458	✓	✓	✓
9	2441	2463	✓	✓	✓
10	2446	2468	✓	✓	✓
11	2451	2473	✓	✓	✓
12	2456	2478	✓	YOK	✓
13	2461	2483	✓	YOK	✓
14	2473	2495	YOK	YOK	Sadece 802.11b

### 1.16. 5 GHz Wi-Fi Kanalı Frekansları

5 GHz Wi-Fi kanalı frekansları Tablo 3'te gösterilmiştir.

5 GHz bandında 40. kanalda 5.2 GHz frekansı çalışmamızda kullanılacak frekans olarak seçilmiştir. Bu frekansın seçilme nedeni ise dünyanın her yerinde Wi-Fi frekansı olarak kullanılmasıdır.

Tablo 3. 5 GHz Wi-Fi Kanalı Frekansları Tablosu

Kanal Numarası	Frekans (MHz)	Avrupa	Kuzey Amerika	Japonya
36	5180	indoor	✓	✓
40	5200	indoor	✓	✓
44	5220	indoor	✓	✓
48	5240	indoor	✓	✓
52	5260	indoor /DFS/TPC	DFS	DFS/TPC
56	5280	indoor /DFS/TPC	DFS	DFS/TPC
60	5300	indoor /DFS/TPC	DFS	DFS/TPC
64	5320	indoor /DFS/TPC	DFS	DFS/TPC
100	5500	DFS/TPC	DFS	DFS/TPC
104	5520	DFS/TPC	DFS	DFS/TPC
108	5540	DFS/TPC	DFS	DFS/TPC
112	5560	DFS/TPC	DFS	DFS/TPC
116	5580	DFS/TPC	DFS	DFS/TPC
120	5600	DFS/TPC	Erişim Yok	DFS/TPC
124	5620	DFS/TPC	Erişim Yok	DFS/TPC
128	5640	DFS/TPC	Erişim Yok	DFS/TPC
132	5660	DFS/TPC	DFS	DFS/TPC
136	5680	DFS/TPC	DFS	DFS/TPC
140	5700	DFS/TPC	DFS	DFS/TPC
149	5745	SRD	✓	Erişim Yok
153	5765	SRD	✓	Erişim Yok
157	5785	SRD	✓	Erişim Yok
161	5805	SRD	✓	Erişim Yok
165	5825	SRD	✓	Erişim Yok

### 1.17. Standart Seçimi

2.4 GHz ve 5 GHz bantları aynı anda kullanılacağından dolayı IEEE802.11n standardı seçilmiştir.

IEEE 802.11n standardı, verilerin kablosuz bir ağ üzerinden aktarılabilirdiği hızda büyük bir gelişme sağlar. Küçük dosyaların aktarıldığı ağlarda bu büyük hızlara gerek olmayabilir. Ancak gelişen teknoloji ve insanların artan istekleri artık ağ hızlarının yetersiz kalmasına ve bilim insanlarını yeni yollar aramaya yöneltmiştir. IEEE802.11n standardı, 600 Mbps hızına ulaşabilir ve OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) modülasyonunu kullanır. Bu standart kablosuz veya Wi-Fi ağları için gerekli kapasiteyi artırma zorluğunu ortadan kaldıracaktır [2].

### 1.18. Literatür Taraması

Huang ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmada 10x10x2.54 mm boyutlarında bir anten gerçekleştirmişlerdir. Bu anten üç bantlı biyoteleometri haberleşmesinde kullanılmak üzere küçültülmüş ve vücuda yerleştirilebilir şekilde tasarlanmıştır. Anteni domuzun ön ayağından alınan et üzerinde test etmişlerdir. Yapılan testler sonucunda 2.45 GHz’de  $S_{11} = -12$  dB olarak elde edilmiştir [24].

Zhou ve arkadaşları altıgen yapıda geniş bant slot anten tasarlamışlardır. Bu tasarlanan anten için 1.8 GHz ile 4.6 GHz arasında kesintisiz bir şekilde -10 dB altında yansıma katsayısı elde edilmiştir [25].

Xie ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmada 3.73 GHz ve 5.25 GHz frekanslarında çalışan 17.7x17.5 mm boyutlarında bir anten elde tasarlamışlardır. Antenin yansıma katsayıları ise 3.73 GHz’ de -19.4 dB ve 5.25 GHz’ de -17.8 dB olarak ölçülmüştür [26].

Karli ve Ammor 2015 yılında 60x70 mm boyutlarında bir anten gerçekleştirmişlerdir. Bu antenin  $S_{11}$  parametreleri 2.73 GHz frekansında -13 dB, 7.11 GHz frekansında ise -29 dB olarak belirlenmiştir [27].

Srivastava yaptığı çalışmada 50x50x1.6 mm boyutlarında 2.4 GHz ve 5.2 GHz’de çalışan bir anten tasarlamıştır. Bu antenin  $S_{11}$  parametreleri 2.33 GHz frekansında -17.6 dB ve 5.58 GHz frekansında ise -12.8 dB olarak elde edilmiştir [28].

Armağan ve Kahrıman’ın 2016 yılında yaptıkları çalışmada üç bant Wi-Fi anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu anten 52x75x1.6 mm boyutlarında ve 2.45 GHz, 3.7 GHz, 5.8 GHz frekanslarında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Antenin  $S_{11}$  parametreleri 2.45 GHz’de -27 dB, 3.7 GHz’de -28 dB ve 5.8 GHz’de -27 dB olarak ölçülmüştür [29].

Behera ve arkadaşları 2018 yılında üç bantta çalışan bir anten tasarlamışlardır. Bu antenin yansımaya katsayıları 3.3 GHz frekansta -17.65 dB, 3.78 GHz frekansta -28.82 dB ve 5.3 GHz frekansta -20.16 dB olarak ölçülmüştür [30].

Krishna ve arkadaşları boyutları 33.5 x 28.5 mm olan bir anten gerçekleştirmişlerdir. Antenin çalışma frekansı 2.5 GHz ile 4.5 GHz arasındadır. Anten fraktal yapıda yarıklı bir şekilde tasarlanmıştır. Yansımaya katsayısı ise 2.5 GHz'de -24 dB olarak bulunmuştur [31].



## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Giriş

Bu çalışmada, gerçek değerlere yakın sonuçlar veren anten tasarımları yapan CST (Computer Simulation Technology) simülasyon programı [32] ile 2.4 GHz ve 5.2 GHz frekanslarında çalışan mikroşerit yama Wi-Fi anten tasarımları yapılmıştır. Bu yapılan tasarımların farklı parametreleri değiştirilerek en iyi sonuçları veren tasarım belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada tasarlanan anten yapısı, dikdörtgen, üçgen ve daire ana şekillerinin birleşimi ile elde edilmiştir. Tasarımın bazı parametrelerindeki değişimin anten çıktılarına önemli derecede etki ettiği gözlenmiştir. Bu parametrelerde yapılan değişimler incelenerek antenin en verimli çalışacağı sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlarda özellikle  $S_{11}$  parametresine, ana kulak genliğine, ana kulak doğrultusuna ve iki boyutlu ışınma örüntüsüne bakılmıştır.

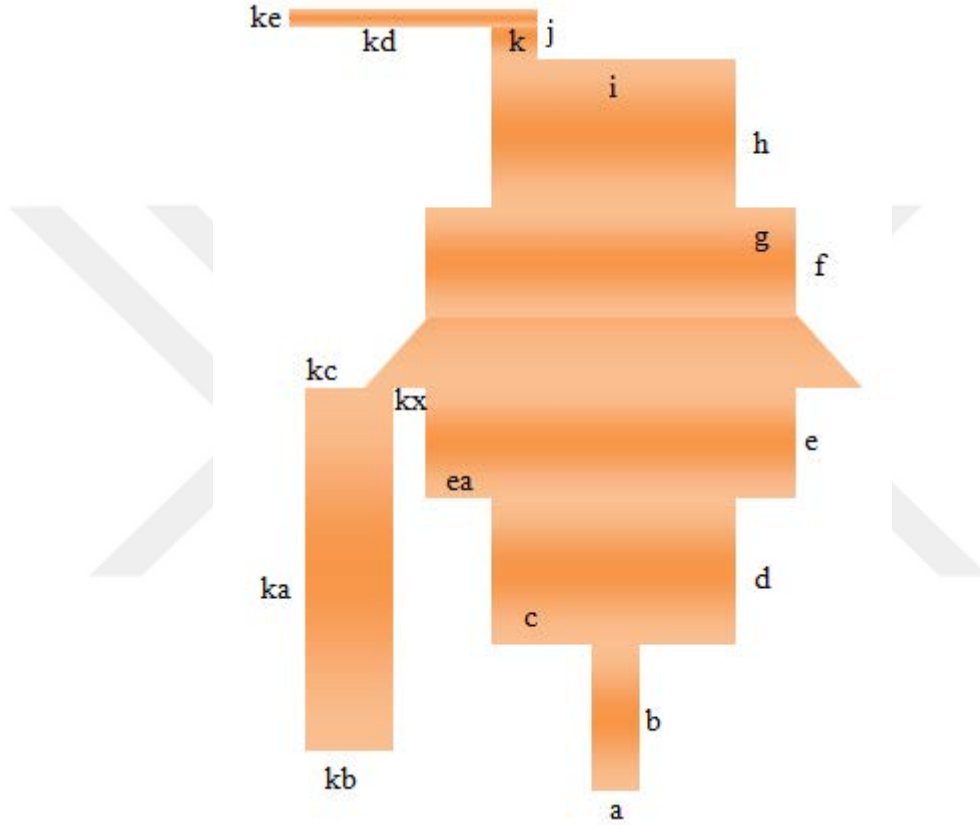
### 2.2. Simülasyon Çalışması

Anten simülasyonlarında CST Studio Suite gibi gelişmiş yazılımlar kullanılarak yapılan simülasyonlar oldukça gerçeğe yakın sonuçlar verebilmektedir. Simülasyon programında kullanılan malzemelerin özellikleri gerçek malzemelerle birebir aynı olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu durum gerçeğe çok yakın sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

Simülasyon çalışmasının avantajı, çalışmaların sadece bilgisayar ortamında yapılmasından dolayı herhangi bir donanım maliyeti ve bu donanımda yaşanabilecek sorunların çözümü için herhangi bir kayıp iş gücü olmamasıdır. Ayrıca simülasyon çalışmasında antenin parametrelerinde veya şeklinde herhangi bir değişiklik yapmak, gerçek bir antende değişiklik yapmaktan oldukça kolaydır. Tüm bu avantajlarına rağmen yine de simülasyon çalışması sonuçlarının gerçek anten çalışmalarıyla birebir aynı olması pek mümkün değildir. Gerçek anten çalışmalarında birçok değişik parametre çalışmalara katılabilmektedir.

### 2.3. Anten Boyutlarının Performans Üzerine Etkileri

Şekil 6'da anten boyutlarının parametrelendirilmiş hali görülmektedir. Parametrelerden antenin performansını en çok etkileyenler belirlenmiştir. Bu parametrelere farklı değerler verilmiş ve hedeflere uygun anten boyutları bulunmaya çalışılmıştır.



Şekil 6. Anten boyutlarının parametrelendirilmiş hali

#### 2.3.1. Parametrelerin Değişimi

$kd+k$ ,  $ke$ ,  $ka$  ve  $kb$  parametrelerinin anten sonuçlarına önemli derecede etki ettiği yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Antenin en verimli çalışacağı noktayı belirlemek için farklı değerler referans alınmış ve bu değer sonuçları yapılan simülasyon çalışmaları ile karşılaştırılmıştır.

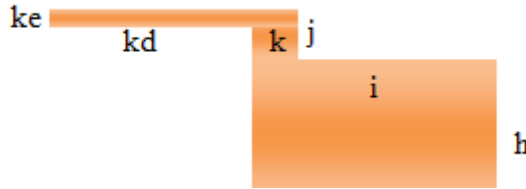
Tablo 4. Parametrelerin değişim tablosu

Parametre	1.Durum(mm)	2.Durum(mm)	3.Durum(mm)	4.Durum(mm)
kd+k	6	10	18	22
ke	2	8	12	
ka	6	14	22	
kb	2	7	10	

Yapılan alışmalar sonucu Tablo 4'teki değerlerin  $S_{11}$  ve maksimum ışıma doğrultularını en çok etkileyen değerler olduğu belirlenmiş ve bunlar referans değerleri olarak seçilmiştir.

### 2.3.2. Ana Gövde zerinde Yapılan Parametre alışmaları

şekil 7 'de üzerinde çalışılacak  $i + k$  parametresinin gösterimi yapılmıştır.

şekil 7. Tasarlanan antende  $i+k$  parametre gösterimi

1. Durum:  $i+k=6$  mm iken  $k=1$  mm
2. Durum:  $i+k=6$  mm iken  $k=2$  mm
3. Durum:  $i+k=10$  mm iken  $k=2$  mm

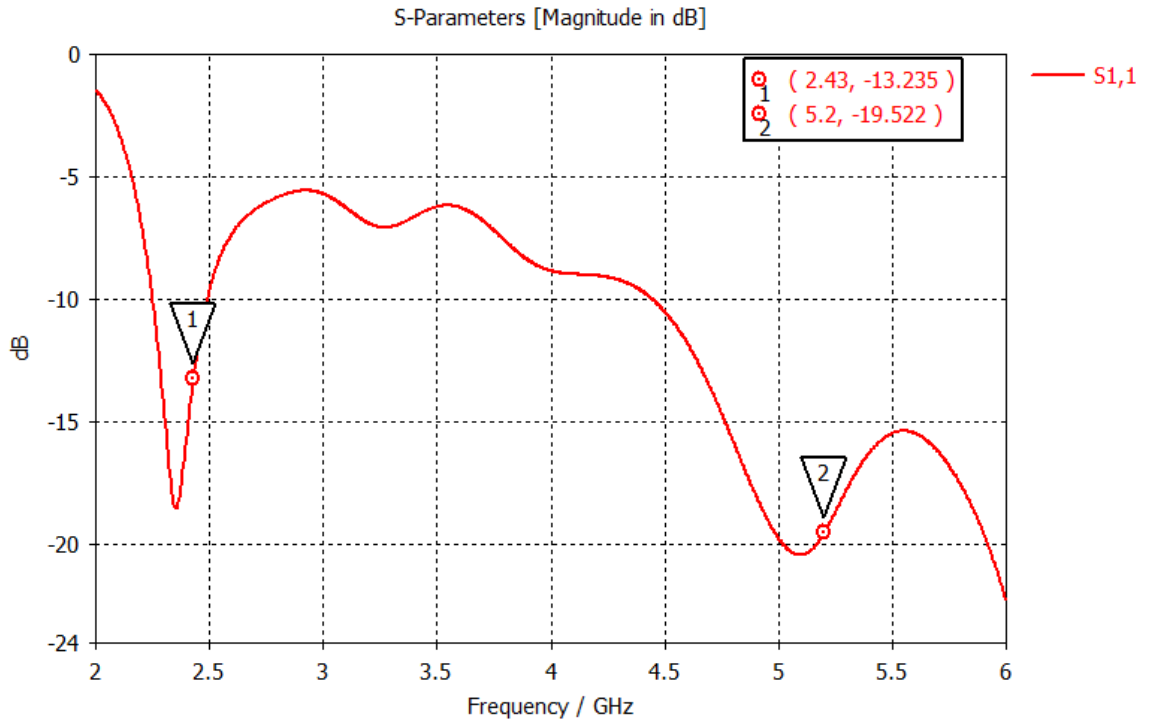
$i+k$  parametresi değişimi 3 durum için ayrı ayrı incelendi. Elde edilen  $S_{11}$  ve ışıma örüntüleri yorumlanarak en uygun değer seçildi. Maksimum ışıma doğrultularının birbirine yakın olmasına ve ana kulak genliğinin yüksek olmasına dikkat edildi.

### 3. BULGULAR

Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen  $S_{11}$  ve ışıma örüntüleri ayrı ayrı gösterilmiştir.

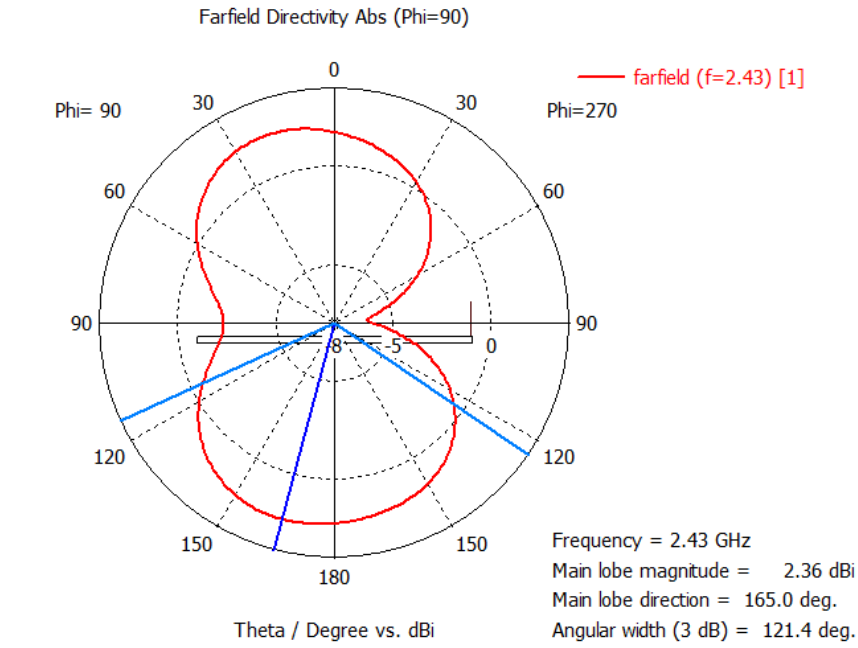
#### 3.1. $S_{11}$ ve Işıma Örüntüsünün $kd + k$ Parametresi ile Değişimi

1.  $kd + k = 6$  mm için:

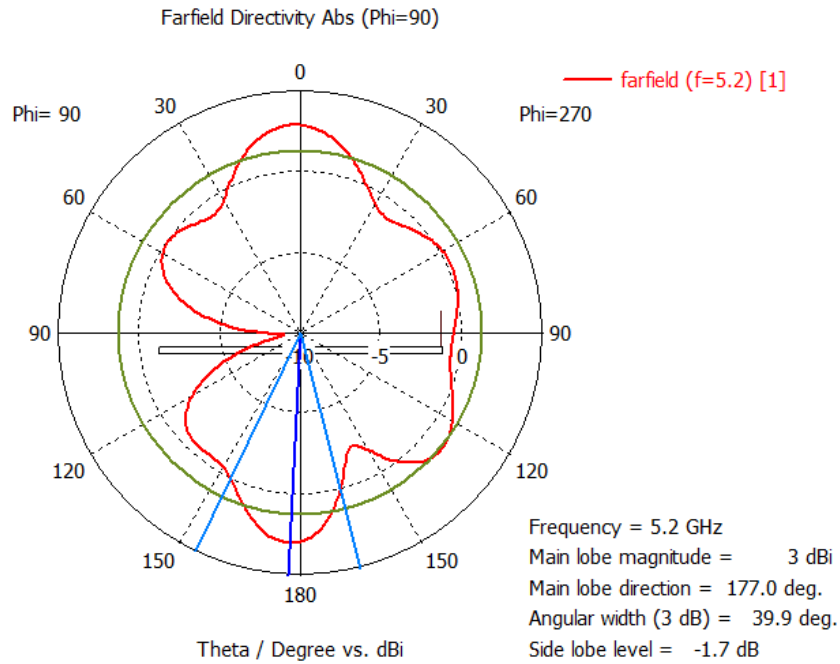


Şekil 8.  $kd + k = 6$  mm için  $|S_{11}|$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi





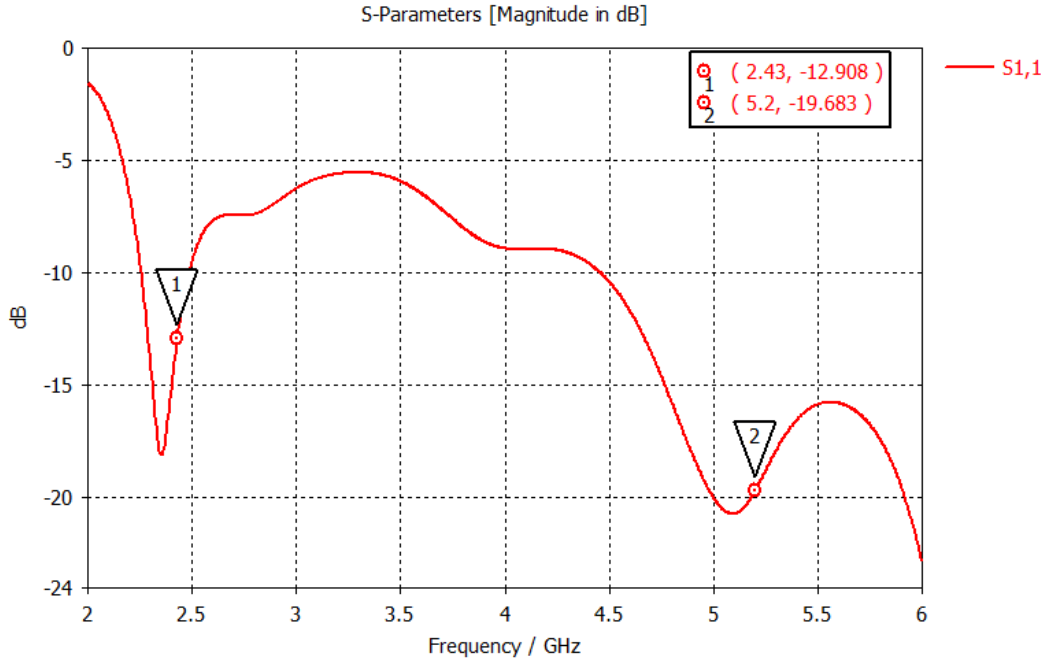
Şekil 9.  $kd + k = 6$  mm için 2.43 GHz frekansta ışımaya örüntüsü



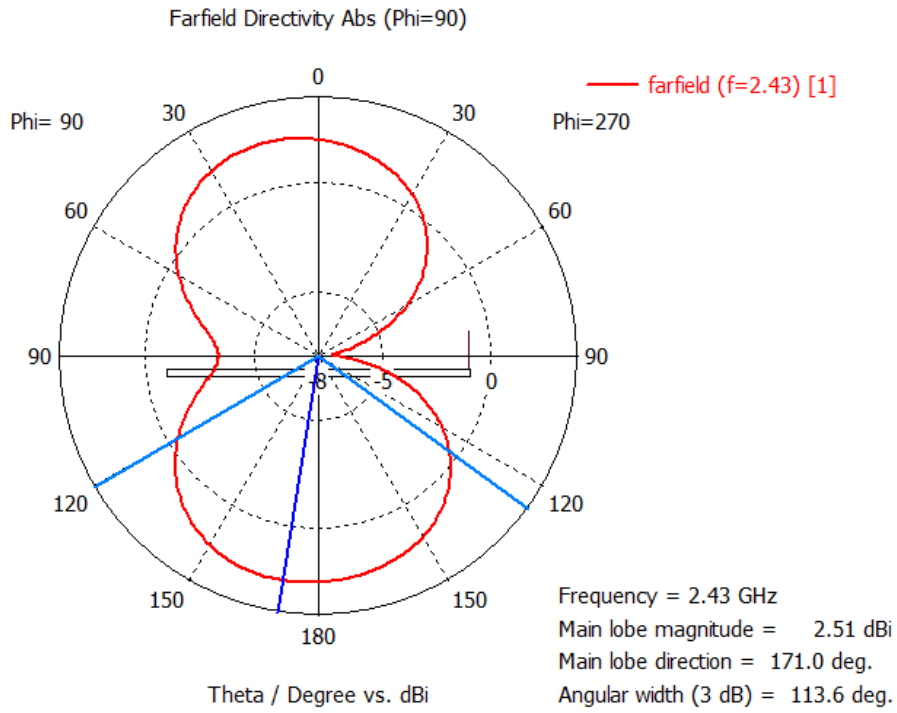
Şekil 10.  $kd + k = 6$  mm için 5.2 GHz frekansta ışımaya örüntüsü

Şekil 8'deki  $S_{11}$  değerleri antenin çalışması için gereken şartı sağlamaktadır. Ancak Şekil 9 ve Şekil 10'daki ışımaya örüntülerinde maksimum ışımaya doğrultusu  $\theta = 180^\circ$  yönündedir. Bu anten tasarımında istediğimiz bir durum değildir.

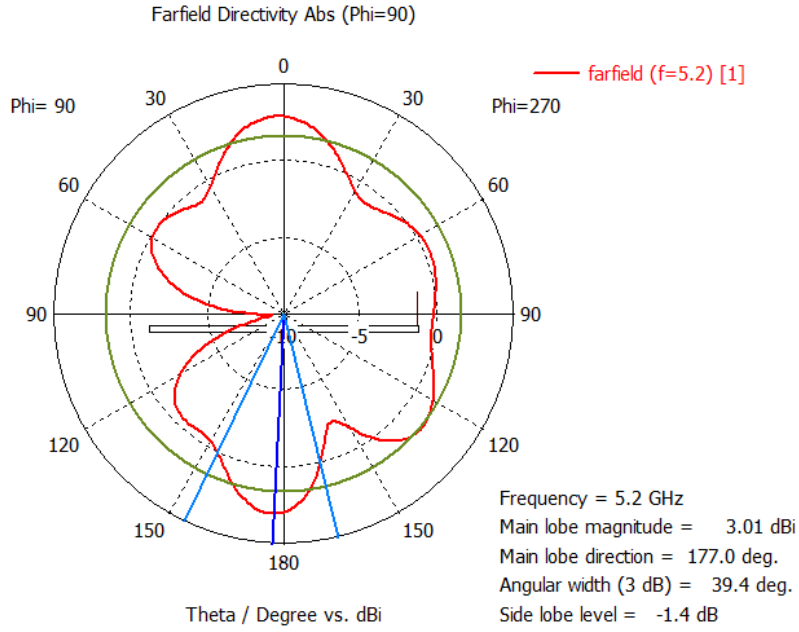
2.  $kd + k = 10$  mm için:



Şekil 11.  $kd + k = 10$  mm için  $|S_{11}|$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi



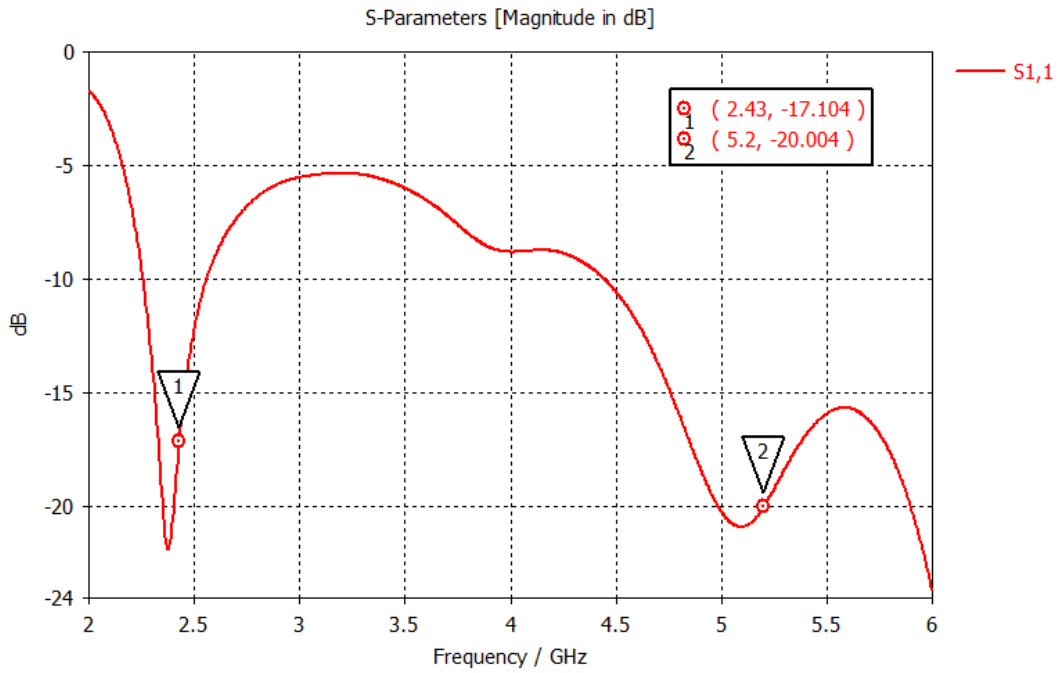
Şekil 12.  $kd+k = 10$  mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



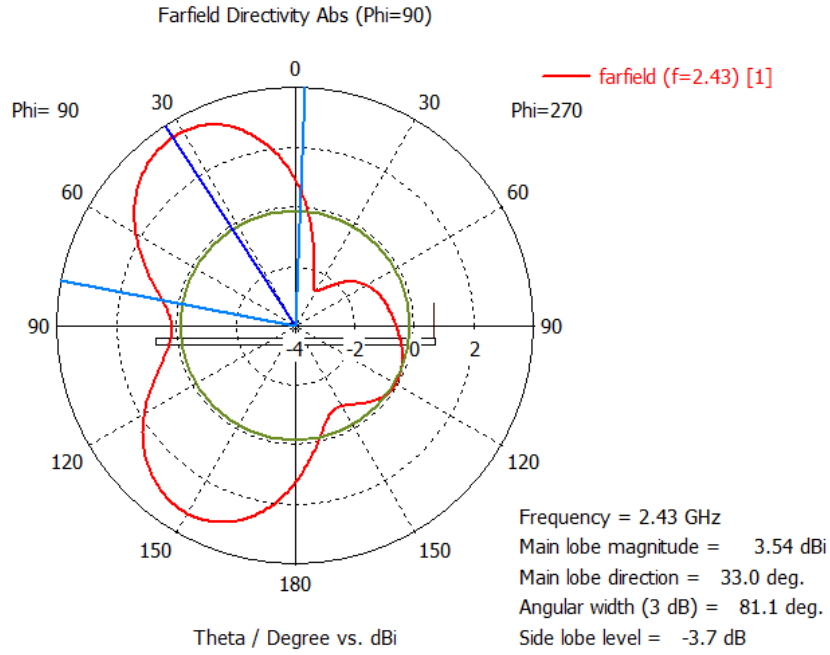
Şekil 13.  $kd + k = 10$  mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışımaya örüntüsü

Şekil 11'deki  $S_{11} < -10$  dB'den küçük olma şartını sağlamıştır. Ancak Şekil 12 ve Şekil 13'teki ışımaya örüntülerinde maksimum ışımaya doğrultusu  $\theta = 180^\circ$  yönündedir.

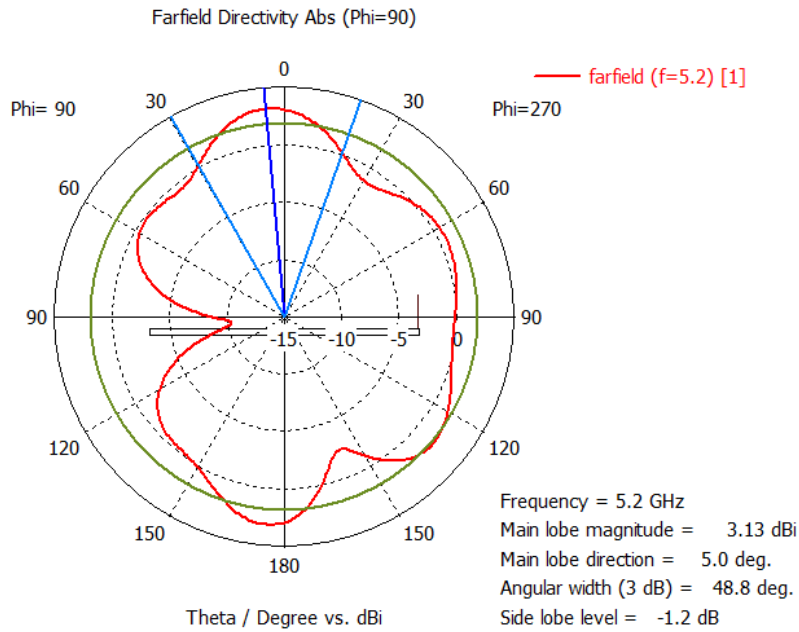
3.  $kd + k = 18$  mm için:



Şekil 14.  $kd + k = 18$  mm için  $|S_{11}|^2$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi



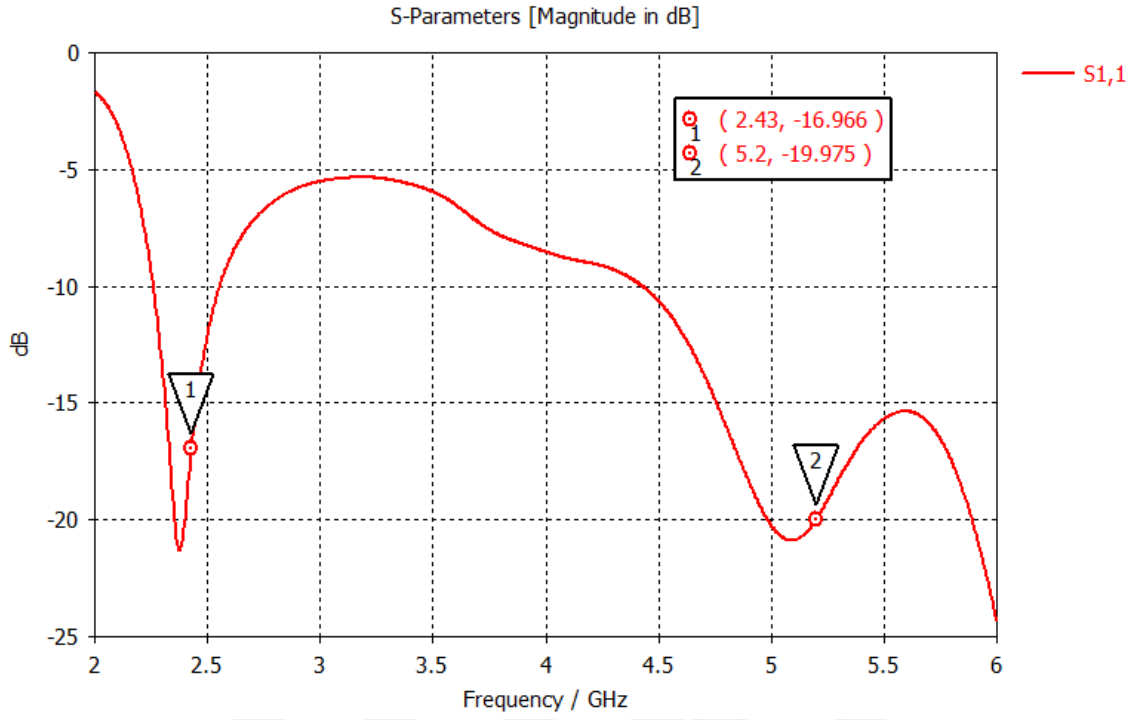
Şekil 15.  $kd+k = 18$  mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



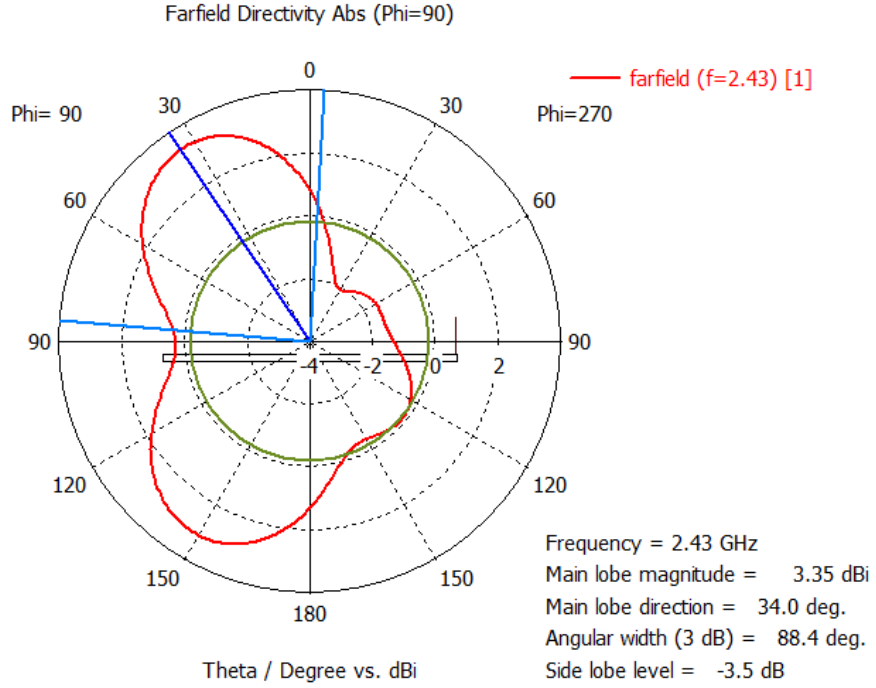
Şekil 16.  $kd+k = 18$  mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 14'te elde edilen  $S_{11}$  değerleri bu parametre için yapılan çalışmalarda elde edilen en iyi değerlerdir. Şekil 15 ve Şekil 16'daki ışınma örüntülerinin maksimum ışınma doğrultuları birbirine yakın ve istenilen  $\theta = 0^\circ$  yönündedir.

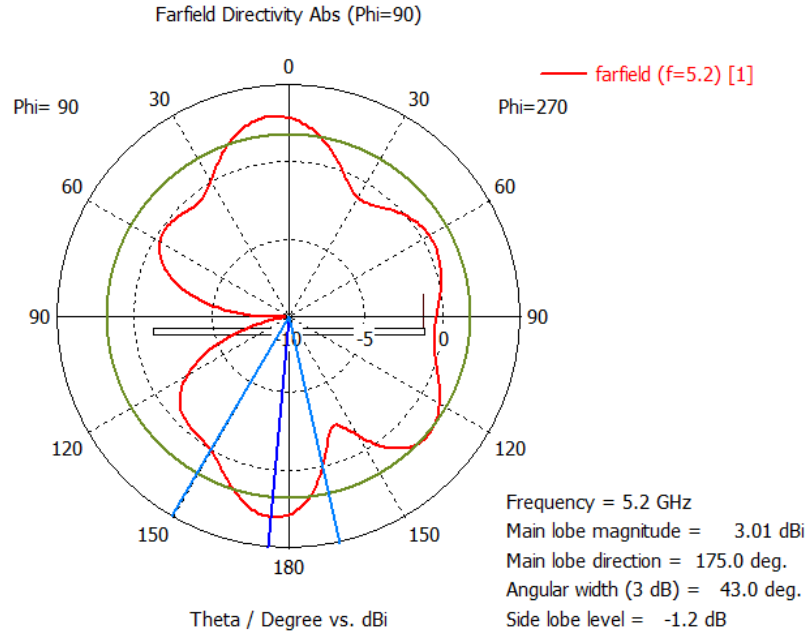
4.  $kd + k = 22$  mm için:



Şekil 17.  $kd + k = 22$  mm için  $|S_{11}|$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi



Şekil 18.  $kd+k = 22$  mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



Şekil 19.  $kd+k = 22$  mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 17’de elde edilen  $S_{11}$  değerleri antenin çalışması için uygun değerlerdir. Ancak Şekil 18 ve Şekil 19’daki ışınma örüntülerinde maksimum ışınma doğrultuları birbirinden farklı yönlerde. Bu istenilen bir durum değildir.

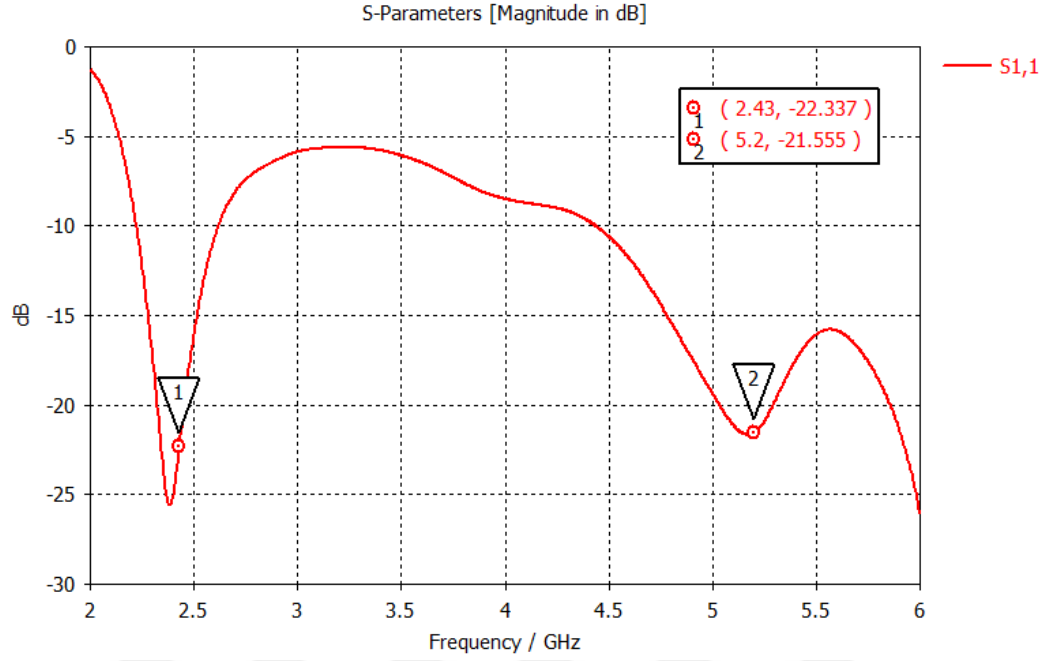
Tablo 5.  $kd + k$  parametresinin boyut karşılaştırma tablosu

kd+k Parametresinin Boyutu (mm)	2.43 GHz			5.2 GHz		
	$S_{11}$ (dB)	Ana kulak genliği (dBi)	Ana kulak doğrultusu (Derece)	$S_{11}$ (dB)	Ana kulak genliği (dBi)	Ana kulak doğrultusu (Derece)
6	-13.325	2.36	165.0	-19.522	3.0	177.0
10	-12.908	2.51	171.0	-19.683	3.01	177.0
18	-17,104	3.54	33.0	-20.004	3.13	5.0
22	-16.966	3.35	34.0	-19.975	3.01	175.0

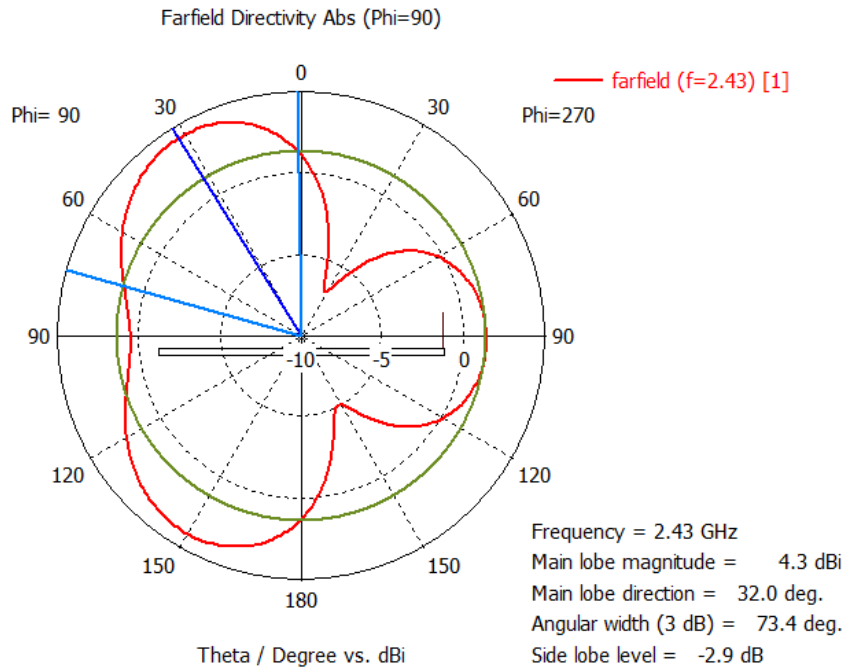
$kd + k$  parametresi Tablo 5’te gösterilen  $S_{11}$  değerlerine ve ana kulak doğrultularının birbirine yakınlığına bakıldığında en uygun değer 18 mm olduğu görülmektedir.

### 3.2. $S_{11}$ ve Işıma Örüntüsünün $k_e$ Parametresi ile Değişimi

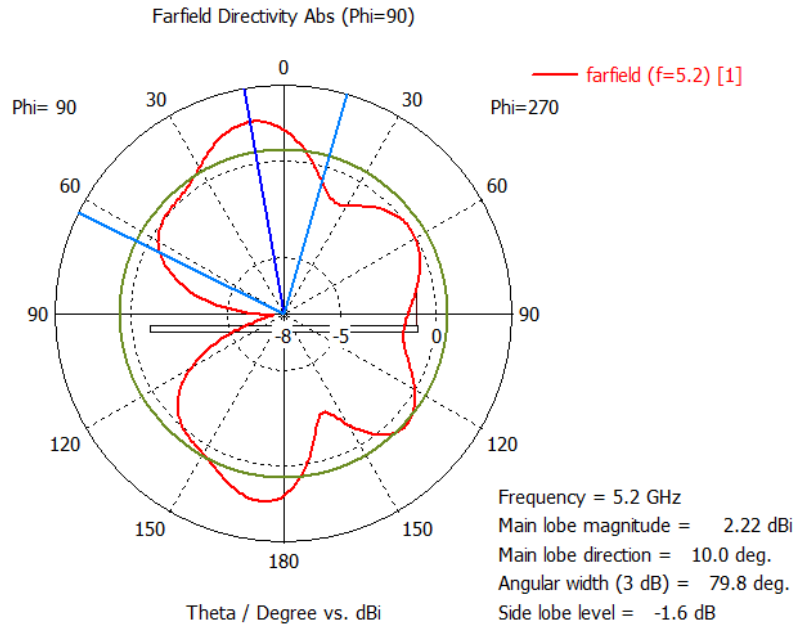
1.  $k_e = 2$  mm için:



Şekil 20.  $k_e = 2$  mm için  $|S_{11}|$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi



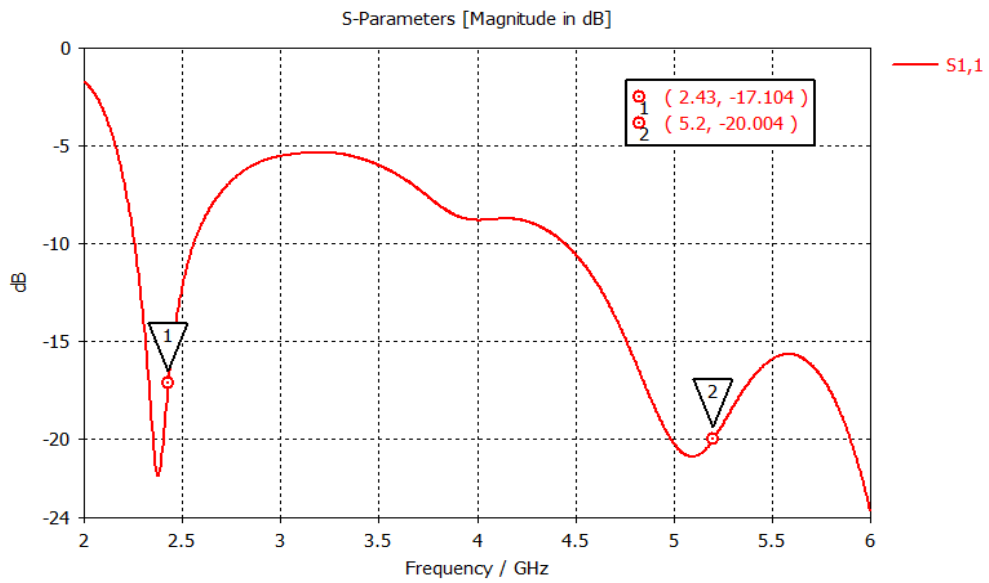
Şekil 21.  $k_e = 2$  mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



Şekil 22.  $k_e = 2$  mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü

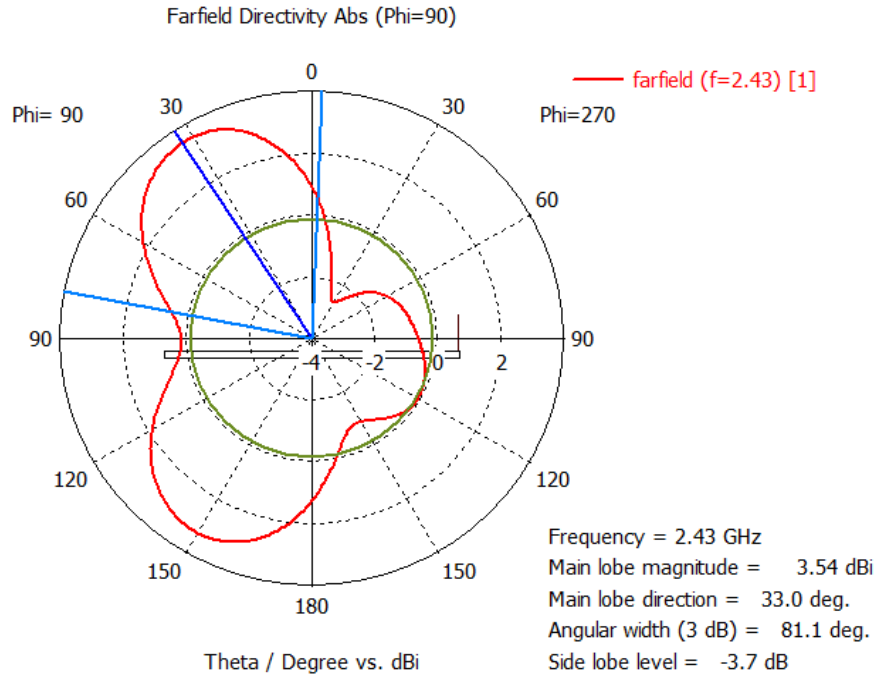
Şekil 20’de elde edilen  $S_{11}$  değerleri antenin çalışması için gerekli şartları sağlamaktadır. Şekil 21 ve Şekil 22’deki ışınma örüntülerine bakıldığında maksimum ışınma doğrultularının birbirine yakın ve aynı yönde olduğu görülmektedir. Bu istenilen durumdur.

2.  $k_e = 8$  mm için:

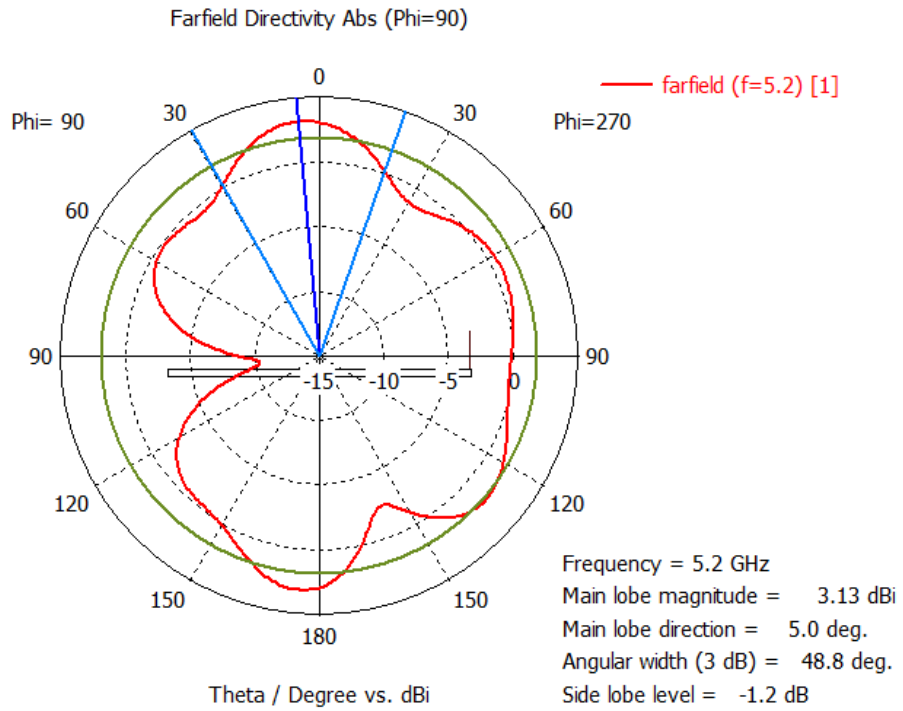


Şekil 23.  $k_e = 8$  mm için  $|S_{11}|$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi





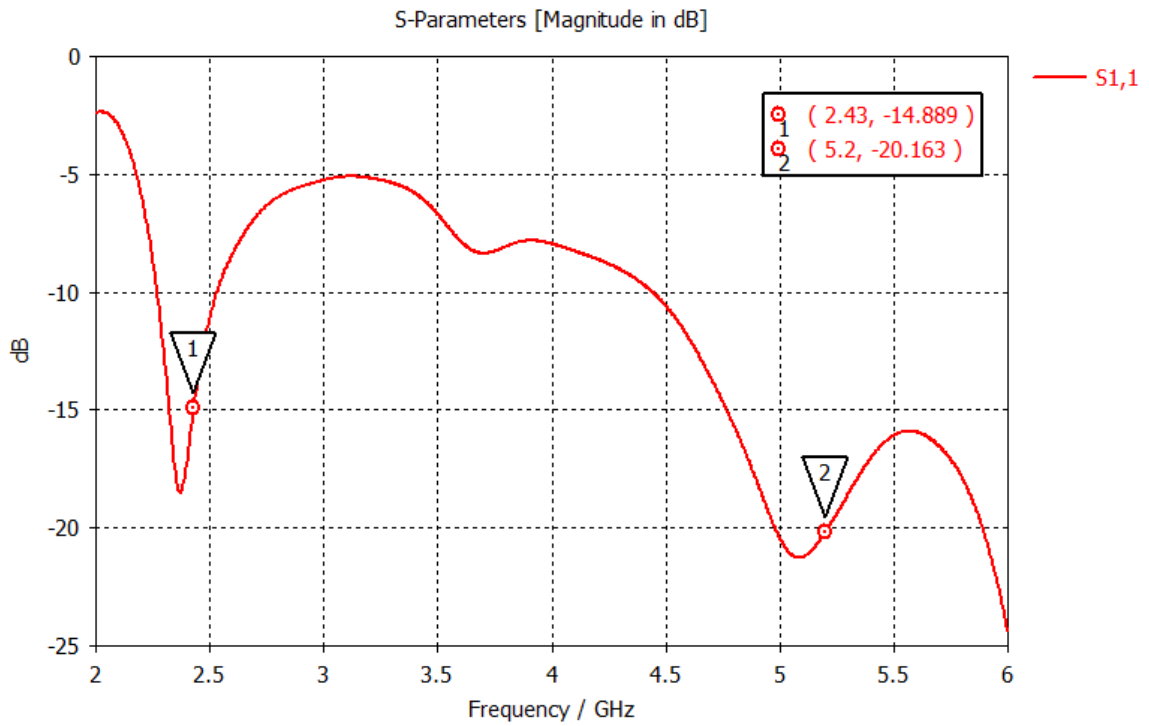
Şekil 24.  $ke = 8$  mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışıma örüntüsü



Şekil 25.  $ke = 8$  mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışıma örüntüsü

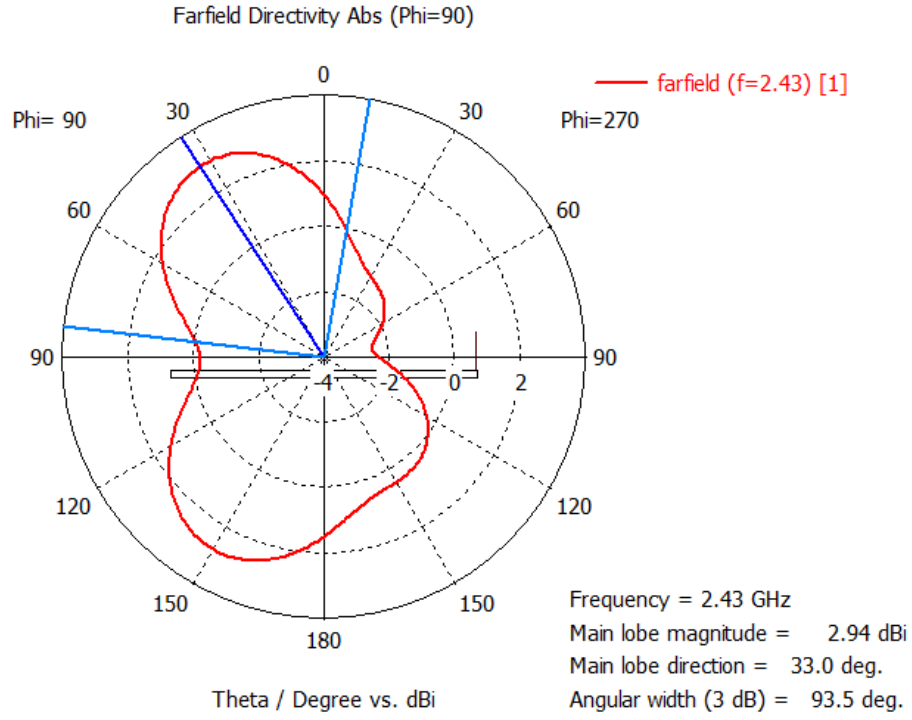
Şekil 23’de antenin iki bantta da çalıştığı  $S_{11}$  parametrelerinden anlaşılmaktadır. Ancak  $S_{11}$  değerleri 2 mm’de yapılan çalışmaya göre azalmıştır. Şekil 24 ve Şekil 25’te verilen ışına örüntülerinde ise maksimum ışına doğrultularının birbirine yakın ve aynı doğrultularda olduğu görülmektedir. Ancak 2 mm için yaptığımız çalışmalarda doğrultular birbirine 8 mm’de gerçekleştirilen çalışmalardan daha yakın olduğu için tasarımda 2 mm tercih edilmiştir.

3.  $k_e = 12$  mm için:

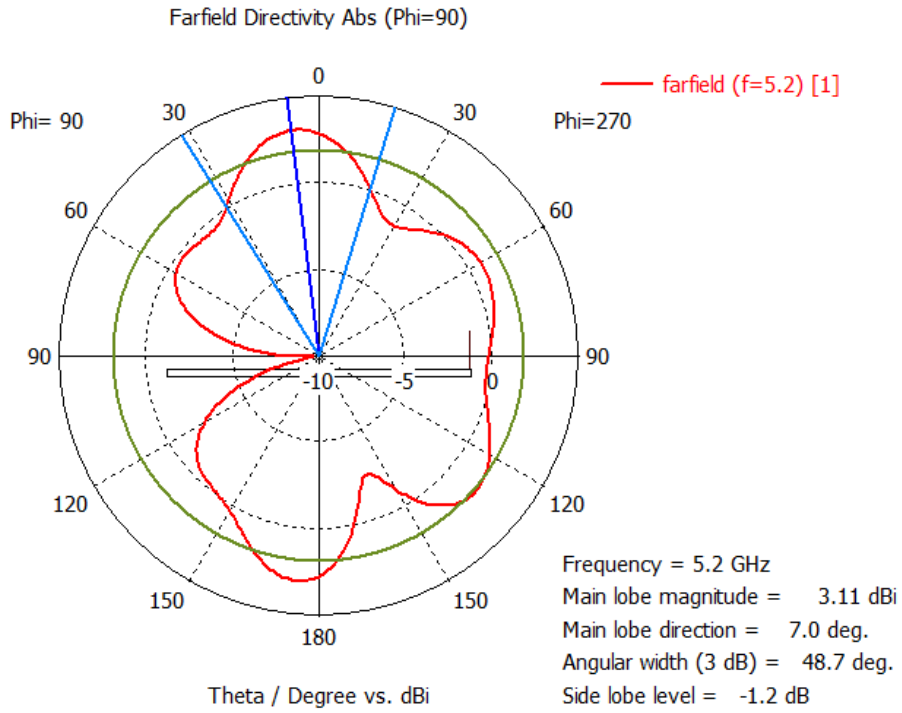


Şekil 26.  $k_e = 12$  mm için  $|S_{11}|$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi

Şekil 26’deki  $S_{11}$  parametreleri diğer çalışmalara göre azalmıştır. Şekil 27 ve Şekil 28’deki ışına örüntüleri birbirine yakın ve aynı doğrultudadır.



Şekil 27.  $ke = 12$  mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



Şekil 28.  $ke = 12$  mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü

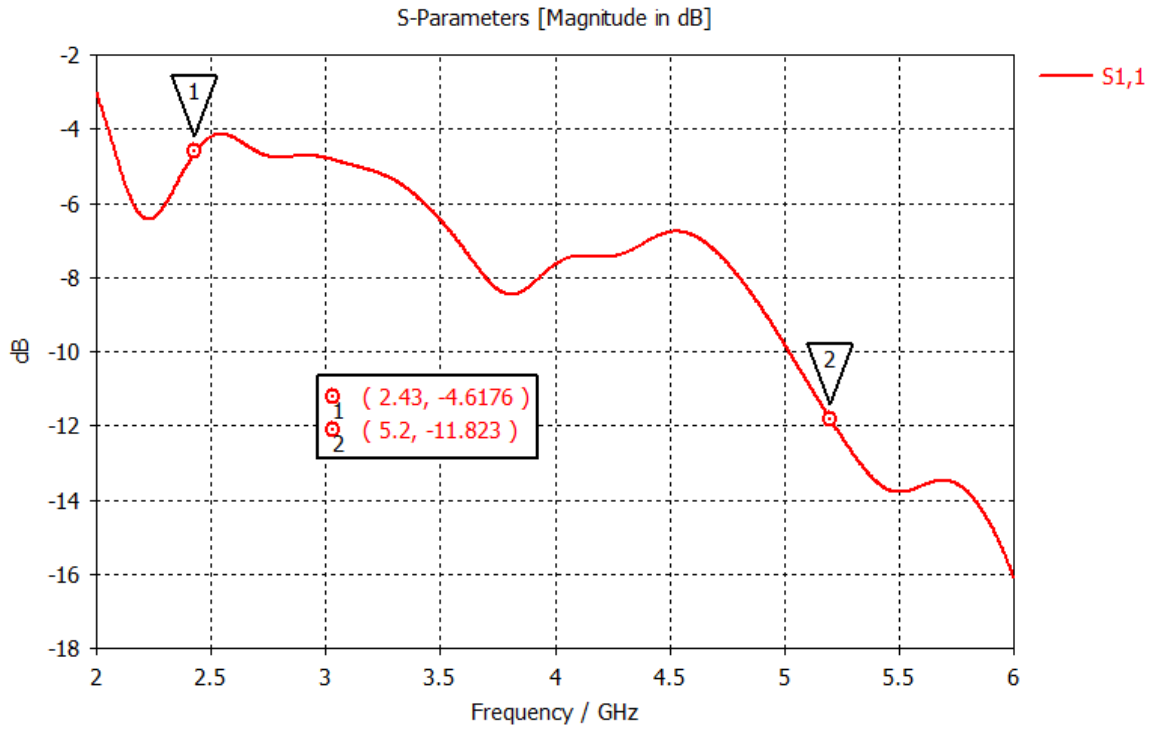
Tablo 6. ke parametresinin boyut karşılaştırma tablosu

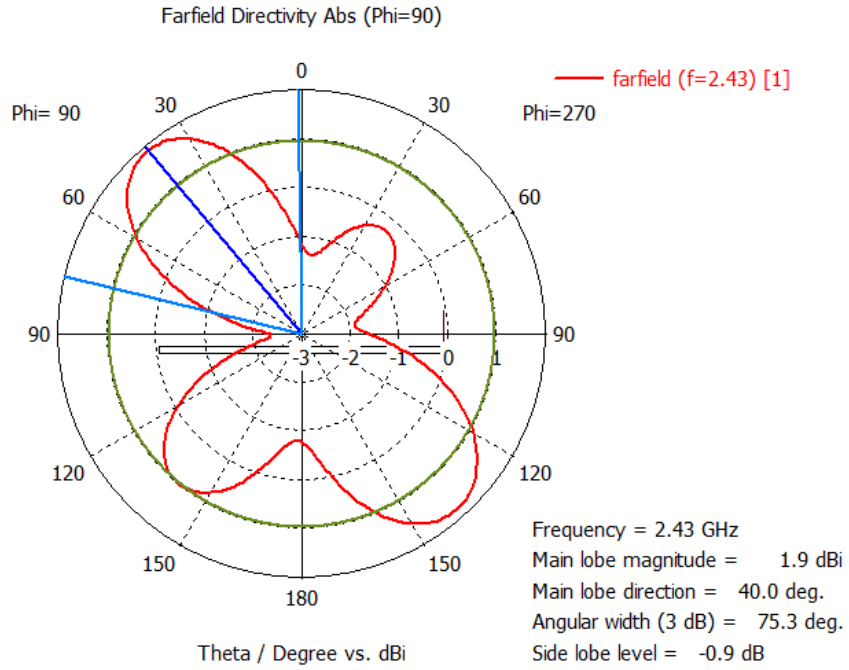
ke Parametresinin Boyutu (mm)	2.43 GHz			5.2 GHz		
	S <sub>11</sub> (dB)	Ana kulak genliği (dBi)	Ana kulak doğrultusu (Derece)	S <sub>11</sub> (dB)	Ana kulak genliği (dBi)	Ana kulak doğrultusu (Derece)
2	-22.337	4.3	32.0	-21.555	2.22	10.0
8	-17.104	3.54	33.0	-20.004	3.13	5.0
12	-14.889	2.94	33.0	-20.163	3.11	7.0

ke parametresi için Tablo 6'da gösterilen S<sub>11</sub> değerlerine ve ana kulak doğrultularının birbirine yakınlığına bakıldığında en uygun değer 2 mm olduğu görülmektedir.

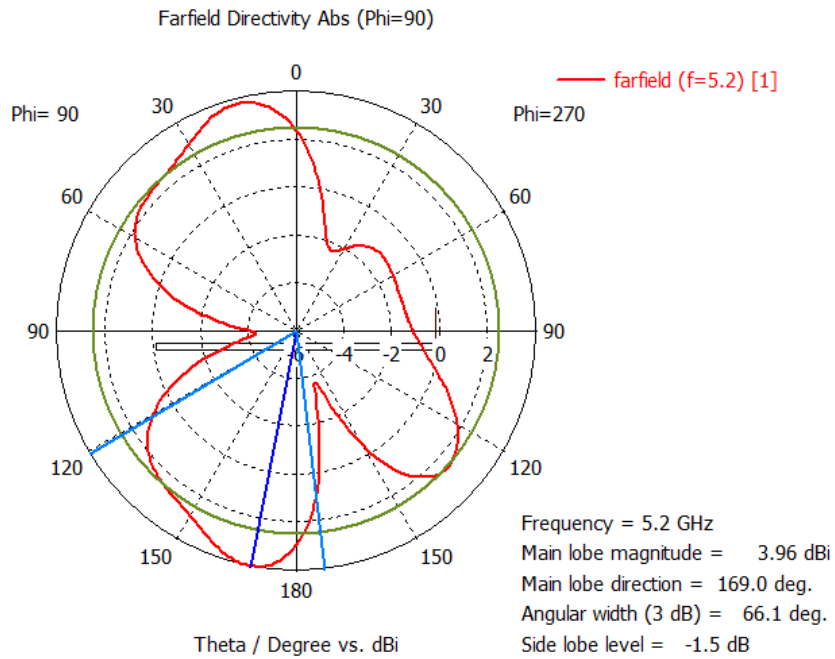
### 3.3. S<sub>11</sub> ve Işıma Örüntüsünün ka Parametresi ile Değişimi

1. ka = 6 mm için:

Şekil 29. ka = 6 mm için |S<sub>11</sub>|'in dB cinsinden frekansla değişimi



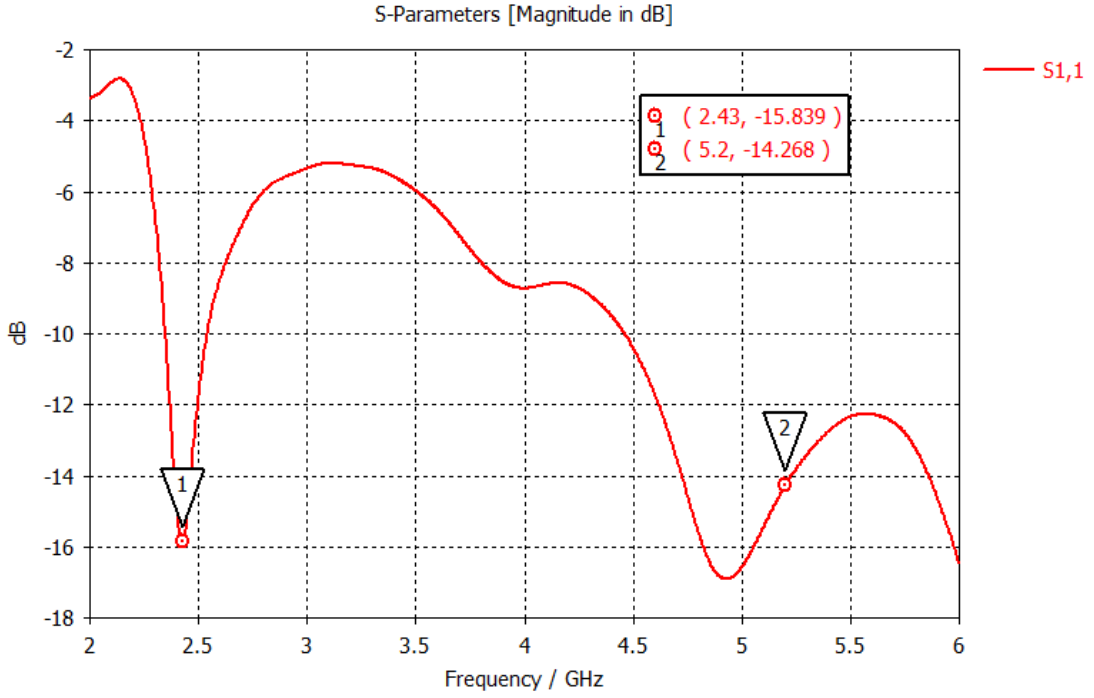
Şekil 30.  $ka = 6$  mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



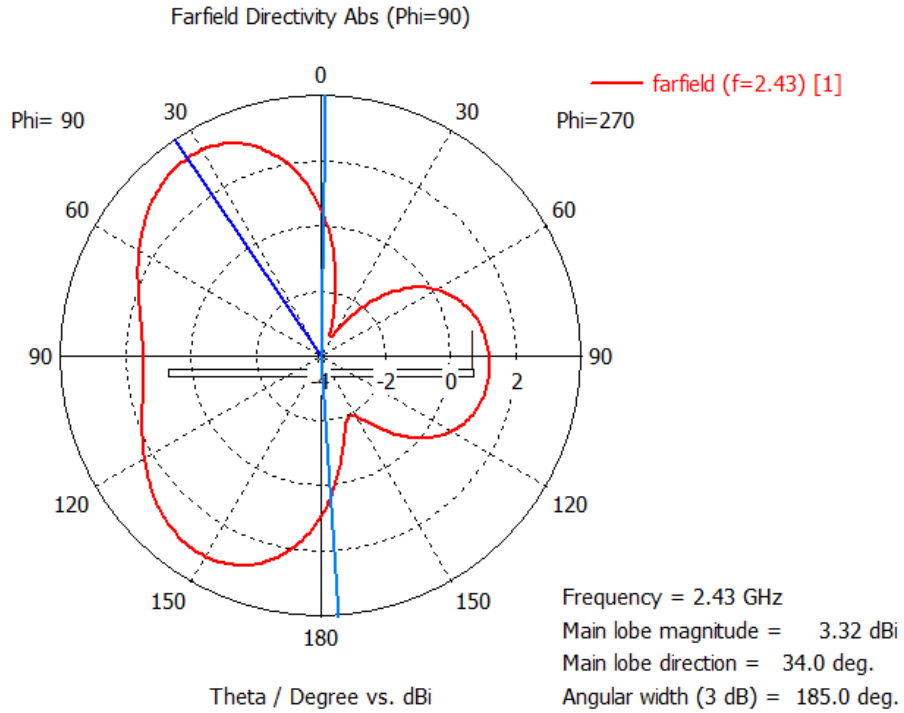
Şekil 31.  $ka = 6$  mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 29'daki  $S_{11}$  değerleri Wi-Fi anten için uygun değildir. Şekil 30 ve Şekil 31'deki ışınma örüntülerinin doğrultuları birbirinden farklı yöndedir.

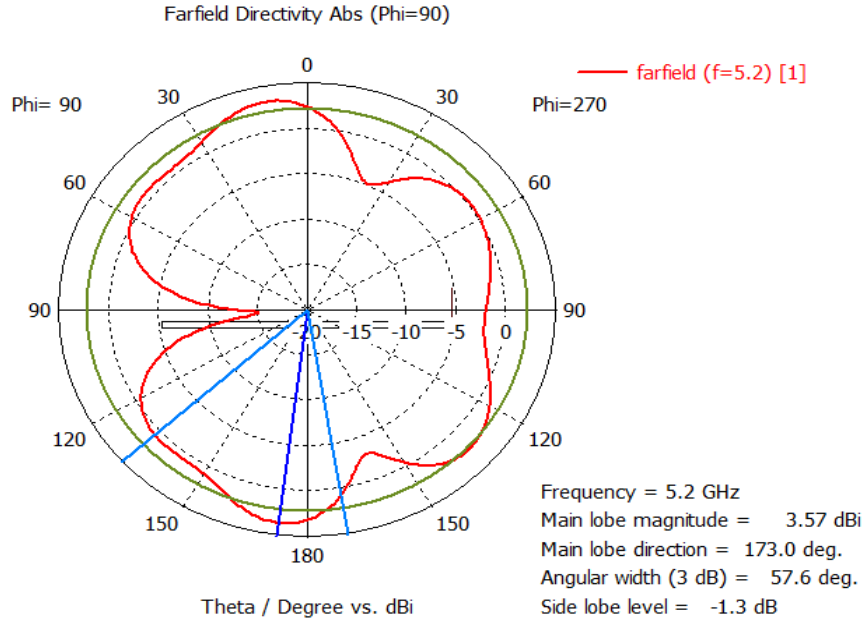
2.  $k_a = 14$  mm için:



Şekil 32.  $k_a = 14$  mm için  $|S_{11}|$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi



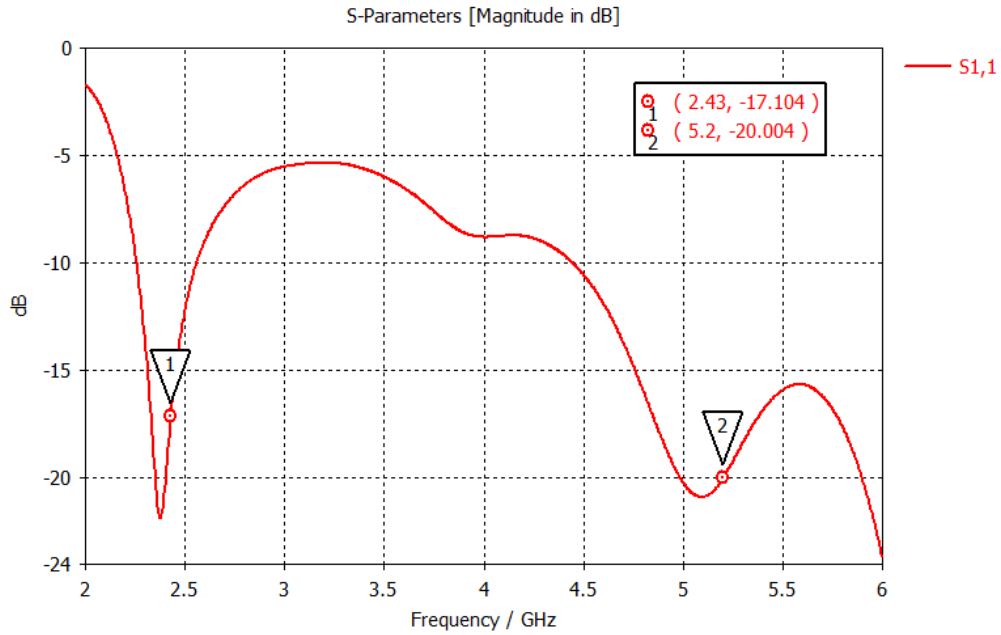
Şekil 33.  $k_a = 14$  mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



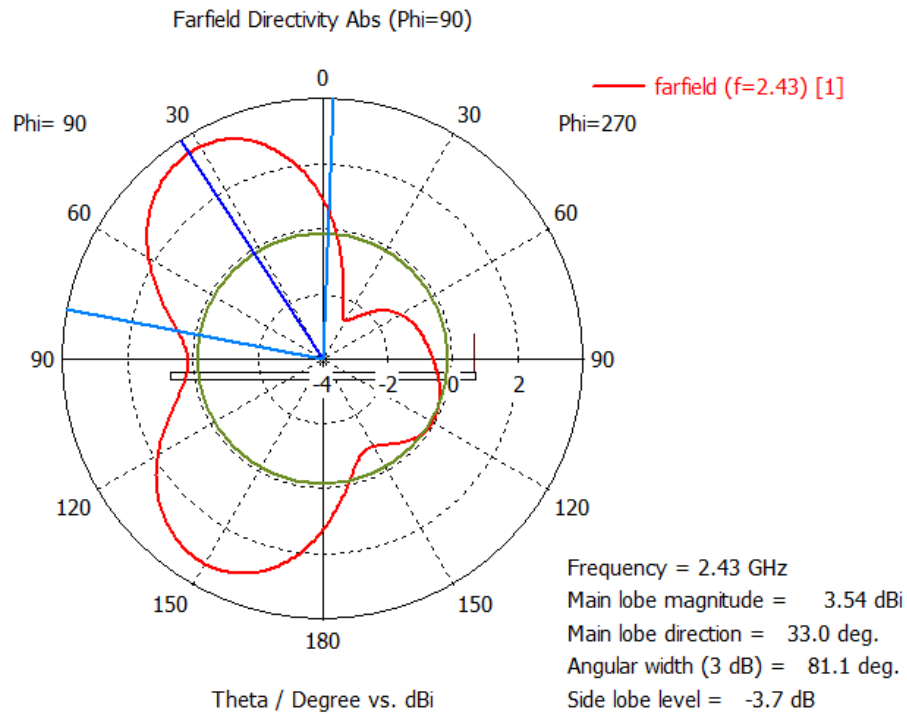
Şekil 34.  $k_a = 14$  mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 32’de gösterilen  $S_{11}$  değerleri antenin çalışması için uygundur. Ancak Şekil 33 ve Şekil 34’te elde edilen ışınma örüntüleri birbirinden farklı doğrultularda olduğu için bu değer anten tasarımında tercih edilmemiştir.

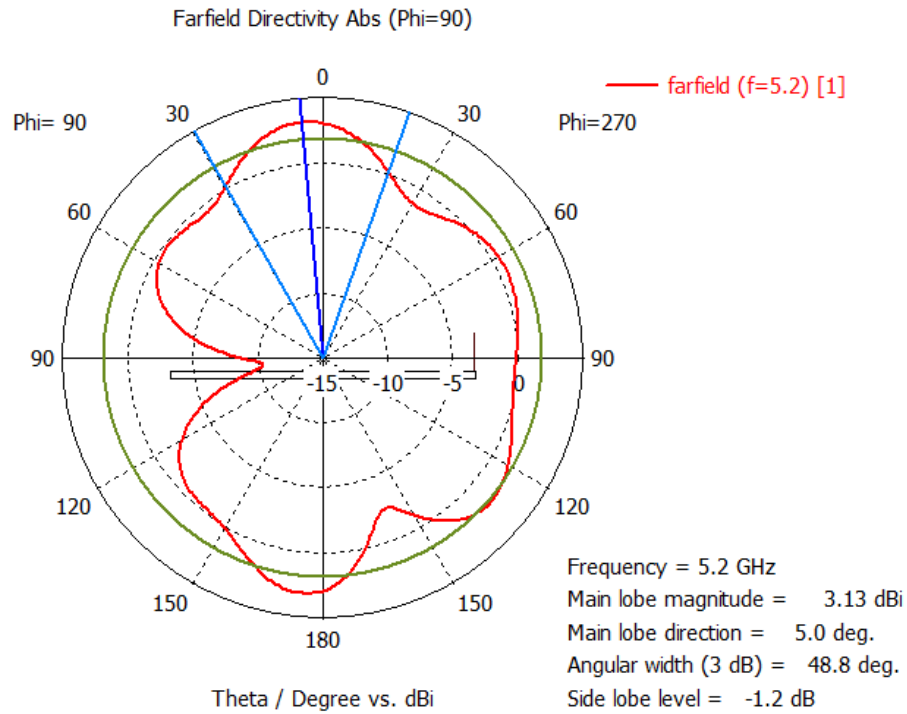
3.  $k_a = 22$  mm için:



Şekil 35.  $k_a = 22$  mm için  $|S_{11}|$ ’in dB cinsinden frekansla değişimi



Şekil 36.  $ka = 22$  mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



Şekil 37.  $ka = 22$  mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



Şekil 35’te elde edilen  $S_{11}$  değerleri bu parametre için elde edilen en iyi değerlerdir. Şekil 36 ve Şekil 37’de gösterilen ışına örüntüleri aynı doğrultularda ve birbirine yakındır.

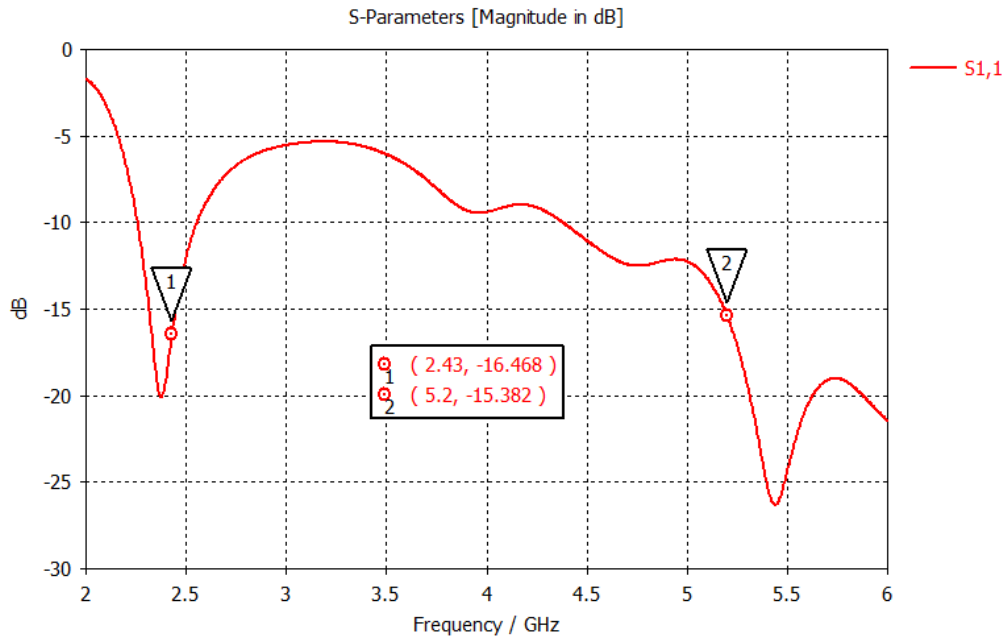
Tablo 7. ka parametresinin boyut karşılaştırma tablosu

Ka Parametresinin Boyutu (mm)	2.43 GHz			5.2 GHz		
	$S_{11}$ (dB)	Ana kulak genliği (dBi)	Ana kulak doğrultusu (Derece)	$S_{11}$ (dB)	Ana kulak genliği (dBi)	Ana kulak doğrultusu (Derece)
6	-4.617	1.9	40	-11.823	3.96	169.0
14	-15.839	3.32	34.0	-14.268	3.57	173.0
22	-17.104	3.54	33.0	-20.004	3.13	5.0

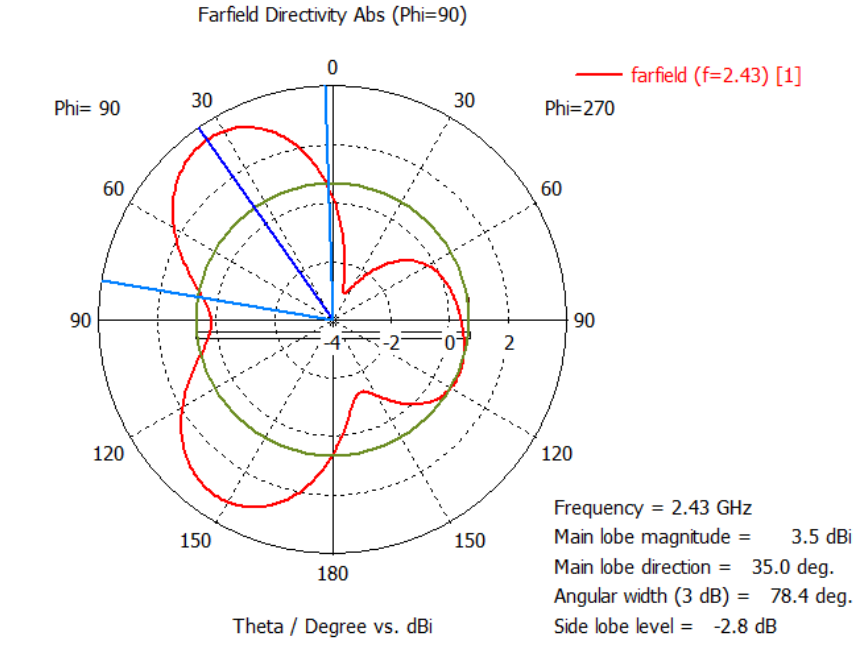
ka parametresi için Tablo 7’de gösterilen  $S_{11}$  değerlerine ve ana kulak doğrultularının birbirine yakınlığına bakıldığında en uygun değer 22 mm olduğu görülmektedir.

### 3.4. $S_{11}$ ve Işıma Örüntüsünün kb Parametresi ile Değişimi

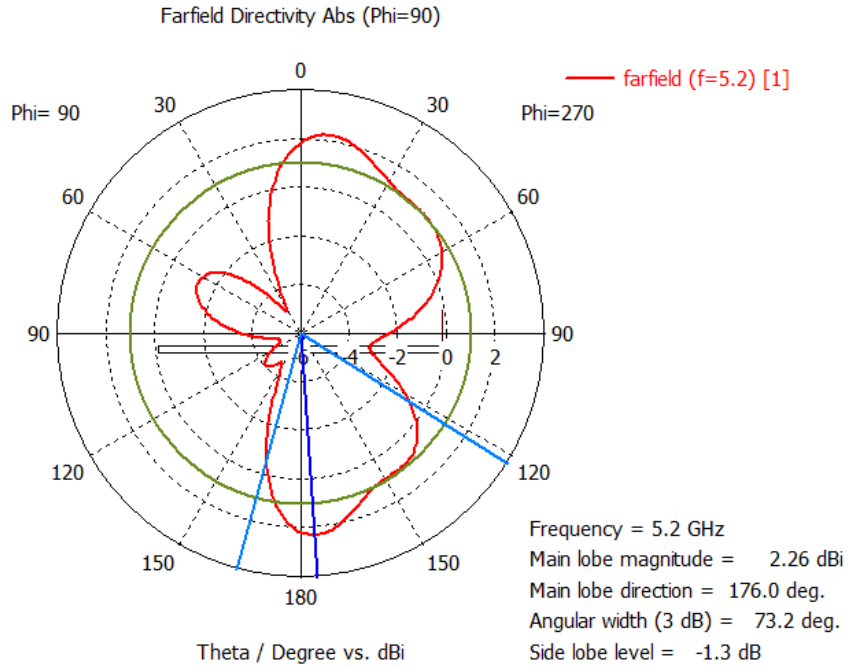
1. kb = 2 mm için:



Şekil 38. kb = 2 mm için  $|S_{11}|$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi



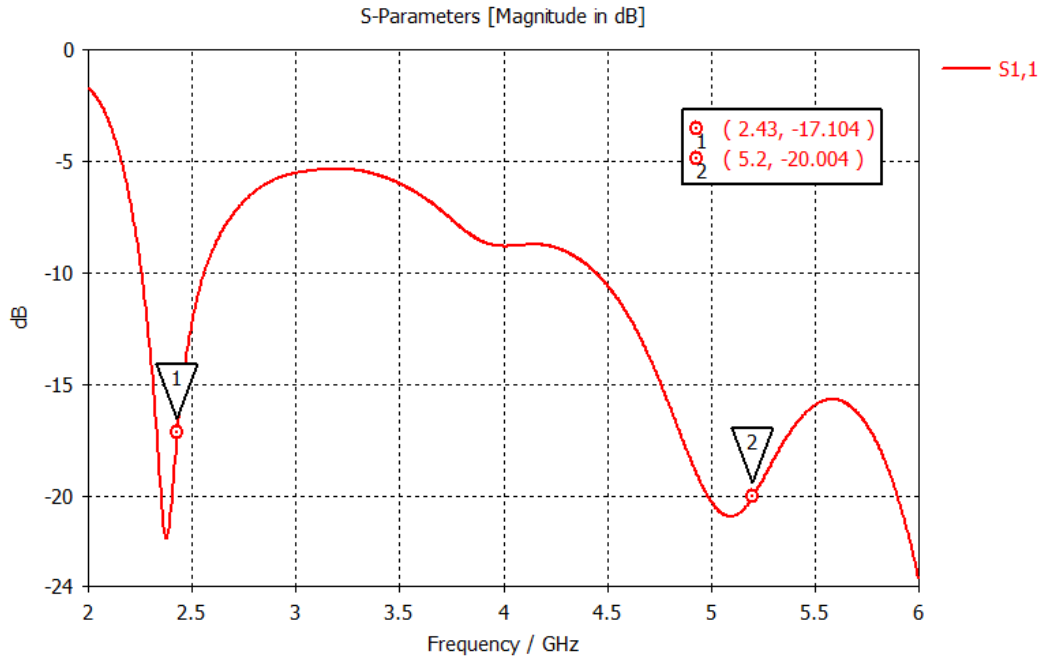
Şekil 39.  $kb = 2$  mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



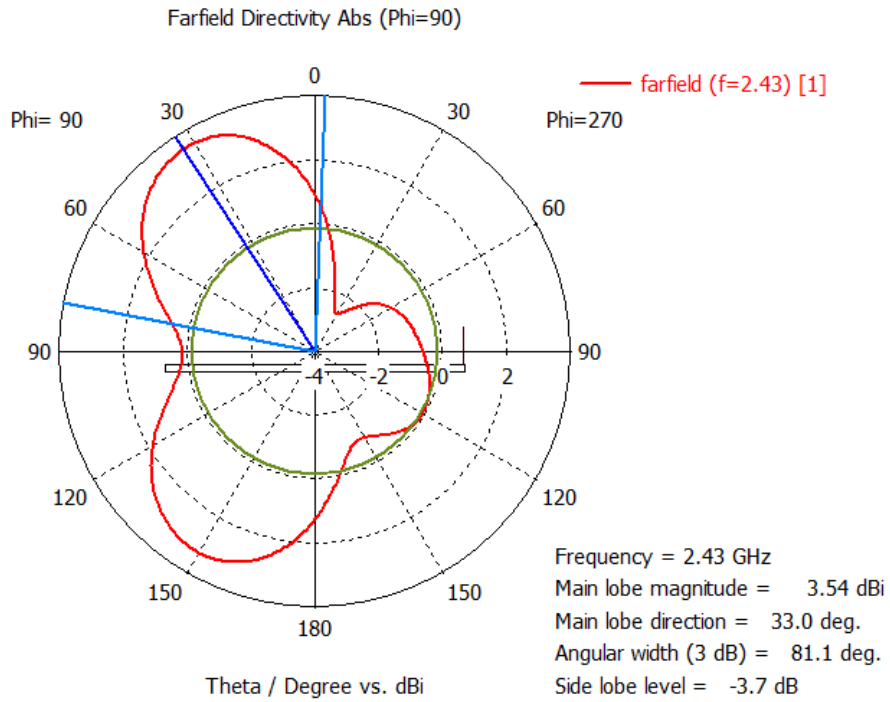
Şekil 40.  $kb = 2$  mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 38'de gösterilen  $S_{11}$  parametreleri antenin çalışması için gerekli şartları sağlamaktadır. Ancak Şekil 39 ve Şekil 40'daki ışınma örüntülerinin doğrultuları birbirinden farklı olduğu için bu değer anten tasarımında tercih edilmemiştir.

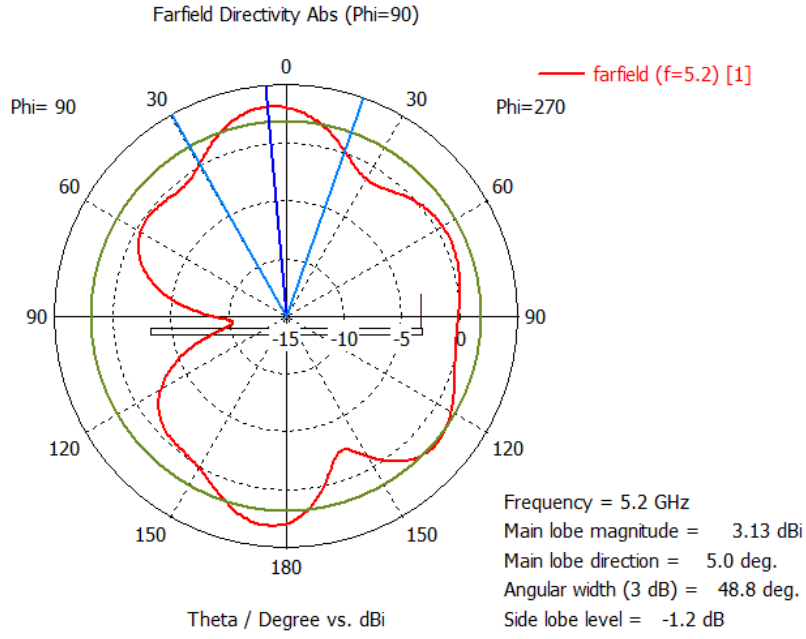
2.  $kb = 7$  mm için:



Şekil 41.  $kb = 7$  mm için  $|S_{11}|$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi



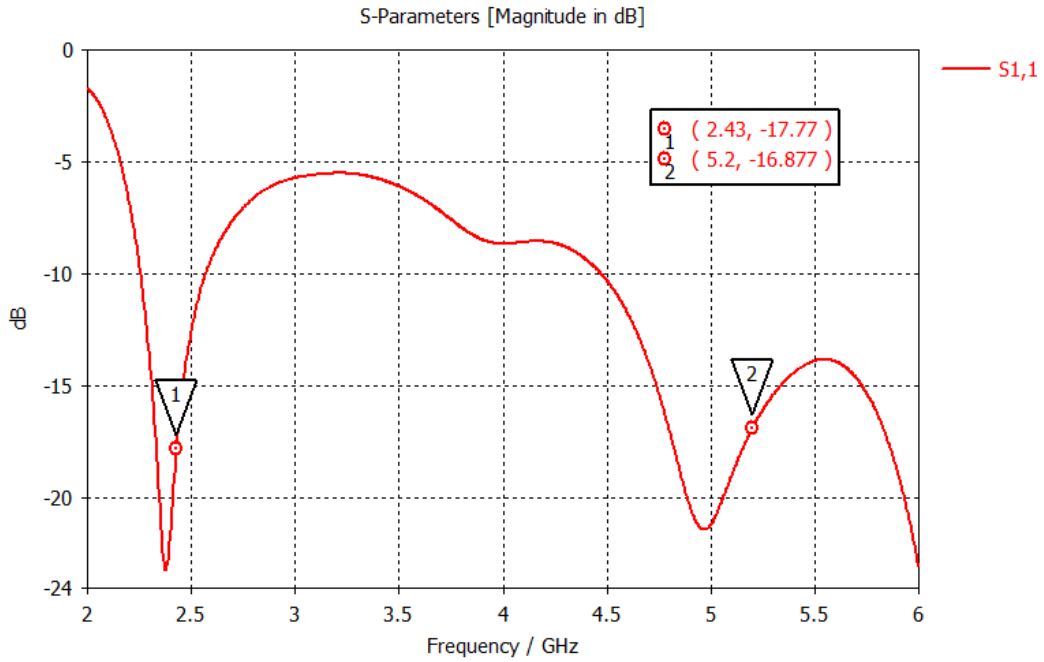
Şekil 42.  $kb = 7$  mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



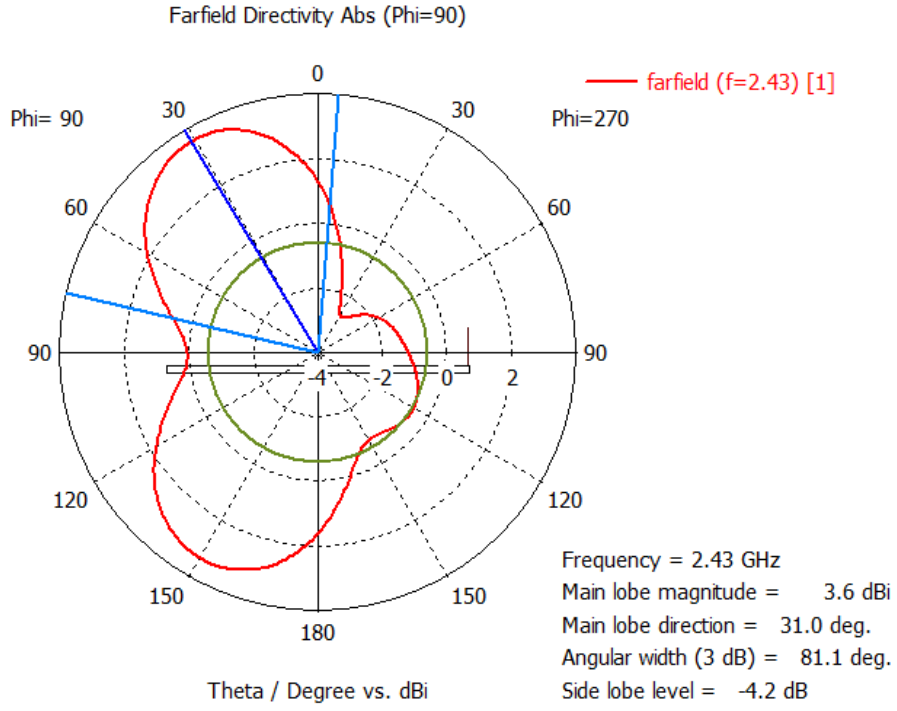
Şekil 43.  $kb=7$  mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 41'deki  $S_{11}$  ve Şekil 42, Şekil 43'deki ışınma örüntüleri gerekli bütün şartları sağlamıştır. Bu değer anten tasarımında  $kb$  parametresi için tercih edilmiştir.

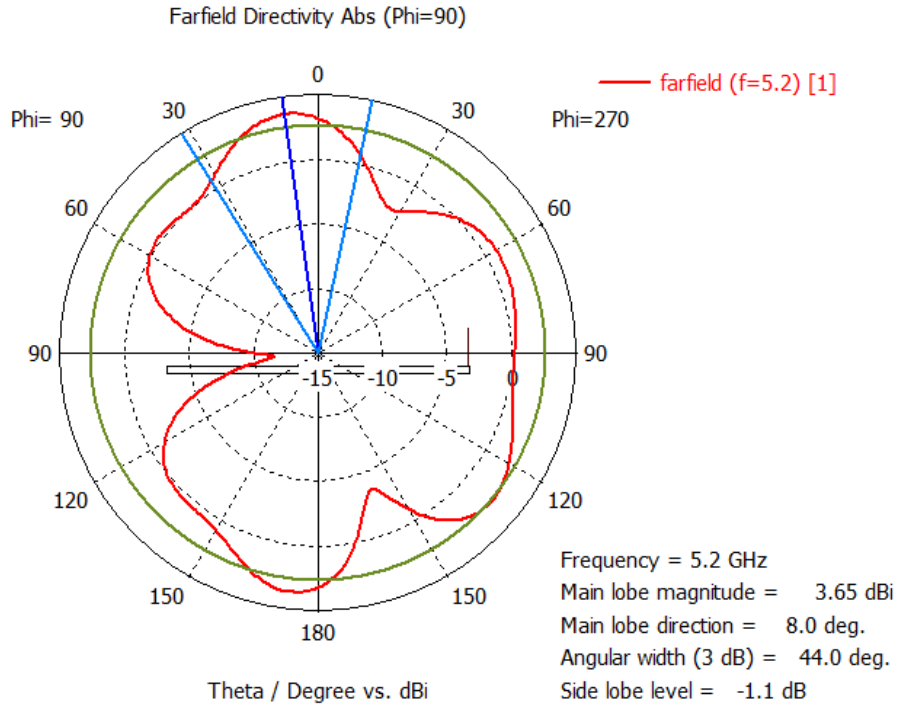
3.  $kb = 10$  mm için:



Şekil 44.  $kb=10$  mm için  $|S_{11}|$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi



Şekil 45. kb=10 mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



Şekil 46. kb=10 mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 44’de  $S_{11}$  parametreleri gerekli değerleri sağlamaktadır. Ancak Şekil 41’deki  $S_{11}$  parametre değerleri Şekil 44’den daha iyi sonuç vermiştir. Bu durum uygun anten tasarımında 7 mm değerinin seçilmesini sağlamıştır.

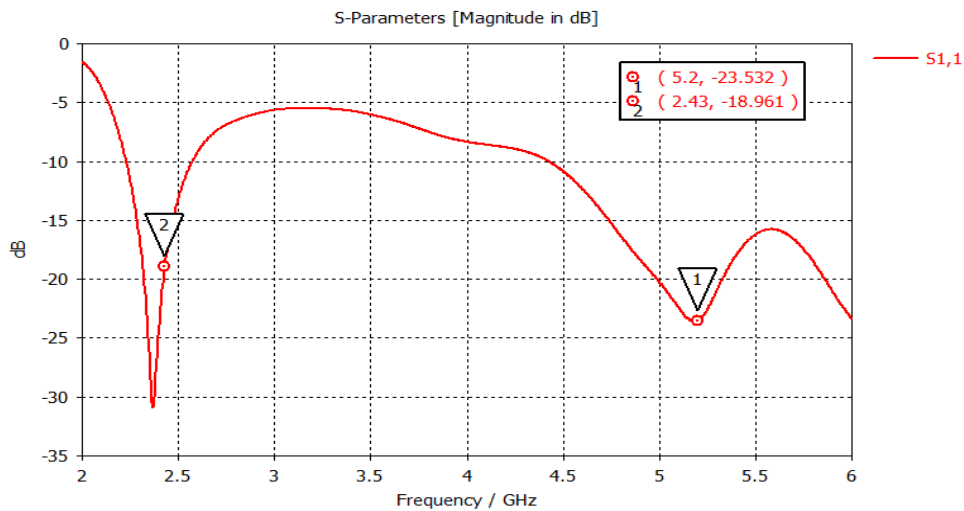
Tablo 8. kb Parametresinin Boyut Karşılaştırma Tablosu

Kb Parametresinin Boyutu (mm)	2.43 GHz			5.2 GHz		
	$S_{11}$ (dB)	Ana kulak genliği (dBi)	Ana kulak doğrultusu (Derece)	$S_{11}$ (dB)	Ana kulak genliği (dBi)	Ana kulak doğrultusu (Derece)
2	-16.468	3.5	35.0	-15.382	2.26	176.0
7	-17.104	3.54	33.0	-20.004	3.13	5.0
10	-17.77	3.6	31.0	-16.877	3.65	8.0

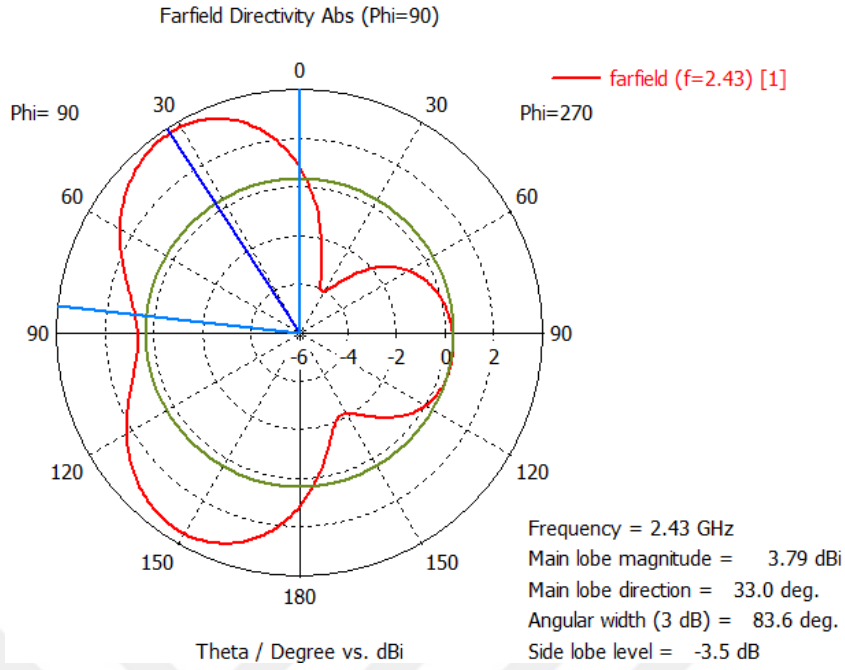
kb parametresi için Tablo 8’de gösterilen  $S_{11}$  değerlerine ve ana kulak doğrultularının birbirine yakınlığına bakıldığında en uygun değer 7 mm olduğu görülmektedir.

### 3.5. $S_{11}$ Parametresi ve Işıma Örüntülerinin Ana Gövde Parametre Çalışmaları ile Değişimi

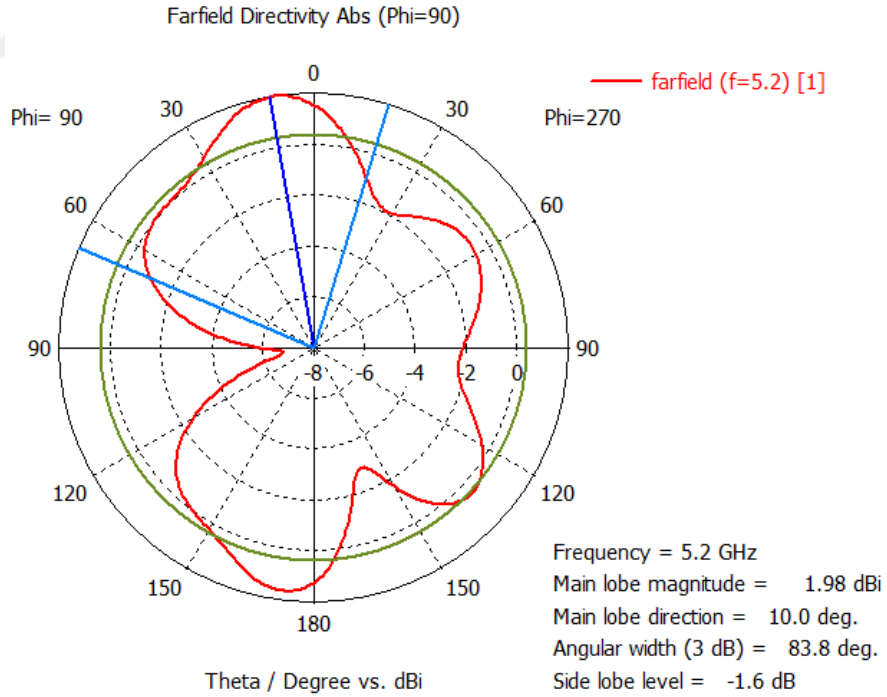
1.  $i+k=6$  mm ve  $k=1$  mm için:



Şekil 47.  $i+k=6$  mm ve  $k=1$  mm için  $|S_{11}|$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi



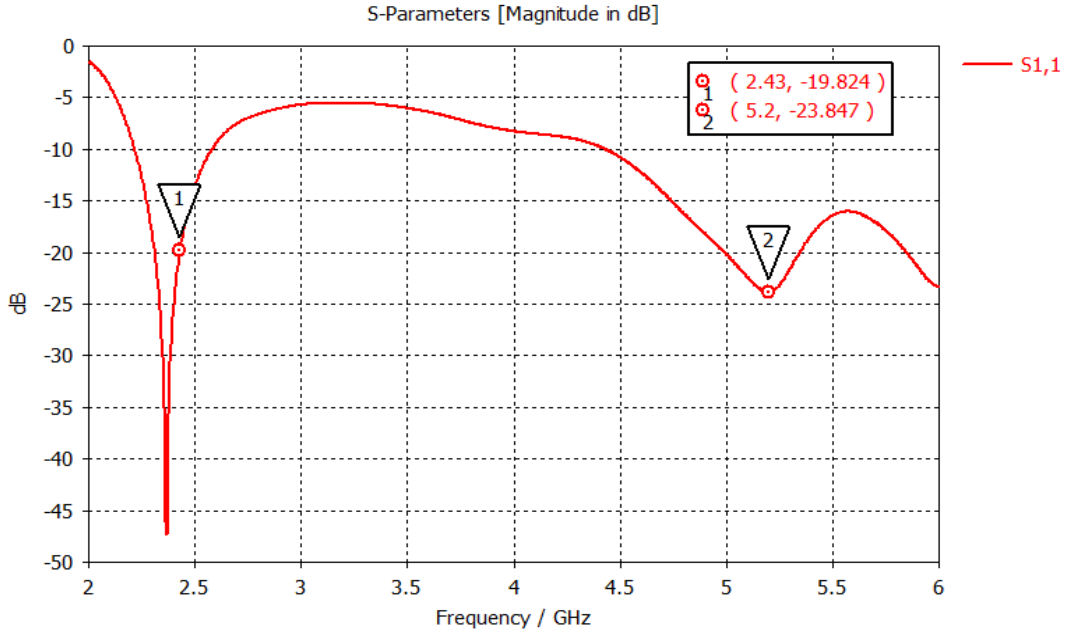
Şekil 48.  $i+k=6\text{mm}$  ve  $k=1\text{mm}$  için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



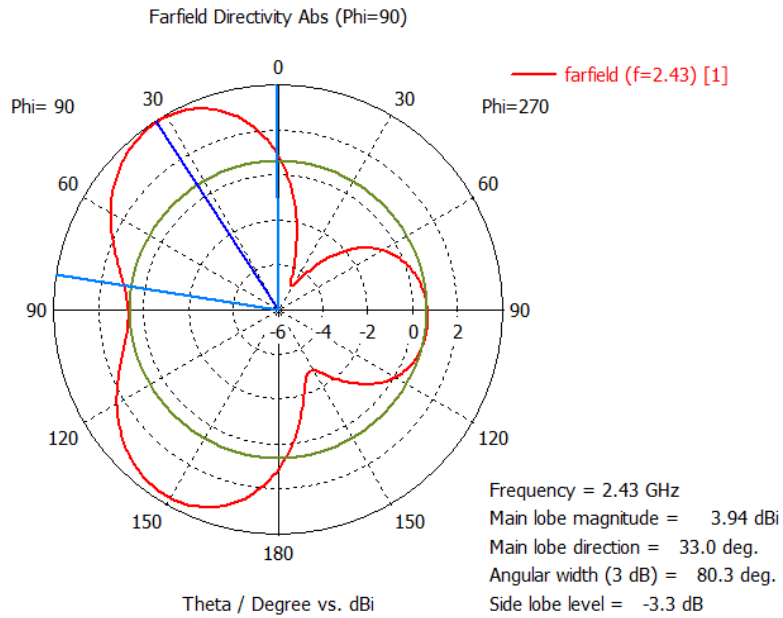
Şekil 49.  $i+k=6\text{ mm}$  ve  $k=1\text{ mm}$  için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 47, Şekil 48 ve Şekil 49'dan görüleceği gibi antenin çalışması için gerekli bütün özellikler sağlanmıştır.

2.  $i+k=6$  mm ve  $k=2$  mm için;

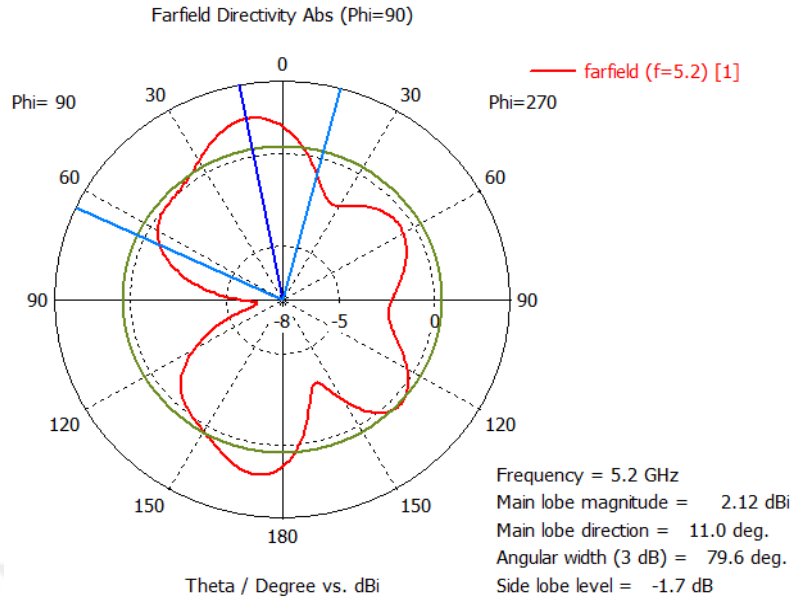


Şekil 50.  $i+k=6$  mm ve  $k=2$  mm için  $|S_{11}|$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi



Şekil 51.  $i+k=6$  mm ve  $k=2$  mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışıma örüntüsü

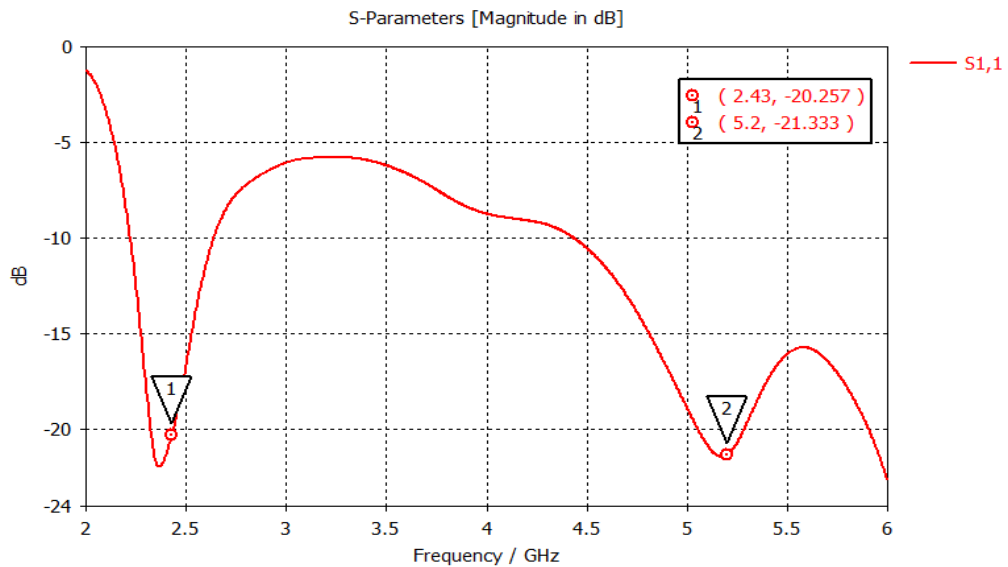




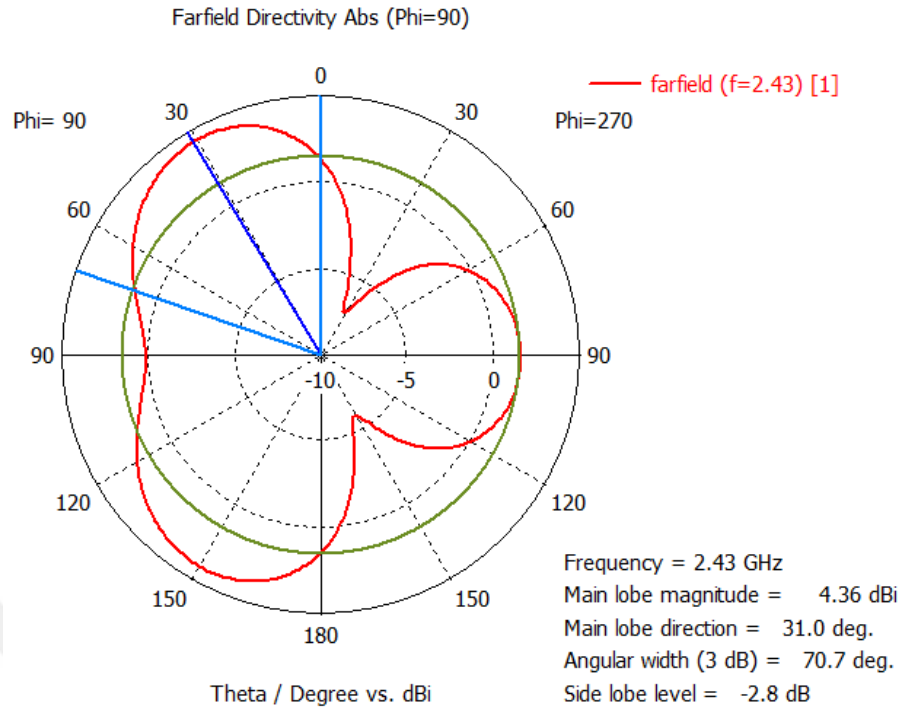
Şekil 52.  $i+k=6$  mm ve  $k=2$  mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışımaya örüntüsü

Şekil 50'de  $S_{11}$  grafiğinde 2.43 GHz frekansında istenmeyen ani bir azalma görülmüştür. Bu antenin kararlı çalışmasını etkileyecektir. Şekil 51 ve Şekil 52'deki ışımaya örüntülerindeki maksimum ışımaya doğrultuları birbirine yakın ve aynı doğrultulardadır.

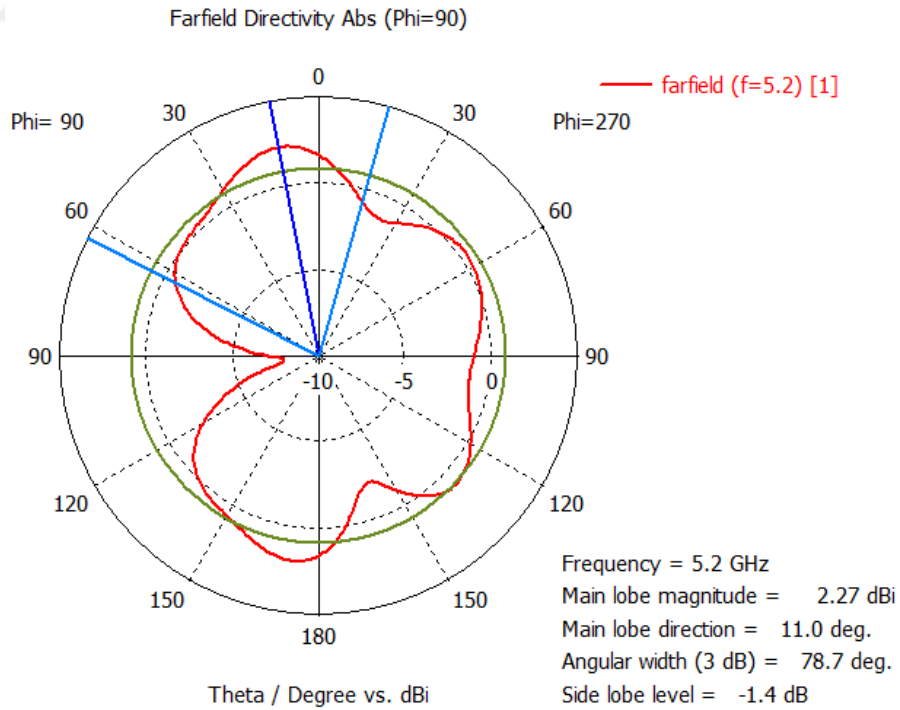
3.  $i+k=10$  mm ve  $k=2$  mm için; (Uygun yapı olarak seçilmiştir.)



Şekil 53.  $i+k=10$  mm ve  $k=2$  mm için  $|S_{11}|$ 'in dB cinsinden frekansla değişimi



Şekil 54.  $i+k=10$  mm ve  $k=2$  mm için 2.43 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü



Şekil 55.  $i+k=10$  mm ve  $k=2$  mm için 5.2 GHz frekansta iki boyutlu ışınma örüntüsü

Şekil 53'te elde edilen  $S_{11}$  grafiği bu parametre için yapılan çalışmalarda elde edilen en iyi grafiğdir. Şekil 54 ve Şekil 55'de gösterilen ışınma örüntü grafiklerindeki maksimum ışınma doğrultularının birbirine yakın ve ana kulak genliklerinin yüksek olması bu değerlerin seçilmesinde etkili olmuştur.

Tablo 9. i ve k parametrelerinin boyut karşılaştırma tablosu

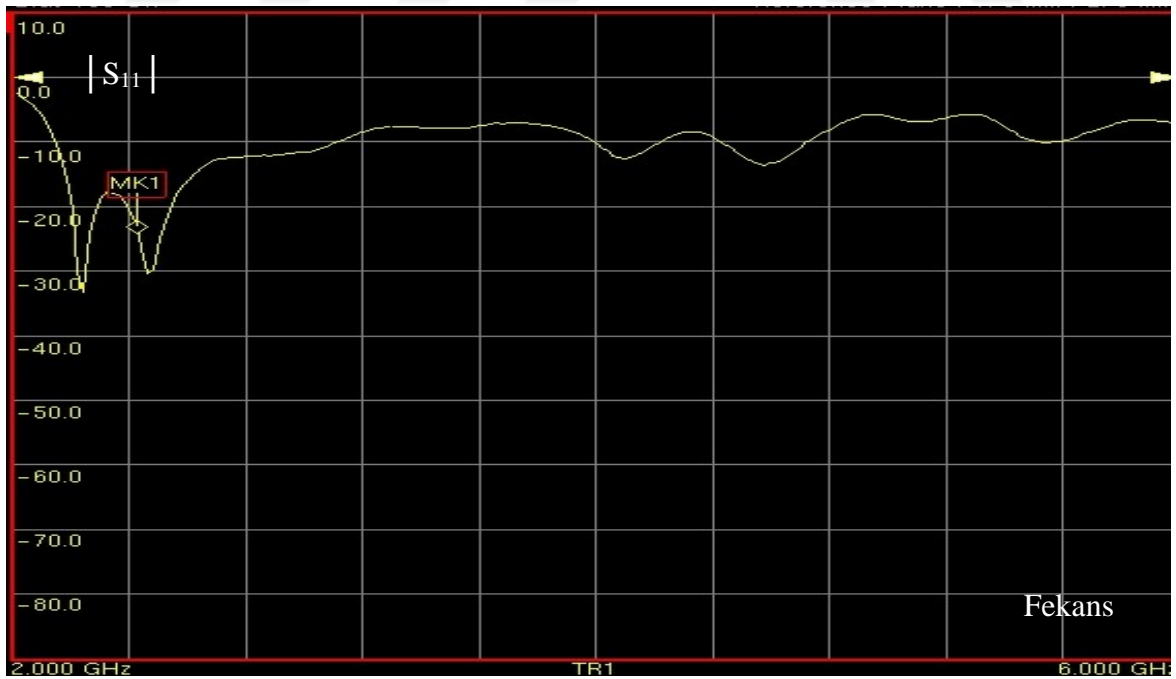
Parametre boyut (mm)	2.43 GHz			5.2 GHz		
	$S_{11}$ (dB)	Ana kulak genliği (dBi)	Ana kulak doğrultusu (Derece)	$S_{11}$ (dB)	Ana kulak genliği (dBi)	Ana kulak doğrultusu (Derece)
i+k=6 mm k=1 mm	-18.961	3.79	33.0	-23.532	1.98	10.0
i+k=6 mm k=2 mm	-19.824	3.94	33.0	-23.847	2.12	11.0
i+k=10 mm k=2 mm	-20.257	4.36	31.0	-21.333	2.27	11.0

i+k=10 mm ve k=2 mm değerleri, Tablo 9'da belirtildiği gibi,  $S_{11}$  değeri, ana kulak doğrultularının birbirine yakınlığı ve ana kulak genliği yönünden en uygun değerlerdir.

Şekil 56 ve Şekil 57'de gerçekleştirilen antenin görüntüsü ve  $|S_{11}|$  grafiği verilmektedir. Yüksek frekanslarda çalışan antenlerin boyutlarında olabilecek küçük bir değişiklik sonuçlarda önemli farklara neden olabilmektedir. Bundan dolayı yüksek frekanslarda çalışacak antenler lazer kesimle yapılmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen anten geleneksel yollarla yapılmıştır. Ayrıca ölçüm cihazı ile anten girişi arasında kullanılan bağlantı elemanı, antenin giriş empedansı konumunun değişmesine neden olmuştur. Bu durum, özellikle 5 GHz bandında simülasyon ile ölçüm sonuçları arasında farklılığa neden olmuştur.



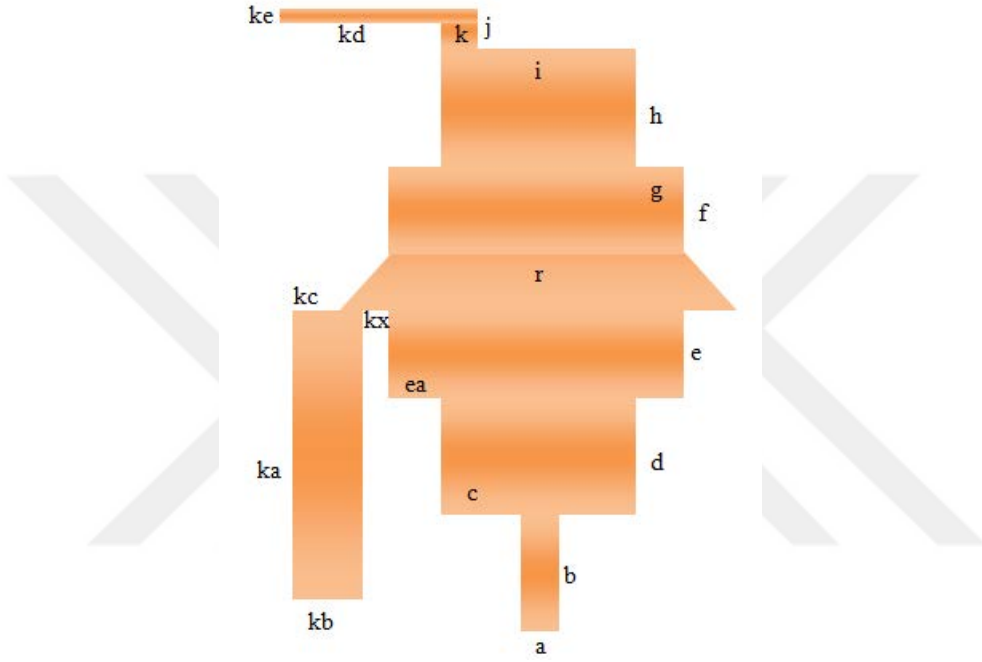
Şekil 56. Gerçekleştirilen antenin görüntüsü



Şekil 57. Gerçekleştirilen antenin ölçülen  $|S_{11}|$  grafiği

### 3.6. Uygun Yapının Boyutlandırılması

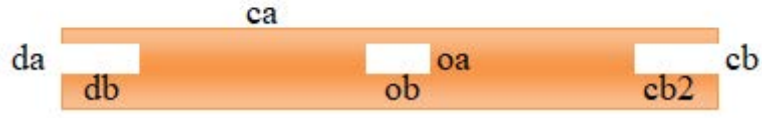
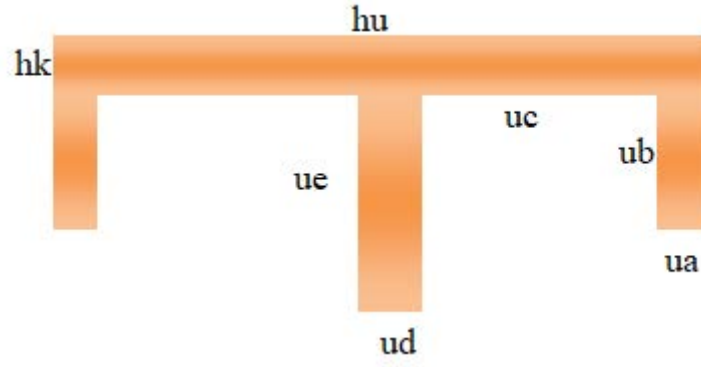
Tasarlanan antenin boyutlandırılmış hali Şekil 58 ve Şekil 59’da gösterilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucu antenin en verimli çalıştığı parametre değerleri Tablo 10 ve Tablo 11’de gösterilmiştir.



Şekil 58. Uygun antenin ön yüzey parametrelenmiş görünümü

Tablo 10. Anten ön yüzey boyutları

a = 3 mm	ea = 3 mm	r = 18 mm	k = 3 mm
b = 9 mm	kx = 3 mm	f = 10 mm	j = 4 mm
c = 5.5 mm	kc = 4.5mm	g = 5 mm	kd = 15 mm
d = 10 mm	ka = 22 mm	h = 10 mm	ke = 2 mm
e = 6 mm	kb = 7 mm	i = 7 mm	



Şekil 59. Uygun antenin arka yüzey parametrelenmiş görünümü

Tablo 11. Anten arka yüzey boyutları

ua = 2.5mm	hk = 4 mm	cb = 7 mm	da = 2 mm
ub = 11 mm	ue = 16mm	Cb2 = 4mm	db = 5 mm
uc = 20 mm	ca, hu=50mm	ob = 3 mm	
ud = 5 mm	oa = 2 mm		

#### 4. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında,  $S_{11}$  parametre değerleri -10 dB'den küçük ve maksimum ışıma doğrultuları birbirine yakın anten tasarımı amaçlanmıştır.

Bu çalışma yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında,

Bu çalışma, Huang ve arkadaşlarının 2011 yılında yaptığı çalışmadan hem 2.43 GHz bandında daha düşük  $S_{11}$  değeri elde etmesi hem de 5 GHz bandında  $S_{11}$  değeri elde etmesi bakımından üstündür.

Bu çalışma, Karli ve Ammor'un 2015 yılında gerçekleştirdiği çalışmadan anten boyutlarının daha ufak olması bakımından üstündür. Ayrıca çalışmada kullanılan Wi-Fi frekans değerleri Karli ve Ammor'un kullandığı frekans değerlerinden daha uygundur. Çalışmada elde edilen  $S_{11}$  parametre değerleri de Wi-Fi frekans noktalarında Karli ve Ammor'un çalışmasından daha üstündür.

Bu çalışma, Srivastava'nın 2016'da gerçekleştirdiği çalışmadan her iki frekans bandında da  $S_{11}$  parametreleri açısından daha üstündür.

Bu çalışma, Armağan ve Kahrıman'ın çalışmasından ışıma doğrultuları açısından daha üstündür. Ancak Armağan ve Kahrıman'ın çalışmasının 3-bantta çalışabilmesi ise çalışmanın üstünlüğüdür.

Bu çalışma, Behera ve arkadaşlarının çalışmasından kullanılan frekansların Wi-Fi kanallarına uygunluğu açısından daha üstündür. Ek olarak daha düşük  $S_{11}$  değerleri ve daha uygun ışıma örüntüleri elde edilmiştir.

Bu çalışma, Krishna ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadan 5 GHz Wi-Fi bandında da çalışması açısından daha üstündür. Ancak Krishna ve arkadaşlarının tasarladığı anten daha ufak boyutlardadır. Bu da o antenin üstün olduğu yöndür.

Bu çalışma, Zhou ve arkadaşlarının tasarladığı antenden çift bantta çalışması açısından daha üstündür. Ek olarak 2.43 GHz frekansında da daha iyi yansıma katsayısı elde edilmiştir.

Bu çalışma, 2.4 GHz bandında çalıştığı için Xie ve arkadaşlarının tasarladığı antenden Wi-Fi uygulamaları için daha uygundur. Ayrıca tasarlanan antenin yansıma katsayısı 5.2 GHz bandında Xie ve arkadaşlarının tasarladığı antenden daha iyidir.

## 5. SONUÇLAR

IEEE Standartları incelendi ve belirlenen uygun anten yapısının boyutları değiştirilerek antenin en verimli çalıştığı değerler belirlenmeye çalışıldı. Yapılan çalışmalar sonucunda,

Çalışılacak frekanslar 2.43 GHz ve 5.2 GHz olarak belirlendi.

Tasarlanan anten tamamen özgün olup, ufak ve hafif olması kullanım kolaylığını arttırmaktadır.

Antenin boyut parametreleri değiştirilerek CST programında simülasyon çalışmaları yapıldı. Bu yapılan simülasyonlara göre,

Yapılan çalışmalar sonucunda  $kd+k$  parametresinin 2.43 GHz'deki  $S_{11}$  parametresine daha çok etki ettiği gözlemlenmiştir. Çalışmalar sonucu elde edilen değerler Tablo 4'te gösterilmiştir. Tablo 4'e bakıldığında 18 mm'de  $S_{11}$  değerlerinin en düşük, ana kulak genliği değerlerinin en yüksek ve maksimum ışınma doğrultularının da birbirine en yakın olacak şekilde ışınma yaptığı görülmektedir. 18 mm için gerçekleşen tüm bu durumlar ulaşılmaya çalışılan hedeflere en yakın olan durumlardır. Dolayısıyla  $kd+k$  parametresi 18 mm olarak seçilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda  $ke$  parametresinin 2.43 GHz'deki  $S_{11}$  parametresine daha çok etki ettiği gözlemlenmiştir. Çalışmalar sonucu elde edilen değerler Tablo 5'te gösterilmiştir. Tablo 5'e bakıldığında 2 mm'de  $S_{11}$  değerlerinin en düşük ve maksimum ışınma doğrultularının da birbirine en yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. 2.43 GHz'de ana kulak genliği değeri en yüksektir. 5.2 GHz'de diğer iki değere oranla 2 mm'deki ana kulak genliği değeri düşmüştür. Ancak tüm durumlar göz önünde bulundurulduğunda 2 mm değerinin diğer değerlere göre daha uygun bir değer olduğuna karar verilmiş ve anten tasarımında bu değer kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda  $ka$  parametresinin 5.2 GHz'deki  $S_{11}$  parametresine daha çok etki ettiği gözlemlenmiştir. Çalışmalar sonucu elde edilen değerler Tablo 6'da gösterilmiştir. Tablo 6'ya bakıldığında 22 mm'de  $S_{11}$  değerlerinin en düşük seviyelerde, maksimum ışınma doğrultularının birbirine yakın ve aynı doğrultularda olduğu gözlemlenmiştir. 2.43 GHz'de ana kulak genliği değeri en yüksek değerinde olmasına rağmen 5.2 GHz'de bu değer diğer iki parametreye göre az da olsa azalmıştır.



Ancak tüm durumlar göz önünde bulundurulduğunda 22 mm değerinin diğer değerlere göre daha uygun bir değer olduğuna karar verilmiş ve anten tasarımında bu değer kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda kb parametresinin 5.2 GHz'deki  $S_{11}$  parametresine daha çok etki ettiği gözlemlenmiştir. Çalışmalar sonucu elde edilen değerler Tablo 7'de gösterilmiştir. Tablo 7'ye bakıldığında bütün parametrelerin farklı farklı durumlarda birbirinden üstünlükleri görülmektedir. Ancak 5.2 GHz'deki  $S_{11}$  parametresinin düşük değeri, maksimum ışıma doğrultularının da birbirine yakınlığı ve aynı doğrultularda olması nedeniyle bu parametre seçiminde en uygun değer olarak 7 mm seçilmiş ve anten bu değere göre tasarlanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 8'de gösterilmiştir. Tablo 8'e bakıldığında 2.43 GHz'de  $S_{11}$  değerinin, ana kulak genliği ve ana kulak doğrultusu değerlerinin en uygun  $i+k=10$  mm  $k=2$  mm'de olduğu açıkça görülmektedir. 5.2 GHz de ise değerlerin farklı durumlarda birbirlerine üstünlük sağladıkları görülmektedir. Ancak 2.43 GHz'deki değerlerden dolayı  $i+k=10$  mm ve  $k=2$  mm değeri en uygun değer olarak seçilmiş ve anten bu değere göre tasarlanmıştır.

## 6. ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışması, anten geometrisindeki diğer parametreler üzerinde araştırma yapılarak geliştirilebilir.

Anten geometrisi üzerinde çalışılarak antenin yansımaya katsayıları iyileştirilebilir.

Önerilen antenden dizi anten geliştirilebilir.

Yansıtıcı arka yüzey kullanılarak yansımaya katsayısı ve bant genişliği daha iyi olan yeni bir şekil geliştirilebilir

Sürekli gelişen teknoloji takip edilerek anten yeni çıkacak olan daha gelişmiş IEEE standartlarına uygun hale getirilebilir.

Ölçüm ve simülasyon ışınım paterni, kazanç ve  $S_{11}$  sonuçları karşılaştırmalı verilebilir.

## 7. KAYNAKÇA

1. <https://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/80211-channels-number-frequencies-bandwidth.php>, Frekans Bantları, 14 Aralık 2018.
2. [https://standards.ieee.org/standard/802\\_11n-2009.html](https://standards.ieee.org/standard/802_11n-2009.html), IEEE Standart 802.11n, 14 Aralık 2018.
3. <https://www.ieee.org/about/vision-mission.html>, IEEE Hakkında Bilgi, 14 Aralık 2018.
4. Deschamps, G. A., Microstrip Microwave Antennas, 3rd USAR Symposium on Antennas, 1953.
5. Gutton H. ve Baissinot G., Flat Aerial for Ultra High Frequencies, Fransız Patent No.703113,1995.
6. Balanis C.A., Antenna Theory Analysis and Design , Third Edition, John Wiley and Sons, Arizona State University, 2005.
7. Munson R. E., Single Slot Cavity Antennas Assembly, U.S. Patent No.3713162, 23 Ocak 1973.
8. Howell J. Q., Microstrip Antennas, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Ocak 1975, 90-93.
9. Saniati R.A., Cad of Microstrip Antennas for Wireless Applications , Artech House, London, 1996.
10. Harish A.R. ve Sachidananda M., Antennas and Wave Propagation, Oxford University Press, 2007.
11. Carver K. R. ve Mink J. W., Microstrip Antenna Technology, IEEE Trans. On Antennas and Propagation, 29, 1, 2-24, 1981.
12. Milligan T. A., Modern Antenna Design, Second Edition, A John Wiley & Sons Inc, New Jersey, 2005.
13. Gadag M. M., Kamshetty D. S. ve Yogi S., Design of Different Feeding Techniques of Rectangular Micro strip Antenna for 2.4GHz RFID Applications Using IE3D, Proc. of the Intl. Conf. on Advances in Computer, Electronics and Electrical Engineering, Mart 2012, Bombay, 522-525.
14. Sudarsan A. ve Prabhu A., Design and Development of Microstrip Patch Antenna, International Journal of Antennas, Temmuz 2017, Bangalore, 3: 1-12.

15. Doust E. G., An Aperture-Coupled Stacked Microstrip Antenna for GPS Frequency Bands L1, L2 and L5, Defence R&D Canada, Ağustos 2007, Ottawa, 29.
16. Kumar G. ve Ray K. P., Broadband Microstrip Antennas, Artech House, London, 2003.
17. Trevor S. B., Definition and Misuse of Return Loss, IEEE Antennas and Propagation Magazine, Mayıs 2009, 166 – 167.
18. Michael A. O., On The Antenna Gain Formula, International Journal of Applied Science and Technology, Ocak 2013, Nijerya, 43-49.
19. Tai C. T. ve Pereira C. S., “An approximate formula for calculating the directivity of an antenna,” IEEE Trans. Antennas Propagat., Mart 1976, Sao Paulo, 235–236.
20. Rudajevová and A. ve Dušek K., influence of Manufacturing Mechanical and Thermal Histories on Dimensional Stabilities of FR4 Laminate and FR4/Cu-Plated Holes, Materials, 11, 2114 (2018), 1-12.
21. Djordjevic A. R., Biljic R. M., Likar-Smiljanic V. D., ve Sarkar T. K., “Wideband frequency-domain characterization of FR-4 and time-domain causality, IEEE Trans. Electromagn. Compat., Kasım 2011, 662-667.
22. Nascimento D. C. ve Lacava J. C. S., Probe-Fed Linearly-Polarized Electrically Equivalent Microstrip Antennas on FR4 Substrates, Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, Haziran 2014, 55-57.
23. <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wifi-ieee-802-11/802-11n.php>, IEEE 802.11n bandı, 13 Aralık 2018.
24. Huang F. J., Lee C. M., Chang C. L., Chen L. K., Yo T. C., ve Luo C. H., Rectenna application of miniaturized implantable antenna design for triple-band biotelemetry communication, IEEE Trans. Antennas Propag., Temmuz 2011, 2646–2653.
25. Zhou S.-W., Li P.-H., Wang Y., Feng W.-H. ve Liu Z.-Q., A CPW-Fed Broadband Circularly Polarized Regular-Hexagonal Slot Antenna With L Shape Monopole, IEEE Antennas Wireless Propagation Letters, 10 (2011), 1182-1185.
26. Xie Y., Li L., Zhu C. ve Liang C., A Novel Dual-Band Patch Antenna With Complementary Split Ring Resonators Embedded in the Ground Plane, Progress In Electromagnetics Research Letters, 25 (2011), 117–126
27. Karli, R. ve Ammor, H., Rectangular Patch Antenna for Dual-Band RFID and WLAN Applications, Wireless Personal Communications, 2015, 1-13.
28. Srivastava V. K., A Dual Wide-Band Slotted Rectangular Patch Antenna for 2.45/5 GHz WLAN Applications, IJERT, Temmuz 2016, 60-65.

29. Armağan O. ve Kahrıman M., 2.45 GHz, 3.7 GHz ve 5.8 GHz Frekanslarda Çalışan Üç Bant Yama Anten Tasarımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 4 (2016), 189-193.
30. Behera S. B., Barad D. ve Behera S., A Triple-band Suspended Microstrip Antenna with Symmetrical USlots for WLAN/WiMax Applications, Advanced Electromagnetics, Mart 2018, 42-46.
31. Krishna, D. D.,Gopikrishna,M., Anandan, C., Mohanan, P.,ve Vasudevan, K.,CPW-fed Koch Fractal Slot Antenna for WLAN/WiMAX Applications, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 7 (2008), 389-392
32. <https://www.cst.com/products/csts2>, CST Hakkında Bilgi, 13 Aralık 2018.



## ÖZGEÇMİŞ

Ural AKINCIOĞLU 1991 yılında Trabzon'da doğdu. 2009 yılında Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Temmuz 2014 ile Mart 2015 arasında 9 ay boyunca TAV IT firmasında Bilgi İşlem Destek Sorumlusu olarak görev yaptı. Nisan 2015 ile Kasım 2016 yılları arasında 1 yıl 8 ay boyunca da TAV Havalimanları İstanbul Atatürk Havaalanı'nın Elektronik Sistemler Mühendisliği görevini gerçekleştirdi. Kasım 2016'dan Aralık 2017' ye kadar Haber61.net Yayıncılık, Reklamcılık, Matbaacılık Tic. Ltd. Şti'de Elektronik Mühendisliği yaptı. 2017 Ocak ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Aralık 2017'den beri ise Karadeniz Teknik Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi'nde Proje Uzmanlığı görevini sürdürmektedir.

### **Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler**

1. AKINCIOĞLU U. ve KAYA H., Çift Bantlı Mikroşerit Yama Wi-Fi Anten Tasarımı, ISAS2018, 3, 30 Kasım - 2 Aralık 2018, Samsun, 3-6