



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**PROGRAMLANABİLİR METAYÜZEYLER
VE MONOPOL ANTEN
UYGULAMALARI**

Gizem ALTINTARLA

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**





**PROGRAMLANABİLİR METAYÜZEYLER VE MONOPOL ANTEN
UYGULAMALARI**

Gizem ALTINTARLA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2019

Gizem ALTINTARLA tarafından hazırlanan "PROGRAMLANABİLİR METAYÜZEYLER VE MONOPOL ANTEN UYGULAMALARI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Emin ÜNAL

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



İkinci Danışman: Doç. Dr. Muharrem KARAASLAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

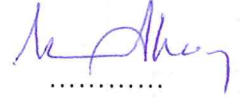
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



Başkan: Doç. Dr. Murat AKSOY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



Üye: Doç. Dr. Emin ÜNAL

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan AKGÖL

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 30/05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Tolga DEPCI
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Gizem ALTINTARLA

30.05.2019

PROGRAMLANABİLİR METAYÜZEYLER VE MONOPOL ANTEN UYGULAMALARI
(Yüksek Lisans Tezi)

Gizem ALTINTARLA

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2019

ÖZET

Metamalzemeler, dielektrik sabiti (ϵ) ve manyetik geçirgenliği (μ) negatif olan malzemelerdir. Bu yapılar doğada bulunmazlar ve laboratuvar ortamında yapay olarak elde edilirler [1]. Literatürde, medikal [2], görüntü işleme [3], görünmezlik pelerini [4] ve anten [5] gibi birçok metamalzeme çalışmaları bulunmaktadır [6].

Bu çalışmada, monopol antenin ışınım yönünü kontrol edebilmek için metayüzeyler kullanılmıştır. Metayüzey yapıda bazı birim hücreler metal plaka ile temas ettirilerek antenin ışınım yönünü kontrol etmek, antenin kazancını ve yönlülüğünü artırma hedeflenmiştir. Tasarımlar ve simülasyonlar mikrodalga simülatör programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. T model ve dairesel olmak üzere iki farklı mantar yapı metayüzeyler tasarlanmıştır. Ayrıca, dairesel model metayüzey için yapay sinir ağları yazılımı geliştirilmiştir. Tasarlanan metayüzeylerin her ikisinde de farklı birim hücrelerin metal plaka ile temas ettirildiği birçok yapının sonuçlarını değerlendirmek adına toplamda 150'den fazla analiz yapılmıştır. Bu tasarımların S11 parametreleri, iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon yayılımları incelenmiştir.

Üretim ve ölçümler laboratuvar ortamında yapılmıştır. Son olarak dairesel model metayüzey çalışması için yapay sinir ağları yazılımı oluşturulmuştur. Yapay sinir ağlarını kullanarak yazılımın ağı eğitip daha önce yapılan dairesel metayüzeyin simülasyonlardan elde edilen sonuçların aynısını bilgisayar ortamında insan yardımı olmadan otomatik bir şekilde elde edebilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Metamalzeme, monopole anten, metayüzey, yapay sinir ağları

Sayfa Adedi : 109

Danışman : Doç. Dr. Emin ÜNAL

PROGRAMMABLE METASURFACES AND MONOPOLE ANTENNA APPLICATIONS

(M. Sc. Thesis)

Gizem ALTINTARLA

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

May 2019

ABSTRACT

Metamaterials are materials that have negative dielectric constant (ϵ) and magnetic permeability (μ). These structures are not found in nature and are obtained artificially in the laboratory environment [1]. In the literature, there are many metamaterial studies such as medical [2], image processing [3], invisibility cloak [4] and antenna [5] [6].

In this study, metasurface structures were used to control the radiation direction of monopole antenna. Some unit cells of the metasurface structure are connected to the metal plate to control the radiation direction of the antenna, increase the antenna's gain and directivity. Designs and simulations are performed using microwave simulator program. Two different mushroom structure surfaces are designed as T model and circular. In addition, artificial neural networks software has been developed for the circular model surface. More than 150 analyzes are performed to evaluate the results of many structures where different unit cells are connected to the metal plate on both of the designed meta surfaces. The S_{11} parameters, two-dimensional and three-dimensional radiation patterns of these designs are investigated.

Fabrication and measurements are made in the laboratory environment. Finally, the artificial neural network software is designed for the circular model study. By using artificial neural networks, it is aimed that the software can train the network and obtain the same results obtained from the simulations of the previous circular metasurface automatically in the computer environment without human assistance.

Key Words : Metamaterial, monopole antenna, metasurface, artificial neural
Page Number : 109
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Emin UNAL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı sabır ve özveriyle yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Emin Ünal' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akademik bilgi ve tecrübeleriyle, yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılmasında ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardımını esirgemeyen, çalışmalarımda çok büyük emeği olan ikinci danışman hocam saygıdeğer Doç. Dr. Muharrem Karaaslan' a en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sırasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve antenlerin ölçümünde yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan AKGÖL'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması süresince bilgilerini ve yardımlarını benden esirgemeyen, antenlerin üretimi ve ölçümleri sırasında yardımcı olan Araştırma Görevlileri Olcay ALTINTAŞ ve Fatih Özkan ALKURT'a, çalışmamın çok yorucu uzun uğraşlar gerektiren üretim kısmında büyük titizlikle yardımlarını esirgemeyen Araştırma Görevlisi Ahmet ATICI'ya ve yüksek lisans arkadaşlarım Şekip DALGAÇ ve Metin SAĞIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında yanımda olan çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, beni hiç yalnız bırakmayan canım AİLEM'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MONOPOL ANTENLER	5
4. YAPAY SİNİR AĞLARI.....	6
4.1. Genel Tanım	6
4.2. Yapay Sinir Ağının Çalışması	6
4.3. Yapay Sinir Ağı Yapısı.....	7
4.3.1. Girdi katmanı.....	7
4.3.2. Ara katman (Gizli-Hidden katman)	7
4.3.3. Çıktı katmanı	7
4.4. Yapay Sinir Ağları Fonksiyonları	8
4.4.1. Birleştirme fonksiyonu	8
4.4.2. Aktivasyon fonksiyonu.....	9
5. ÜRETİM VE ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	10
6. ARAŞTIRMA BULGULARI, YÖNTEM VE TARTIŞMA	12

	Sayfa
6.1. T Model Metayüzeyin Tasarımı ve Sonuçları	12
6.2. Dairesel Model Metayüzeyin Tasarımı ve Sonuçları	44
6.3. Dairesel Model İçin YSA Tasarlanması	69
6.3.1. Çift ara katmanlı eğitim algoritmasına göre hata oranlarının hesaplanması	75
6.3.2. Tek ara katmanlı eğitim algoritmasına göre hata oranlarının hesaplanması	78
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	89
DİZİN	90

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. İnsan Sinir Sisteminin Yapay Sinir Ağlarındaki Karşılıkları	8
Çizelge 6.1. YSA için kullanılan veri girdi ve çıktıları.....	70
Çizelge 6.2. İki ara katmanlı 70 ve 30 yüzdeleri hata ortalamaları	75
Çizelge 6.3. İki ara katmanlı 60 ve 40 yüzdeleri hata ortalamaları	76
Çizelge 6.4. İki ara katmanlı 20 ve 80 yüzdeleri hata ortalamaları	77
Çizelge 6.5. Tek ara katmanlı 70 ve 30 yüzdeleri hata ortalamaları	78
Çizelge 6.6. Tek ara katmanlı 60 ve 40 yüzdeleri hata ortalamaları	79
Çizelge 6.7. Tek ara katmanlı 20 ve 80 yüzdeleri hata ortalamaları	80
Çizelge 6.8. YSA için en iyi sistem özellikleri.....	81

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. YSA katman yapısı.....	8
Şekil 6.1. 20x20 T model yapı.....	12
Şekil 6.2. FR4 malzemesinin delinerek arka plandaki bakır ile via oluşturulması.....	13
Şekil 6.3. Birim hücre ölçüleri.....	13
Şekil 6.4. Monopol anten tasarımı	13
Şekil 6.5. Monopol anten S11 parametre grafiği	14
Şekil 6.6. Monopol anten için S11'in sayısal ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırması.....	14
Şekil 6.7. Monopol antenin radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu.....	15
Şekil 6.8. Monopol anten yüzey akım dağılımı	15
Şekil 6.9. Yansımaya katsayısı (S11), birim hücreler 'off' durumunda.....	16
Şekil 6.10. Radyasyon paterni, 'off' durumu (a) 3 boyutlu, (b) 2 boyutlu	17
Şekil 6.11. Yansımaya katsayısı (S11), 'off' durumu ölçüm ve simülasyon sonuçları ...	17
Şekil 6.12. T model, 'off' durumu yüzey akım dağılımı	18
Şekil 6.13. Yansımaya katsayısı (S11), birim hücreler 'on' durumunda.....	19
Şekil 6.14. Radyasyon paterni, 'on' durumu (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	19
Şekil 6.15. T model, 'on' durumu yüzey akım dağılımı.....	20
Şekil 6.16. T model 'off' ve 'on' durumları için S11 mutlak değerlerinin karşılaştırması.....	21
Şekil 6.17. T model 'off' ve 'on' durumları için S11 fazlarının karşılaştırması.....	22
Şekil 6.18. T model $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu	22
Şekil 6.19. T model $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu için S11 grafiği	23

Şekil	Sayfa
Şekil 6.20. $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ durumu için ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması	23
Şekil 6.21. $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ durumu için radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	24
Şekil 6.22. T model $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu için yüzey akım dağılımı	24
Şekil 6.23. T model $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu	25
Şekil 6.24. T model $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu için S11 grafiği	25
Şekil 6.25. T model $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu için radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	26
Şekil 6.26. T model $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu için yüzey akım dağılımı	26
Şekil 6.27. T model, antene en yakın hücreler ‘on’	27
Şekil 6.28. T model, antene en yakın hücreler ‘on’, S11 parametre grafiği	28
Şekil 6.29. Antene en yakın hücreler ‘on’, S11 ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması	28
Şekil 6.30. Antene en yakın hücreler ‘on’, radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu.....	29
Şekil 6.31. Antene en yakın hücreler ‘on’, yüzey akım dağılımı	29
Şekil 6.32. Tek numaralı satırların ‘on’ olduğu konfigürasyon.....	30
Şekil 6.33. Tek numaralı satırlar ‘on’, S11 grafiği	31
Şekil 6.34. Tek numaralı satırlar ‘on’, radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu.....	31
Şekil 6.35. Tek numaralı sütunlar ‘on’, yüzey akım dağılımları	32
Şekil 6.36. Tek numaralı sütunların ‘on’ olduğu konfigürasyon	33
Şekil 6.37. Tek numaralı sütunlar ‘on’, S11 grafiği	33
Şekil 6.38. Tek numaralı sütunlar ‘on’, radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu paternleri	34

Şekil	Sayfa
Şekil 6.39 .Tek numaralı sütunlar ‘on’, yüzey akım dağılımı	34
Şekil 6.40. Tek numaralı satır ve sütunlar ‘on’, S11’in simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırması	35
Şekil 6.41. Rastgele hücrelerin ‘on’ olduğu konfigürasyon-1	36
Şekil 6.42. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-1’in S11 grafiği	36
Şekil 6.43. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-1’in radyasyon paternleri (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	37
Şekil 6.44. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-1’in yüzey akım dağılımı	37
Şekil 6.45. Rastgele hücrelerin ‘on’ olduğu konfigürasyon-2	38
Şekil 6.46. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-2’nin S11 grafiği	38
Şekil 6.47. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-2’nin radyasyon paternleri (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	39
Şekil 6.48. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-2’nin yüzey akım dağılımı	39
Şekil 6.49. Rastgele hücrelerin ‘on’ olduğu konfigürasyon-3	40
Şekil 6.50. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-3’ün S11 grafiği	40
Şekil 6.51. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-3’ün radyasyon paternleri (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	41
Şekil 6.52. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-3’ün yüzey akım dağılımı	41
Şekil 6.53. Rastgele hücrelerin ‘on’ olduğu konfigürasyon-4	42
Şekil 6.54. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-4’ün S11 grafiği	42
Şekil 6.55. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-4’ün radyasyon paternleri (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	43
Şekil 6.56. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-4’ün yüzey akım dağılımı	43
Şekil 6.57. Dairesel model birim hücre ölçüleri	44
Şekil 6.58. Dairesel model metayüzey yapısı	45
Şekil 6.59. Dairesel model birim hücre via bağlantısı	45
Şekil 6.60. Dairesel model via bağlantılarının adlandırması	46

Şekil	Sayfa
Şekil 6.61. Dairesel model, tüm birim hücreler 'off', S11 grafiği.....	47
Şekil 6.62. Dairesel model, tüm birim hücreler 'off', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	47
Şekil 6.63. Dairesel model, tüm birim hücreler 'off', yüzey akım dağılımı.....	48
Şekil 6.64. Dairesel model, tüm birim hücreler 'on', S11 grafiği	48
Şekil 6.65. Dairesel model, tüm birim hücreler 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	49
Şekil 6.66. Dairesel model, tüm birim hücreler 'on', yüzey akım dağılımı	49
Şekil 6.67. Dairesel model 'on' ve 'off' durumları için S11 parametrelerinin karşılaştırması	50
Şekil 6.68. Dairesel model c, e, h, c1, e1, h1 noktaları 'on'	50
Şekil 6.69. Dairesel model c, e, h, c1, e1, h1 noktaları 'on', S11 grafiği	51
Şekil 6.70. Dairesel model c, e, h, c1, e1, h1 noktaları 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	51
Şekil 6.71. Dairesel model c, e, h, c1, e1, h1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımları....	52
Şekil 6.72. Dairesel model f, g, h, f1, g1, h1 noktaları 'on'	52
Şekil 6.73. Dairesel model f, g, h, f1, g1, h1 noktaları 'on', S11 grafiği.....	53
Şekil 6.74. Dairesel model f, g, h, f1, g1, h1 noktaları 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	53
Şekil 6.75. Dairesel model f, g, h, f1, g1, h1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımları	54
Şekil 6.76. Dairesel model a, c, f, h, a1, c1, f1, h1 noktaları 'on'	54
Şekil 6.77. Dairesel model a, c, f, h, a1, c1, f1, h1 noktaları 'on', S11 grafiği.....	55
Şekil 6.78. Dairesel model a, c, f, h, a1, c1, f1, h1 noktaları 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	55
Şekil 6.79. Dairesel model a, c, f, h, a1, c1, f1, h1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımları	56
Şekil 6.80. Dairesel model b, d, e, g, b1, d1, e1, g1 noktaları 'on'	56
Şekil 6.81. Dairesel model b, d, e, g, b1, d1, e1, g1 noktaları 'on', S11 grafiği.....	57

Şekil	Sayfa
Şekil 6.82. Dairesel model b, d, e, g, b1, d1, e1, g1 noktaları 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	58
Şekil 6.83. Dairesel model b, d, e, g, b1, d1, e1, g1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımları	58
Şekil 6.84. Dairesel model d, e1 noktaları 'on'	59
Şekil 6.85. Dairesel model d, e1 noktaları 'on', S11 grafiği	59
Şekil 6.86. Dairesel model d, e1 noktaları 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	60
Şekil 6.87. Dairesel model d, e1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımları	60
Şekil 6.88. Dairesel model c, f1 noktaları 'on'	61
Şekil 6.89. Dairesel model c, f1 noktaları 'on', S11 grafiği	61
Şekil 6.90. Dairesel model c, f1 noktaları 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	62
Şekil 6.91. Dairesel model c, f1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımları	62
Şekil 6.92. Dairesel model a, b, c, f1, g1, h1 noktaları 'on'	63
Şekil 6.93. Dairesel model a, b, c, f1, g1, h1 noktaları 'on', S11 grafiği	63
Şekil 6.94. Dairesel model a, b, c, f1, g1, h1 noktaları 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	64
Şekil 6.95. Dairesel model a, b, c, f1, g1, h1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımları	64
Şekil 6.96. Dairesel model a, b, c, d, e, f, g, h noktaları 'on'	65
Şekil 6.97. Dairesel model a, b, c, d, e, f, g, h noktaları 'on', S11 grafiği.....	65
Şekil 6.98. Dairesel model a, b, c, d, e, f, g, h noktaları 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	66
Şekil 6.99. Dairesel model a, b, c, d, e, f, g, h noktaları 'on', yüzey akım dağılımları ..	66
Şekil 6.100. Dairesel model a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1 noktaları 'on'	67
Şekil 6.101. Dairesel model a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1 noktaları 'on', S11 grafiği ...	67
Şekil 6.102. Dairesel model a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1 noktaları 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu	68

Şekil	Sayfa
Şekil 6.103. Dairesel model a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımı	68
Şekil 6.104. YSA için oluşturulan akış şeması	70
Şekil 6.105. YSA için seçilen özellikteki model	81



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Metayüzey yapının üretimi	10
Resim 5.2. Üretilen yapıların Network Analyzer cihazı ile ölçümü.....	10
Resim 5.3. Radyasyon paterninin ölçümü	11



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

dB

Desibel

ϵ

Dielektrik sabiti

GHz

Gigahertz

Hz

Hertz

μ

Manyetik Geçirgenlik

S11

Yansıma Katsayısı

Kısaltmalar

Açıklamalar

MTM

Metamalzeme

YSA

Yapay Sinir Ağları

FR4

Çift Yüzlü Bakır Plaket

1. GİRİŞ

Metamalzemeler doğada bulunmayan ve yapay olarak üretilen yapılardır [7-12]. Bu yapılar, tarihte ilk olarak Victor G. Veselego tarafından 1968 yılında ortaya atılmıştır. Günümüzde birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadırlar. Metayüzeyler ise iki boyutlu metamalzemeler olarak bilinirler. Emilim, enerji hasadı, yansıma gibi birçok özelliklere sahiptirler. Ek olarak metayüzeyler programlanabilme özelliklerine sahiptirler. Programlanabilir metayüzeyler için birçok kontrol mekanizması bulunmaktadır [13-29].

Monopol antenler, üretimleri kolay olduğundan ve anten ekseninde her yöne eşit yayılım yaptıklarından dolayı sıklıkla tercih edilmektedirler. Aynı zamanda monopol antenler uzak mesafelere iletişim sağlayabilmektedirler.

Yapay sinir ağları çeşitli algoritmalar kullanarak bilgisayar programlarına insan gibi düşünebilme yeteneği eklemeyi amaçlayan bir yazılım türüdür. İnsan beynine özgü bir yetenek olan öğrenme ile yeni bilgiler oluşturabilme yeteneğini otomatik olarak gerçekleştirebilen sistemlerdir. İnsan beynindeki haberleşmeyi yapan nöronlar arasındaki sinapslar, yapay sinir ağlarında da girdiler ile ağırlıklarını değiştirerek öğrenmeyi sağlarlar. Bu çalışmada tasarlanan iki farklı yapıda olan metayüzeylerin simülasyonlar, üretimler ve ölçümler ile desteklenen anten parametrelerinin değerlerini iyi hale getiren çalışmaları yapay sinir ağları kullanarak bu işlemleri otomatik hale getirebilme amaçlanmıştır.

Bu çalışmada iki farklı model metayüzey yapısı kullanılmıştır. İlk çalışma olan T model metayüzey yapısı 20x20, 400 birim hücreden oluşmaktadır. Her birim hücrenin kontrolü farklı parametrelerle metal plaka ile temas durumları kontrol edilmiştir. Temas edilen birim hücrelerin konumları ile radyasyon paternleri yönlendirilmeye çalışılmıştır. Hedeflenen durumların kontrolünü sağlamak için simülasyon ortamında çok sayıda analiz yapılmıştır. Yapılan tüm simülasyonların S11 parametre büyüklükleri, iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri incelenip yorumlanmıştır. Bu çalışmaların laboratuvar ortamında üretimleri ve ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Dairesel model metayüzey yapıları için T model metayüzey yapısından farklı olarak birim hücrelerin temas durumu tek bir bağlantı ile kontrol edilmemiştir. Bu çalışmada birim

hücrelerin temas durumu sekiz farklı bağlantı ile kontrol edilmiştir. Dairesel model metayüzey de 20x20, 400 birim hücreden oluşmaktadır. Buradaki çalışmada da radyasyon paternlerinde yönlendirme ve anten parametrelerinde iyileştirme hedeflenmiştir.

Çalışmanın son bölümü olarak dairesel model metayüzey yapılarına uygun yapay sinir ağları tasarlanmıştır. Simülasyonlardan elde edilen 128 farklı çizimin girdi ve çıktıları tablo halinde listelenip, geliştirilen programda oluşturulan yapay sinir ağlarına veri setleri olarak verilmiştir. Bu veri setleri eğitim ve test verilerine ayrılarak farklı ara katman nöron sayılarıyla en iyi ağ sonucu hedeflenmiştir. Yapay sinir ağı için aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu tercih edilmiştir. Eğitim algoritması olarak trainlm fonksiyonu kullanılmıştır. İleri beslemeli yapay sinir ağı yapısı kullanılmıştır. Ağ eğitilerek minimum hata ile maksimum verimle çalışan bir ağ hedeflenmiştir. Eğitim sonunda ise yapay sinir ağları çıktıları ile gerçek çıktılar arasında hata oranı hesaplamaları yapılmıştır. Bu hata hesaplamaları sonucunda en uygun sistem özellikleri belirlenmiştir.

Bu çalışma ile metayüzey yardımıyla monopol antenlerin radyasyon paternlerinde yönlendirme yapılabileceğinin gösterilmesi hedeflenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Zheng ve arkadaşları 2019 yılında düşük Q rezonatörlerine dayalı geniş bantlı kodlanabilen metayüzeyler tasarlamışlardır. Q (kalite faktörü) değeri ile faz kayması arasındaki ilişki eşdeğer devre modeli kullanılarak analiz edilmiştir ve bunun için düşük Q'dan oluşan çok bitli programlanabilir metayüzeyler tasarlamışlardır [30].

2018 yılında, Zhang ve arkadaşları kontrol edilebilir ışık ile dijital kodlanabilen metayüzey tasarlamışlardır. Diyot ışığının yoğunluğunu ayarlayarak, değiştirilebilir ışıklarda oluşan bir dijital kodlanan metayüzey ve yeniden ayarlanabilen radyasyon ışınları yapmışlardır [31].

Chen ve arkadaşları 2016 yılında polarizasyona bağımlı elektromanyetik dalga saçılmasından difüzyon benzeri saçılmayla geometrik fazlı kodlanan metayüzey tasarlamışlardır. Çalışmada 1 bitli veya çok bitli dijital metayüzey elde edebilmek için çeşitli uyumlu geometrik faz bazlı tek yapılandırılmış meta parçacık kullanmışlardır [32].

Cui ve arkadaşları 2014 yılında dijital metamalzemeler ve programlanabilir metamalzemeler üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada '0' ve '1' kullanarak 1 bitlik kodlamalarla elektromanyetik dalgaları değiştirip farklı işlevler gerçekleştirmişlerdir [33].

Yang ve arkadaşları 2017 yılında kodlanmış metayüzeylerin aktif saçılma alan kontrolünde faz tanımına etkilerini araştırmışlardır. Programlanabilen metayüzeyin anormal yansımaya ve dağınık yansımaya üzerindeki faz etkilerini incelemişlerdir [34].

Zhu ve arkadaşları 2010 yılında farklı polarize elektromanyetik dalgalar için değiştirilebilir metayüzey reflektörü incelemişlerdir. Diyotları açmak için farklı gerilimler sayesinde yapıyı neredeyse tam yansımaya ve tam absorbe etme arasında değiştirebilmişlerdir [35].

Liu ve arkadaşları da 2018 yılında programlanabilir metayüzeyler üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada programlanabilir metayüzeyleri inceleyebilmek için küresel etkenlerden yerel etkenlere kadar birçok farklı ve yazılım kullanılan metayüzeyler incelenmiştir [36].

Wu ve arkadaşları 2018 yılında düşük bit yansıtıcı kodlama metamateryali ile ışın hüzmesi sentezini araştırmışlardır. Tekrarlanan kodlama ve kırılmaya dayalı ışın sentezini göstermek için ışın noktalarının dağılımını bu mekanizma temelinde analiz etmişlerdir. Bu çalışmayı pin diyotlarla kontrol edilebilen radar sisteminde 1 bitlik kodlama yapılan metayüzeyler kullanarak yapmışlardır [37].

Li ve arkadaşları 2014 yılında metayüzeyler tarafından elektromanyetik çoklu ışın taramasının frekans kontrolleri üzerinde çalışmışlardır [38].

Zhao ve arkadaşları 2018 yılında doğrusal olmayan ve kablosuz iletişim istemleri için programlanabilir dijital kodlanan metayüzeyleri araştırmışlardır. Yüzey yansıtıcının yerel fazını dinamik değiştirerek programlanabilir ve dinamik olarak farklı harmoniklerin doğru kontrolünü sağlamışlardır [39].

Ünal ve Altıntarla 2019 yılında monopol anten üzerine birim hücrelerden oluşan metayüzey yapıları ekleyerek birim hücrelerin temas durumunu kontrol ederek radyasyon paternlerinde yönlendirme yapabilmişlerdir [40].

3. MONOPOL ANTENLER

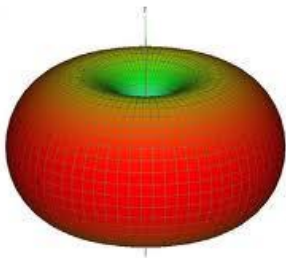
Monopol anten 1895 yılında Guglielmo Marconi tarafından üretilmiştir. 1964 yılında ise patentlenmiştir. Guglielmo Marconi antenin bir ucunu uzun bir tele diğer ucunu da toprağa bağlayarak daha uzak mesafelere sinyal gönderilebildiği görülmüştür. Bu nedenle monopol antenlere Marconi antenleri de denilmektedir.

Monopole antenler genellikle düz bir iletken yüzeye dik olarak temas ettirilmeden monte edilen çeyrek dalga boyunda ($\lambda/4$) düz bir metal tel kullanarak elde edilirler. Monopol antenlerin beslemesinin bir ucu monopolün alt kısmına, diğer ucu ise iletken yüzeye bağlanarak yapılır. Monopol antenler iletken bir yüzeyin üzerinde yayılım yaptığı için kendisi ile benzer özellikteki dipol antenlerden iki kat daha fazla kazançla sahip görünecektir. Monopol antenin yayılım direnci ise dipol antenin yarısı kadar olacaktır.



Resim 3.1. Monopol anten

Monopol antenler omnidirectional (tümüönlü) ışımaya sahiptir (Resim 3.2). Antene dik ve her yöne eşit şekilde yayılım yaparlar. Bu yayılım anten ekseninde sıfıra düşer. Monopol antenler düşey polarize olmuş dalgalar yayırlar. Bazıları ise helix antenler gibi dairesel polarize dalgalar yayabilirler.



Resim 3.2. Monopol anten ışımaya örüntüsü örneği

4. YAPAY SINİR AĞLARI

4.1. Genel Tanım

Yapay sinir ağı (YSA) bilgisayar programlarına öğrenme yolu ile yeni bilgiler oluşturma yeteneklerini hiçbir kullanıcı tarafından yardım almadan insan gibi otomatik düşünebilme yeteneği eklemektir [41].

İlk yapay sinir ağı nöronu, 1943'te nöropsikiyatrist Warren McCulloch ve bilim adamı Walter Pitts tarafından yapılmıştır. Dönemin imkansızlıkları nedeniyle çok gelişme sağlanamamıştır. 1969'da Papert ve Minsky kitap yayınlamışlardır. Yapay sinir ağı alanındaki etik kaygıların ortadan kalkmasına sebep olmuşlardır. Gözle görülür ilk gelişmeler ise 1990'lı yılları bulmuştur.

Yapay sinir ağı, insan beyni örnek alınarak öğrenme sürecinin matematiksel formüllerle tasarlanması ile yapılmıştır. İlk olarak insan beynindeki biyolojik olan nöronların tasarlanması ile başlayıp bunu bilgisayar programlarına aktarmaya çalışmışlardır. İnsan beynini taklit etme esası üzerine kurulan yapay sinir ağı nano saniye hızında işlem yapmaya ulaşmış oldukları halde hala insan beynine yaklaşamamışlardır.

4.2. Yapay Sinir Ağının Çalışması

Her yapay sinir ağının kendine özgü bir amacı vardır. Bu sebeple belirli bir kurala uygun bir yöntem gerekmemektedir. İnsanlara benzer olarak, örnekler sayesinde deneme yanılma yöntemi ile ağı kendi kendine problemi nasıl çözmesi gerektiğini öğrenir. İnsan beynindeki nöronlar sinir hücreleri arasındaki sinaptik boşluklar (sinapslar) sayesinde haberleşebilmektedirler.

YSA da çok sayıda girdileri sayesinde kendi ağırlıklarını ve yapısını değiştirerek öğrenmeyi sağlamaktadır. Karar verme durumunda bu ağırlıklar devreye girer. Bu nedenle öğrendiği bilgileri geliştirme süresinin büyük ölçüde azalmasına sebep olmaktadır. Yapay sinir ağı girdilerdeki oluşan değişiklik durumlarını ele alarak bunların matematiksel istatistiklerini çıkararak çıktıyı oluşturur. Öğrenme aşaması benzer girdileri gruplayarak

aynı çıktıyı elde edebilen bir algoritma ile meydana gelir.

4.3. Yapay Sinir Ağı Yapısı

Sinir hücreleri ağ yani network olarak isimlendirilirler ve burada çok sayıda nöronlar bulunmaktadır. Bu nöronlar bir araya gelerek yapay sinir ağını meydana getirirler. Bu yapay sinir ağıyla asıl amaç insan sinir hücrelerinin ağ yapısının çalışma yapısını meydana getirmek istenmektedir. Nöronların bir araya gelmesiyle ağımızda katmanlar oluşmaya başlar [42]. Üç tane olan bu katmanlar sırası ile aşağıdaki şekildedir:

- Girdi Katmanı
- Ara Katman (Gizli Katman)
- Çıktı Katmanı

4.3.1. Girdi katmanı

Bu katman girdi verilerini tutmaktadır. Girdiler bu katmanda dışarıdan alınarak ara katmanlara taşınırlar. Bu katmanda herhangi bir fonksiyon çalıştırılmaz.

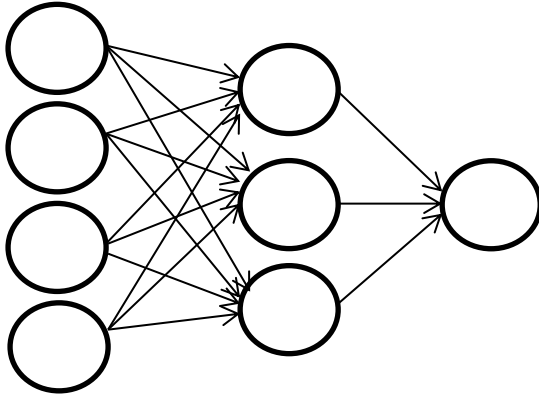
4.3.2. Ara katman (Gizli-hidden katman)

Bu katmanda girdi verileri işlenerek çıktı katmanına transfer edilirler. Bu katmanda bazı fonksiyonlar kullanarak bilgiler işlenirler ve bu katmanda birden fazla ara katman bulunabilir.

4.3.3. Çıktı katmanı

Bu katmanda ara katmanda olduğu gibi bazı fonksiyonlar gelen bilgileri işleyerek ağ için oluşturulması gereken çıktıları minimum hatayla oluşturup sistemin çıkışına gönderilir.

YSA katmanları aşağıdaki gibi örneklendirilmiştir.



Girdi katmanı Ara katman Çıktı katmanı

Şekil 4.1. YSA katman yapısı

Çizelge 4.1. İnsan Sinir Sisteminin Yapay Sinir Ağlarındaki Karşılıkları

Sinir Sistemi	Yapay Sinir Ağı
Nöron	İşlem Elemanları
Dentrit	Toplama Fonksiyonu
Hücre Gövdesi	Aktivasyon Fonksiyonu
Akson	Eleman Çıkışı
Sinaps	Ağırlıklar

4.4. Yapay Sinir Ağları Fonksiyonları

Yapay sinir ağları oluşturulurken birleştirme ve aktivasyon olarak bazı fonksiyonlar kullanılır. Bu fonksiyonlar ağın eğitilmesini ve eğitilirken hangi yöntemlerin kullanılacağını belirler.

4.4.1. Birleştirme fonksiyonu

Birleştirme fonksiyonu ağı gelen girdilerle ağırlıkların çarpımlarının toplamını alan fonksiyondur. YSA'ya göre çarpım, minimum ve maksimum alan fonksiyonları olabilir.

4.4.2. Aktivasyon fonksiyonu

Aktivasyon fonksiyonları birleştirme fonksiyonlarından gelen girdileri işleyerek ağın çıktılarını belirleyen fonksiyonlardır. Transfer fonksiyonu olarak ta bilinirler. Sistemin ihtiyaçlarına göre farklı tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılmaktadır. En uygun olan aktivasyon fonksiyonunun kararı ise ağı kullanan kişinin denemelerine göre verilir. Aktivasyon fonksiyonları arasında en sıklıkla kullanılan fonksiyonlar tanjant hiperbolik ve sigmoid fonksiyonlarıdır. Eğer bir ağın bir sistemin çalışma sisteminin ortalamasından sapmanın öğrenmesi isteniyorsa tanjant hiperbolik, çalışma sisteminin ortalamasının öğrenilmesi isteniyorsa sigmoid fonksiyonu kullanılır.

Sigmoid fonksiyonu

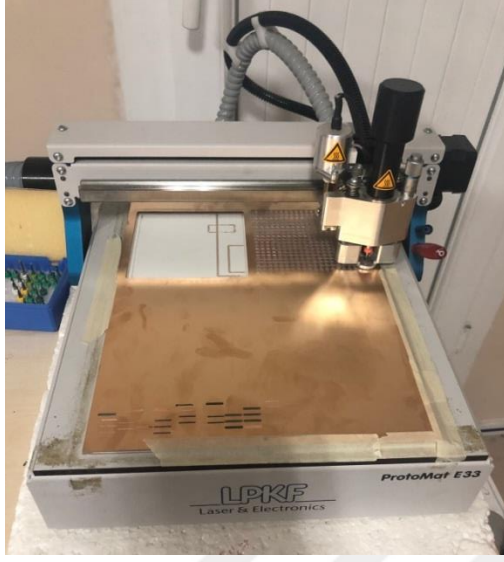
Sigmoid fonksiyonu sürekli, doğrusal olmayan ve türevi alınabilen bir fonksiyondur. Bu sebeple aktivasyon fonksiyonları arasında yapay sinir ağlarında en çok tercih edilen fonksiyondur. Sigmoid fonksiyonu girdi değerleri için 0 ve 1 arasında değerler üretir [43].

Tanjant hiperbolik fonksiyonu

Tanjant hiperbolik fonksiyonu, sigmoid fonksiyonunun negatif değerler alabilen fonksiyon halidir. Sigmoid fonksiyonu 0 ve 1 değerleri arasında değer alırken tanjant hiperbolik fonksiyonları -1 ve 1 arasında değerler alırlar [44].

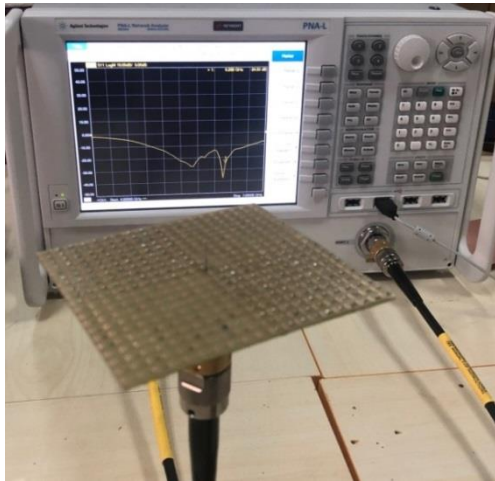
5. ÜRETİM VE ÖLÇÜM CİHAZLARI

Monopol anten, T model ve yuvarlak model metayüzey yapıların tasarımı mikrodalga simülasyon programı ile simüle edilip ölçümler yapılmıştır. Çizimlerin üretimleri Resim 5.1'deki Laser & Electronics Protomat E33 cihazında 3 boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir.



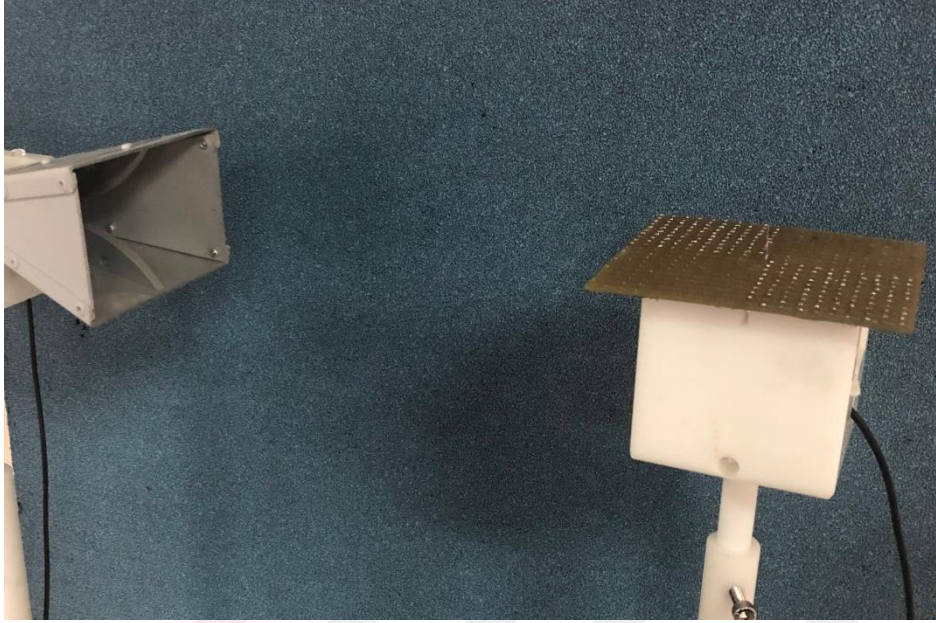
Resim 5.1. Metayüzey yapının üretimi

Üretilen yapıların S11 parametre ölçümü ise Resim 5.2'deki PNA-L Network Analyzer N5234A cihazı ile yapılmıştır. Bu cihaz 10 MHz ile 43,5 GHz gibi geniş bir bant aralığında ölçüm yapabilmektedir.



Resim 5.2. Üretilen yapıların Network Analyzer cihazı ile ölçümü

Üretilen yapıların iki boyutlu radyasyon paternleri Resim 5.3'teki MATS-1000A cihazı ile ölçülmüştür. MATS cihazı 3-4 GHz ve 5-6 GHz arası ölçüm yapabilmektedir. Radyasyon paterni ölçümü için horn anten kullanılmıştır. Network Analyzer ve MAATS-1000A cihazından elde edilen verilerin MS EXCEL programında grafikleri çizilmiştir.



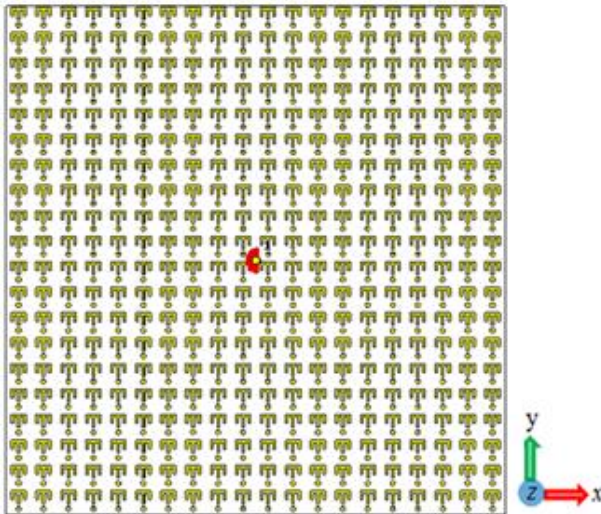
Resim 5.3. Radyasyon paterninin ölçümü

6. ARAŞTIRMA BULGULARI, YÖNTEM VE TARTIŞMA

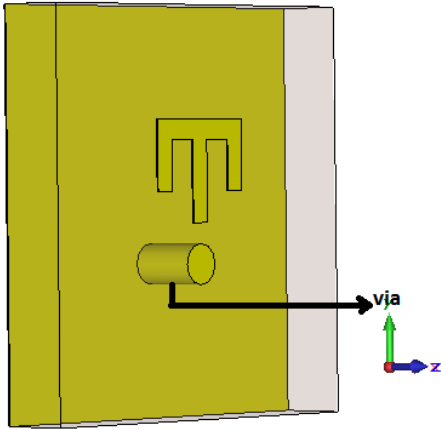
6.1. T Model Metayüzeyin Tasarımı ve Sonuçları

Şekil 6.1’de gösterilen metayüzey yapısı 10x10cm’dir ve 20x20, 400 birim hücreden oluşmaktadır. Yapının arka planı tamamen bakırdan oluşmaktadır ve üzerinde 1,6 mm kalınlığında FR4 ($\epsilon=4,3$, $\mu=1$) malzeme bulunmaktadır. Her birim hücre 0,5 mm çapında delinip bakır ile doldurularak yapının arkasındaki bakır arka plan ile temas etmesi sağlanmıştır (Şekil 6.2). Her birim hücredeki T modelin ölçüleri Şekil 6.3’te ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Metayüzeyin tam ortası delinerek 5 GHz frekansta çalışan 0,8 mm çapında 14 mm uzunluğunda monopole anten (Şekil 6.4) eklenmiştir.

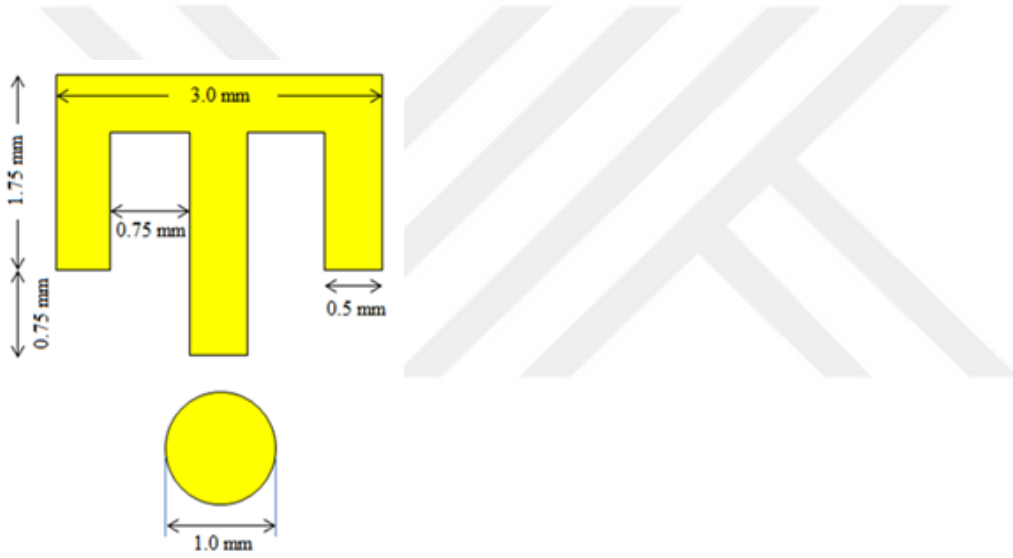
Bu çalışmada birim hücrelerdeki T model ile T modelin hemen altında yer alan içi bakır ile dolu olan deliklerin (via) belirli bir desene bağlı kalarak veya rastgele temas ettirilmesi ile antenin ışıma yönünü kontrol edebilmek, antenin kazancı ve yönlülüğü gibi parametrelerin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. 400 tane birim hücreden oluşan metayüzey yapısındaki her birim hücrelerin temas kontrolünü sağlayabilmek adına her birim hücreye ayrı bir parametre atanarak, kontrol toplam 400 parametre ile ayrı ayrı sağlanmıştır.



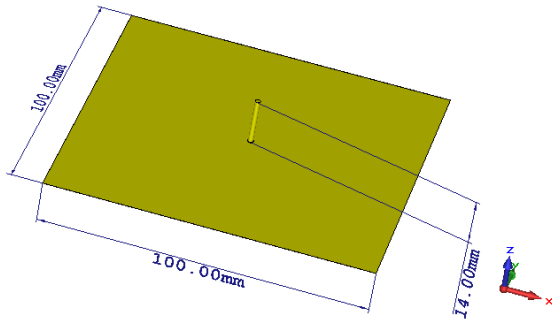
Şekil 6.1. 20x20 T model yapısı



Şekil 6.2. FR4 malzemesinin delinerek arka plandaki bakır ile via oluşturulması

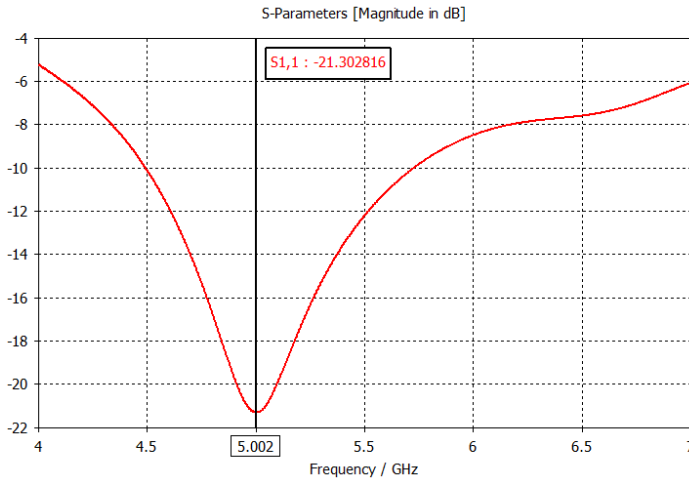


Şekil 6.3. Birim hücre ölçüleri



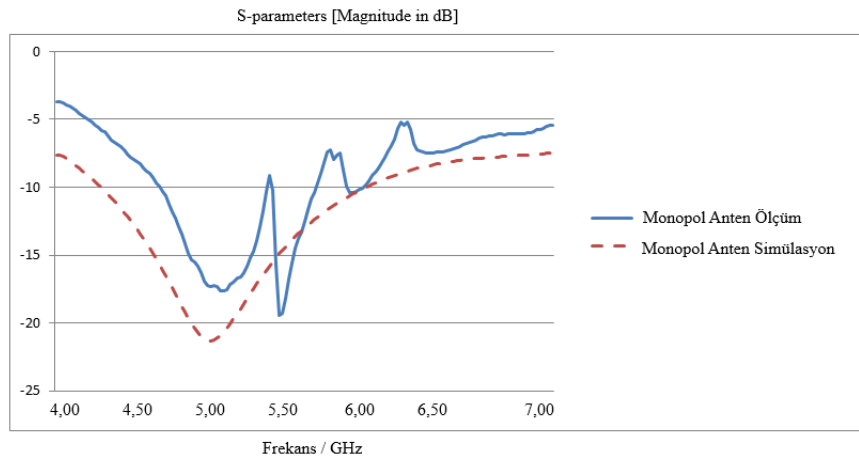
Şekil 6.4. Monopol anten tasarımı

Monopol antenin yansımaya katsayısı, S11 parametre grafiği Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Monopol antenin S11 parametresinin yaklaşık olarak -21 dB'e kadar düştüğü görülmektedir. S11 parametrelerinin bir diğer özelliği ise bant genişliğinin ölçülmesine olanak sağlamasıdır. Bant genişliğine bakılırken -10 dB referans alınmıştır, -10 dB'nin altında kalan frekans bölgesine bant genişliği denilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, monopol antenin bant genişliği yaklaşık 1,2 GHz civarındadır.

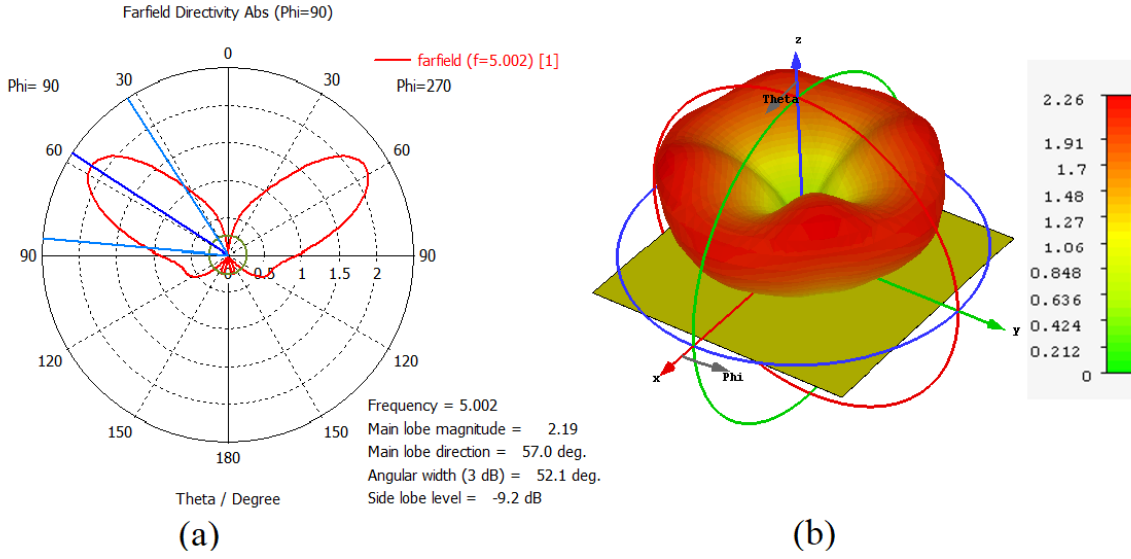


Şekil 6.5. Monopol anten S11 parametre grafiği

Şekil 6.6'da monopol antenin yansımaya katsayısının (S11) sayısal ve ölçüm sonuçları birlikte, aynı grafik üzerinde görülmektedir. Sonuçlar birbiri ile uyum içindedir, ölçüm sonuçlarında meydana gelen dalgalanma üretim ve ölçüm hatalarından kaynaklanmaktadır.

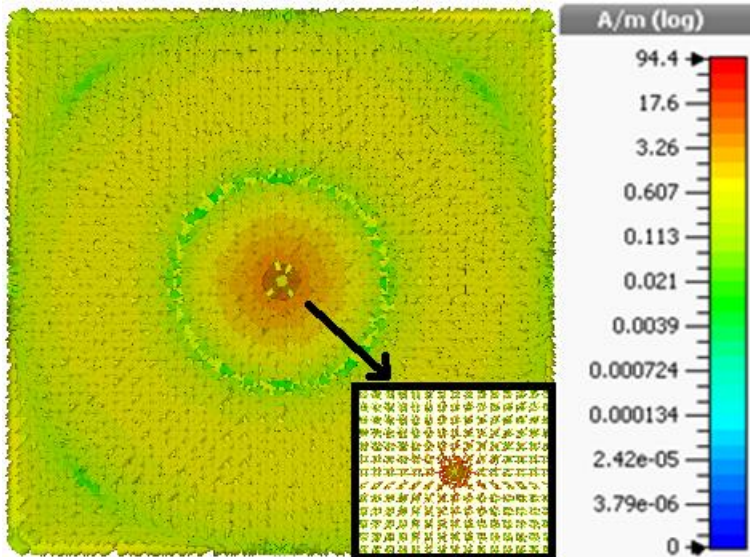


Şekil 6.6. Monopol anten için S11'in sayısal ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırması



Şekil 6.7. Monopol antenin radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Monopol antenin, sayısal olarak elde edilen 2 ve 3 boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.7’de verilmiştir. Hüzme genişliği Şekil 6.7 (a)’da görüldüğü gibi $52,1^\circ$, ana lob ışınım büyüklüğü ise 2,19 dBi olarak elde edilmiştir.

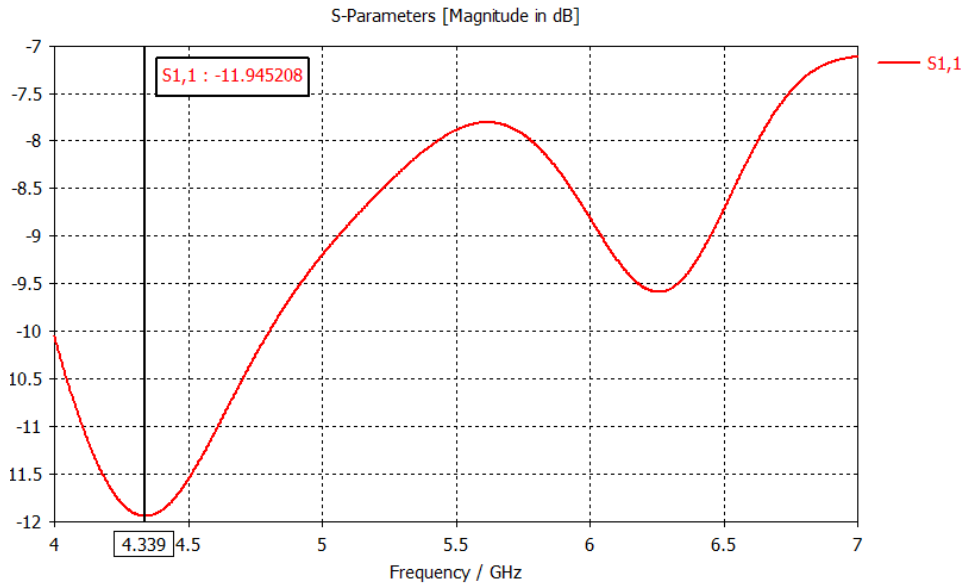


Şekil 6.8. Monopol anten yüzey akım dağılımı

Şekil 6.8’de monopol antenin yüzey akım dağılımı gösterilmiştir. Şekil 6.8’de de görüldüğü gibi yüzey akımının maksimum değeri 94,4 A/m’dir. Şekil 6.8 de verilen yüzey akım dağılımı, antenin rezonans frekansı olan 5 GHz’de elde edilmiştir.

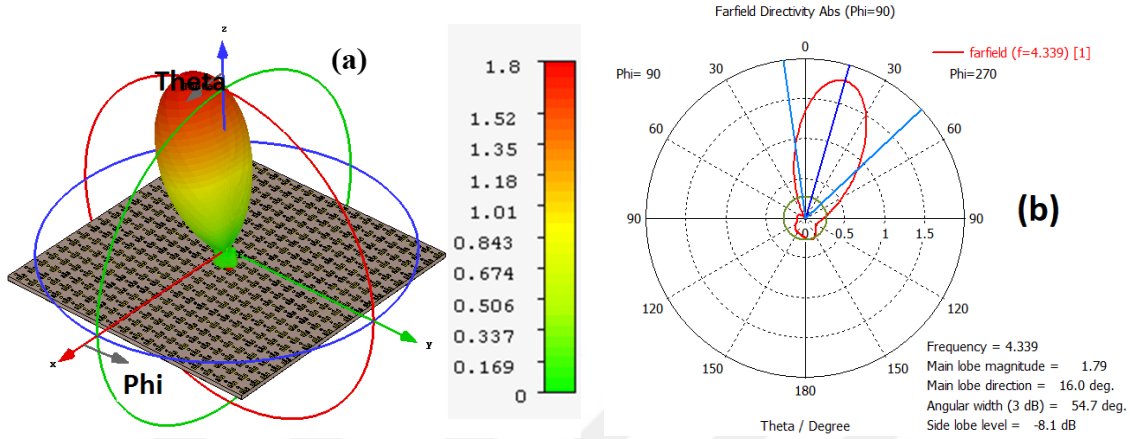
T modelle ilgili antenin radyasyon paternini yönlendirme, kazancını ve yönlülüğünü iyileştirme yapabilmek için belirli bir desene bağlı kalarak veya rastgele şekilde T model birim hücrelerin metal plaka ile via aracılığıyla temas ettirildiği 31 farklı desende sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. Birim hücrenin metal plaka ile temas ettirilmesi durumu 'on', ettirilmemesi durumu ise 'off' olarak adlandırılmıştır. Tüm birim hücrelerin 'off', 'on', çift sütunlar 'on', tek sütunlar 'on' olduğu durumlarda ayrı ayrı sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Metayüzeyin tam ortası orijin kabul edildiğinde, birinci ve üçüncü bölgedeki hücreler 'on', ikinci ve dördüncü bölgede yer alan hücreler 'off' $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ veya tam tersi $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ şeklinde konfigürasyonlar için de analiz yapılmıştır. Ayrıca, rastgele hücrelerin metal plaka ile temas durumları da dahil toplamda 31 farklı konfigürasyonun sayısal analizi yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Diğer taraftan, bu konfigürasyonların üretimleri de yapılarak ölçümler de gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda bahsedilen konfigürasyonların analizler sonucu elde edilen grafikleri aşağıda ayrı ayrı verilmiştir. Sayısal sonuçlar ile ölçüm sonuçları karşılaştırma yapmak amacıyla aynı grafik üzerine çizilmiş ve sayısal sonuçlar, ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



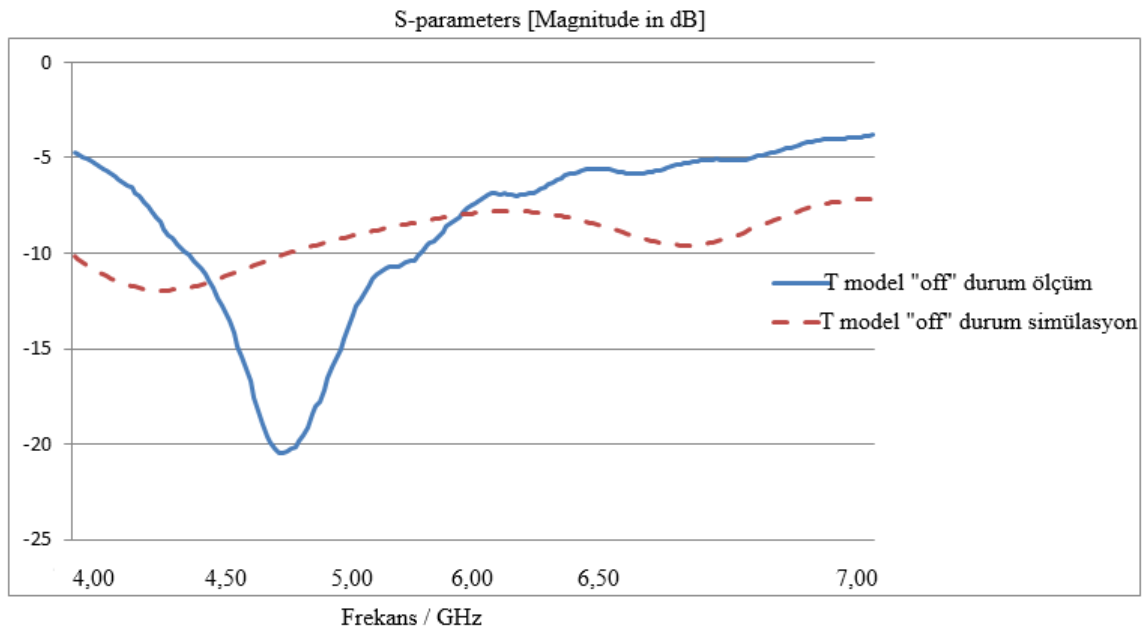
Şekil 6.9. Yansıma katsayısı (S11), birim hücreler 'off' durumunda

Şekil 6.9'da 'off' durumu için yansımaya katsayısının (S11) grafiği görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, yansımaya katsayısının minimum değeri 4,339 GHz'de -11.945 , bant genişliği ise yaklaşık 0,8 GHz'dir.



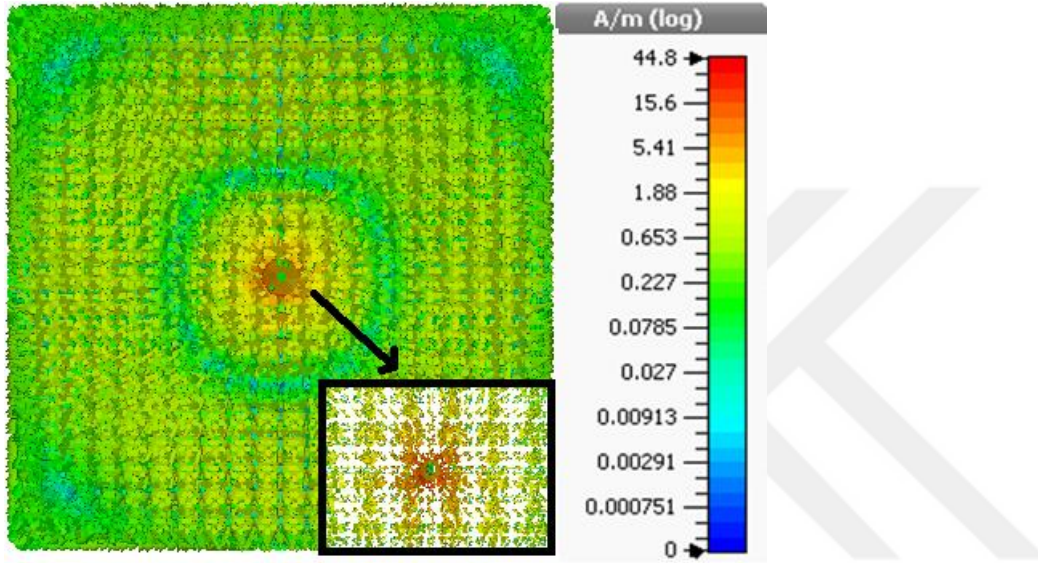
Şekil 6.10. Radyasyon paterni, 'off' durumu (a) 3 boyutlu, (b) 2 boyutlu

Birim hücreler 'off' durumunda olduğunda, yönlülük değeri Şekil 6.10 (a) da görüldüğü gibi yaklaşık olarak 1,8 dBi'dir. Hüzme genişliği ve ana lob ışımaya büyüklüğü ise Şekil 6.10 (b)'de görüldüğü gibi sırasıyla $54,7^\circ$ ve 1,79 dBi'dir.



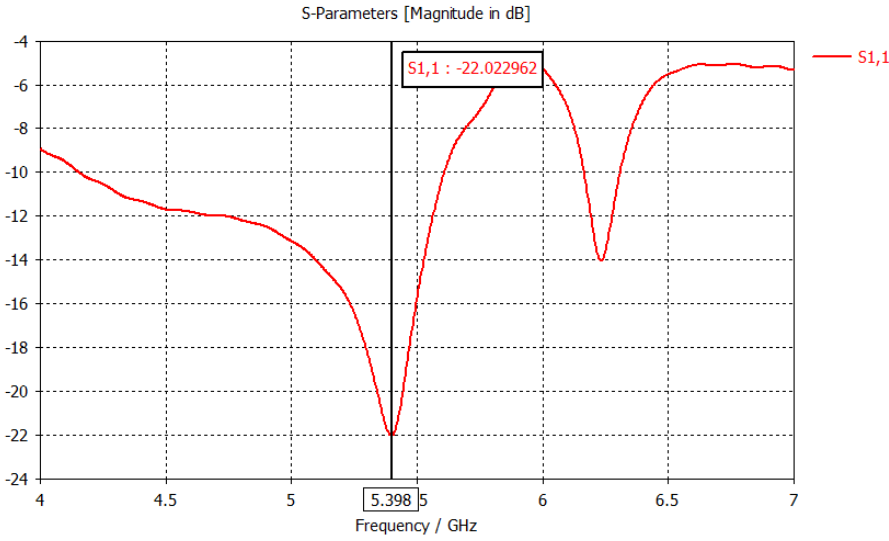
Şekil 6.11. Yansımaya katsayısı (S11), 'off' durumu ölçüm ve simülasyon sonuçları

Şekil 6.11’de tüm birim hücreler ‘off’ durumunda olduğunda, yansıma katsayısının simülasyon ve ölçüm sonuçları aynı grafikte birlikte verilmiştir. S11’in minimum değeri sayısal analiz için 4,339 GHz’de -12 dB, ölçüm sonuçları için ise 4,76 GHz’de -21 dB olarak elde edilmiştir. Ölçüm ve simülasyon sonuçları arasında gözlenen farkların, metayüzeyin üretim hatalarına, kayıplara, ölçüm yapılan ortama ve ölçüm hatalarına bağlı olduğu değerlendirilmiştir.



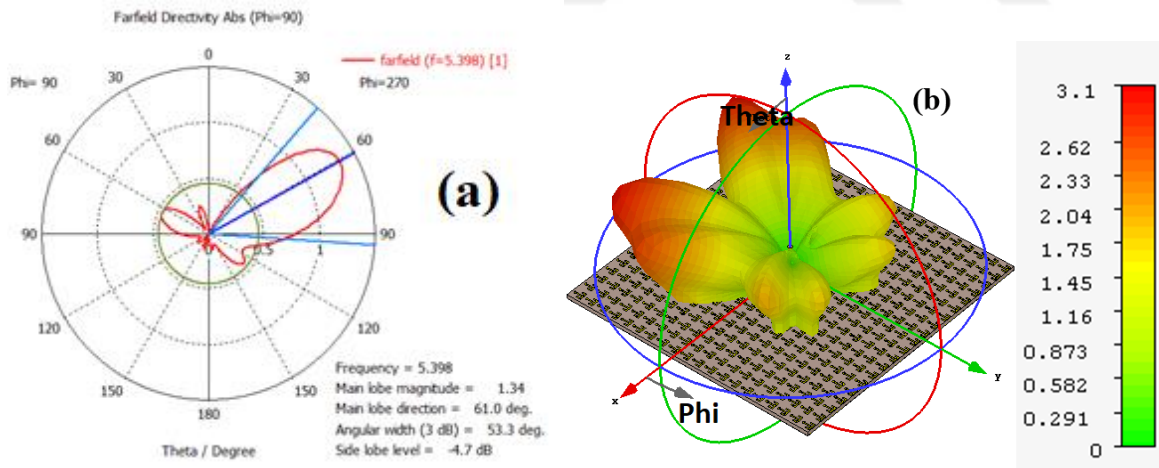
Şekil 6.12. T model, ‘off’ durumu yüzey akım dağılımı

Şekil 6.12’de T model metayüzde tüm birim hücreler ‘off’ durumunda olduğunda, yüzey akım dağılımı görülmektedir. Şekil 6.12’de de görüldüğü gibi yüzey akımının maksimum değeri 44,8 A/m’dir. Bu değer, Şekil 6.8’de verilen, metayüzeysiz monopol antenin yüzey akımının yaklaşık yarısıdır; yani metayüzey eklendiğinde monopol antenin yüzey akımı yaklaşık olarak yarıya inmiştir.



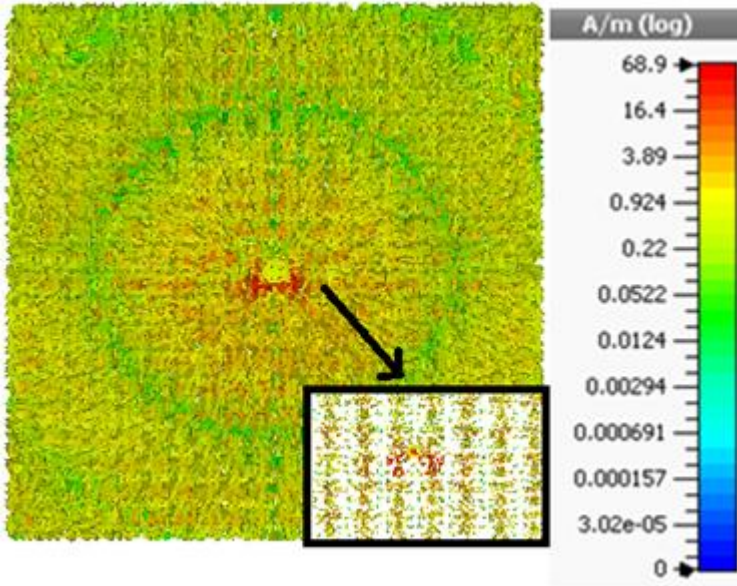
Şekil 6.13. Yansımaya katsayısı (S11), birim hücreler 'on' durumunda

Şekil 6.13'te T model metayüzeyin tüm birim hücreleri 'on' konfigürasyonu için S11 grafiği verilmiştir. 5,398 GHz'de S11 parametresinin minimum değeri -22 dB olarak görülmektedir. Bant genişliği ise yaklaşık olarak 1 GHz'dir.



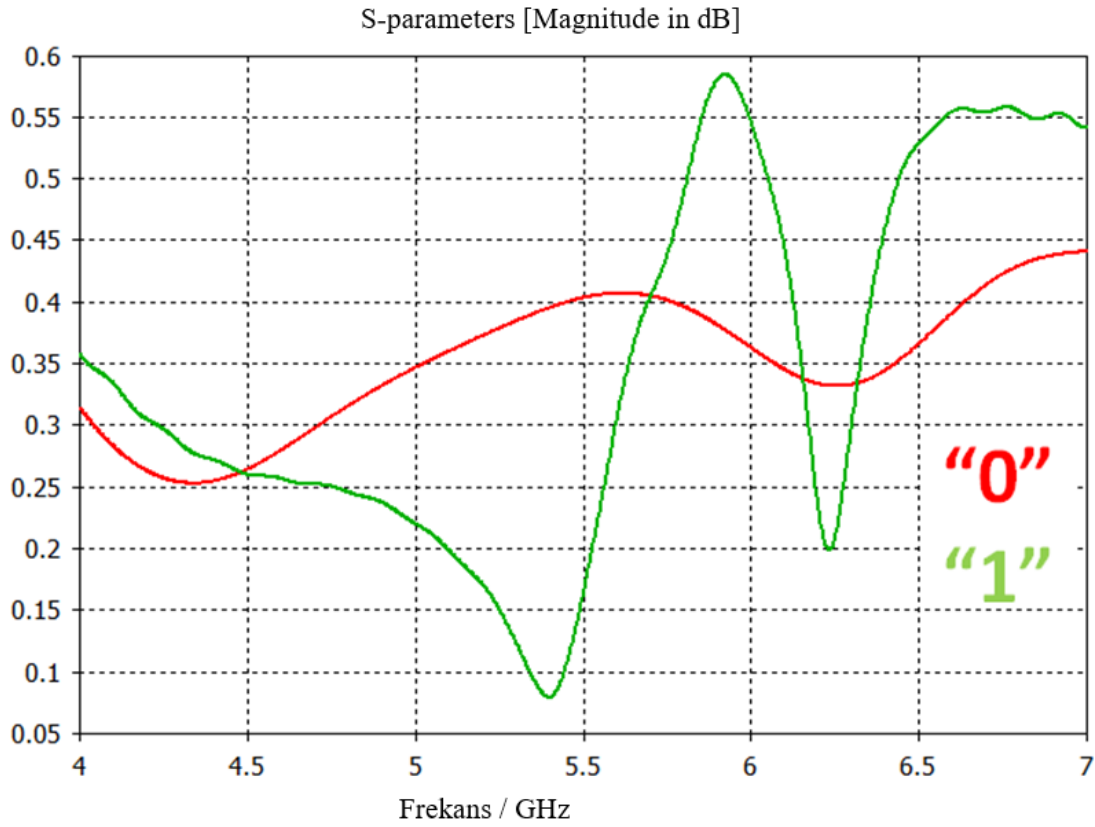
Şekil 6.14. Radyasyon paterni, 'on' durumu (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Şekil 6.14'te 'on' durumunun iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri görülmektedir. Tüm birim hücreler 'on' durumunda iken, Şekil 6.14 (b)'de görüldüğü gibi yönlülük yaklaşık olarak 3,1 dBi'dir. Hüzme genişliği $53,3^\circ$, ana lob ışınma büyüklüğü 1,34 dBi, yan loblardaki ışınma büyüklüğü ise -4,7 dB olarak elde edilmiştir.



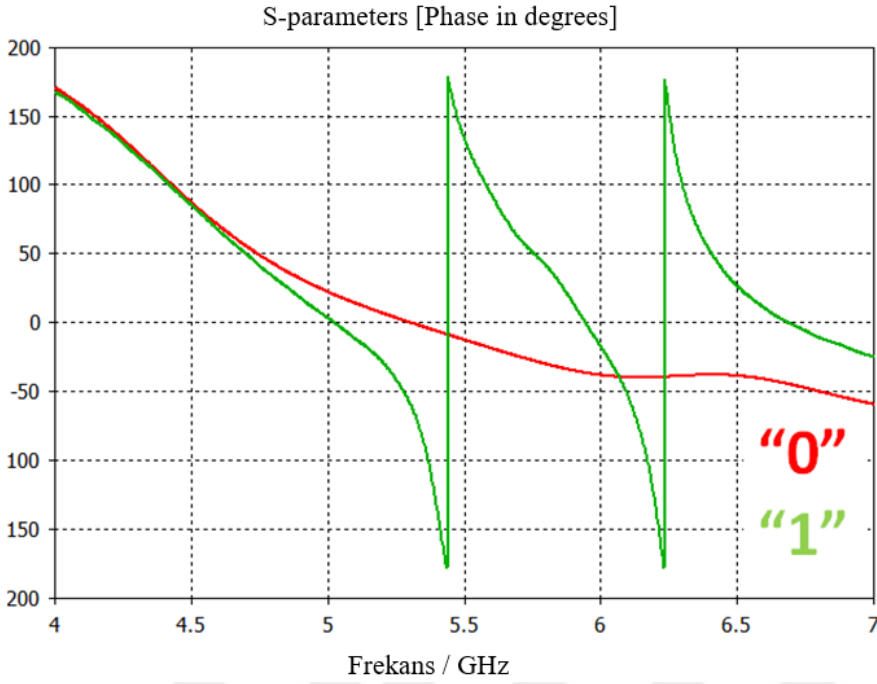
Şekil 6.15. T model, 'on' durumu yüzey akım dağılımı

Şekil 6.15'te de gösterildiği gibi tüm birim hücreler 'on' durumunda iken; yani tüm birim hücrelerin temas ettirildiği durumda, rezonans anında yüzey akım dağılımının maksimum değeri yaklaşık olarak 68,9 A/m'dir. Bu değer, tüm birimlerin 'off' yani tüm birim hücrelerin temassız olduğu durumun yüzey akımının maksimum değeri olan 44,8 A/m değerinden daha büyük bir değerdir ve daha yüksek yönlülüğe sahiptir. Bu sebepten dolayı, iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternlerinde de görüldüğü gibi yönlülük fazla etkilenmiştir.



Şekil 6.16. T model 'off' ve 'on' durumları için S11 mutlak değerlerinin karşılaştırması

Şekil 6.16'da tüm birim hücreler 'off'; yani temassız ve tüm birim hücreler temasta, yani 'on' durumunda olduklarında S11'in mutlak değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Grafikte 'off' durumu '0', 'on' durumu ise '1' olarak temsil etmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, 'on' ve 'off' durumları için rezonans frekansları yaklaşık olarak 5,4 GHz ve 4,3 GHz olarak görünmektedir. Birim hücrelerin temasta olması, rezonans frekansının aşağı yönde kaymasına sebep olmuştur.



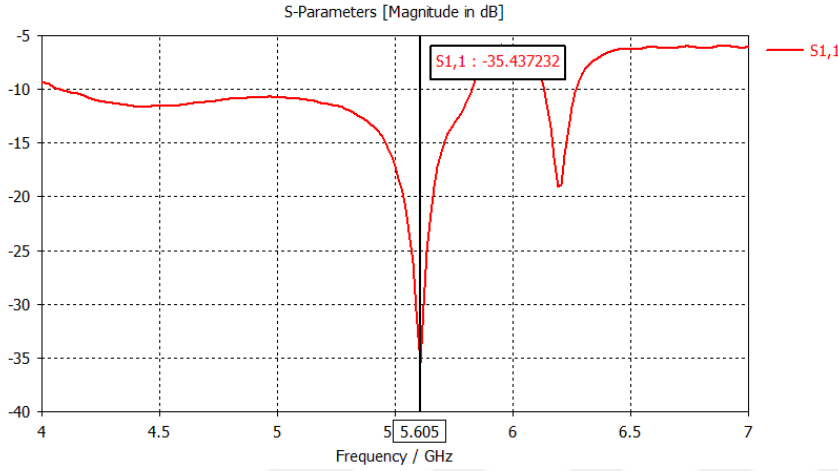
Şekil 6.17. T model 'off' ve 'on' durumları için S11 fazlarının karşılaştırması

Şekil 6.17'de de görüldüğü gibi 5,4 GHz'de faz farkı yaklaşık olarak -180° civarındadır. Bu durumda, T model birim hücreler arasındaki açık ve kapalı temas durumunun incelenmesinin mümkün olacağı da görülmektedir.



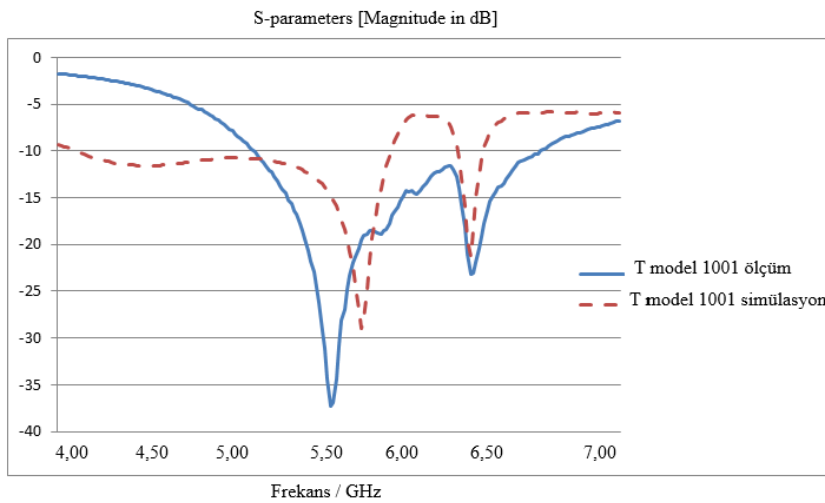
Şekil 6.18. T model $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu

Metayüzeyin tam ortası orijin kabul edildiğinde, ikinci ve dördüncü bölgedeki hücreler ‘on’, birinci ve üçüncü bölgede yer alan hücreler ‘off’ yapıldığında, elde edilen $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu Şekil 6.18’de görülmektedir. Temas noktalarının kolay anlaşılması sebebi ile tüm ‘1’ durumdaki birim hücreler kırmızı renkle (koyu) temsil edilerek gösterilmiştir.



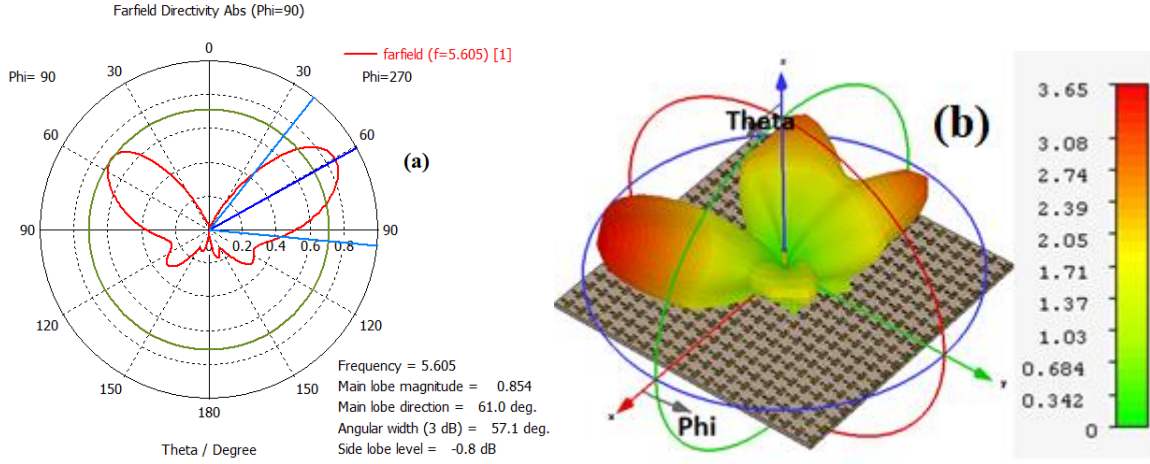
Şekil 6.19. T model $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu için S11 grafiği

T model $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ durumu için S11 grafiği Şekil 6.19’da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, S11 in en küçük değeri 5,605 GHz’de -35 dB olarak elde edilmiştir. Bant genişliği ise yaklaşık olarak 0,8 GHz olarak görülmektedir.



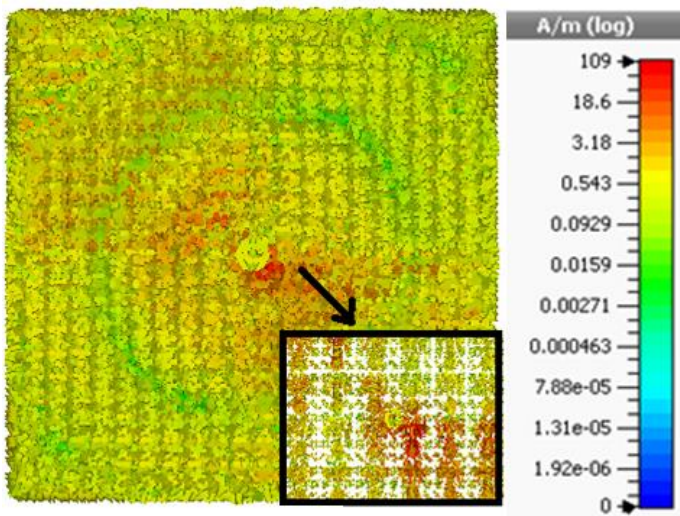
Şekil 6.20. $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ durumu için ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 6.20’de T model $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ durumu için S11’in ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sonuçlar birbiri ile uyum içerisindedir. Küçük frekans kaymaları ölçüm ve üretim hatalarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.21. $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ durumu için radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

T model $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ durumu için iki ve üç boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.21’de görülmektedir. Bu durum için hüme genişliği Şekil 6.21 (a)’da görüldüğü gibi 57,1° ve ana lob ışınma büyüklüğü 0,854 dBi dir. Yan loblardaki ışınma büyüklüğü ise -0,8 dB’dir. Ayrıca, Şekil 6.21 (b)’de görüldüğü gibi yönlülük yaklaşık olarak 3,65 dBi’dir.



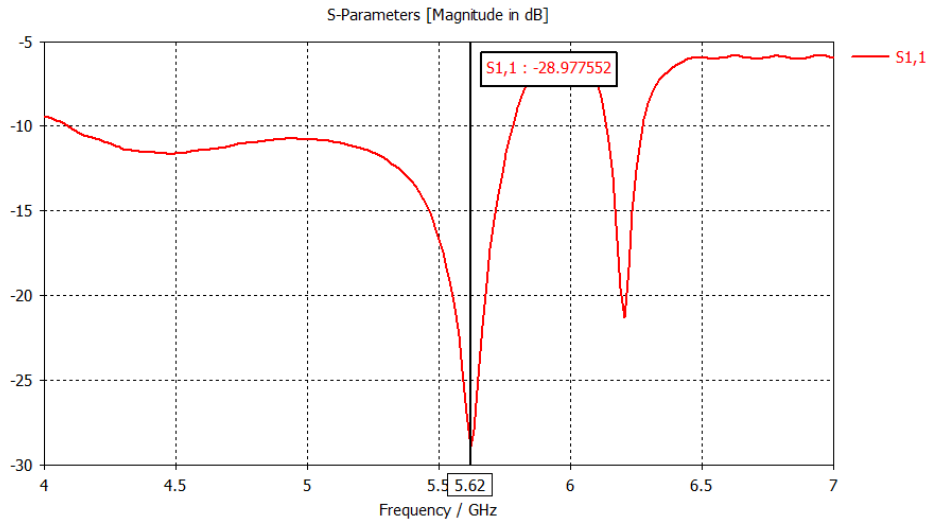
Şekil 6.22. T model $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu için yüzey akım dağılımı

T model $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ durumu için yüzey akım dağılımı Şekil 6.22’de gösterilmiştir. Elde edilen maksimum yüzey akımı 109 A/m olarak görülmektedir. Bu akım, yukarıda anlatılan konfigürasyonların maksimum yüzey akımlarından çok büyüktür.



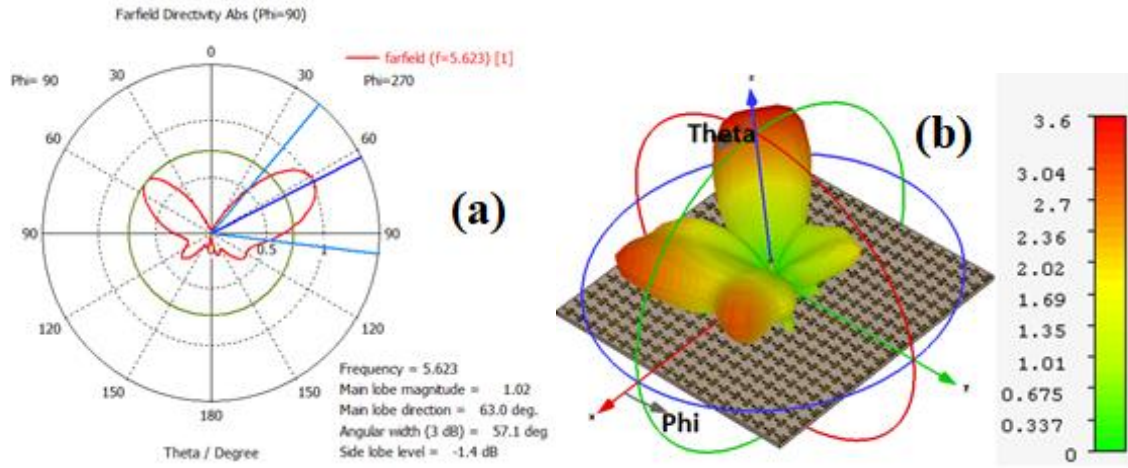
Şekil 6.23. T model $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu

Şekil 6.23’te $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu görülmektedir. Bu konfigürasyonda, birinci ve üçüncü bölgede yer alan tüm birim hücreler; yani ‘1’ olan tüm birim hücreler kırmızıya boyanarak (koyu) temsil edilmiştir.



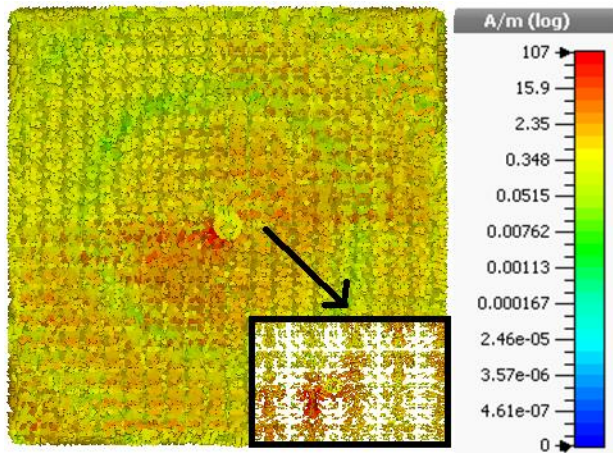
Şekil 6.24. T model $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu için S11 grafiği

T model $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu için S11 grafiği Şekil 6.24'te verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi S11'in minimum değeri 5,623 GHz'de yaklaşık olarak -29 dB ve bant genişliği ise yaklaşık olarak 0,8 GHz'dir.



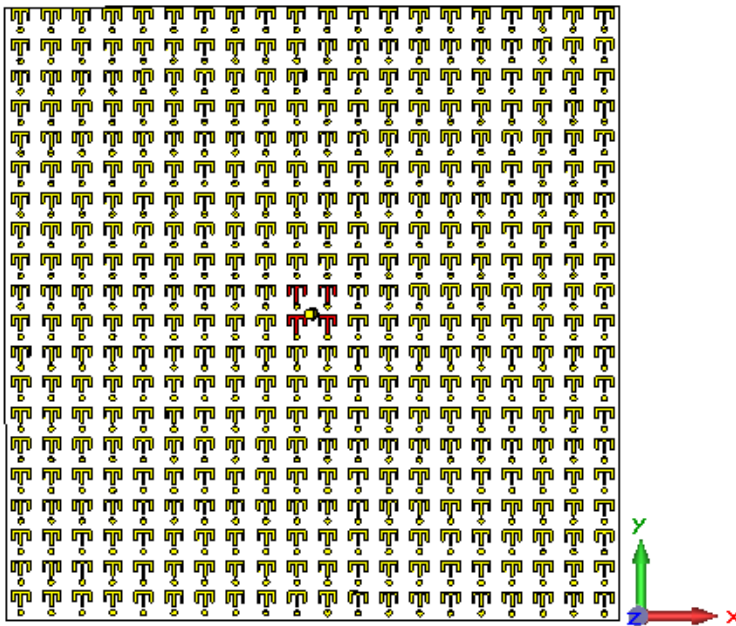
Şekil 6.25. T model $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu için radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

T model $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu için iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.25'te gösterilmiştir. Şekil 6.25 (a)'da görüldüğü gibi hüzmeye genişliği $57,1^\circ$, ana lob ışınma büyüklüğü 1,02 dBi ve yan lobların ışınma büyüklüğü -1,4 dB'dir. $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ konfigürasyonunun yönlülüğü ise Şekil 6.25 (b)'de de görüldüğü gibi 3,5 dBi'dir.



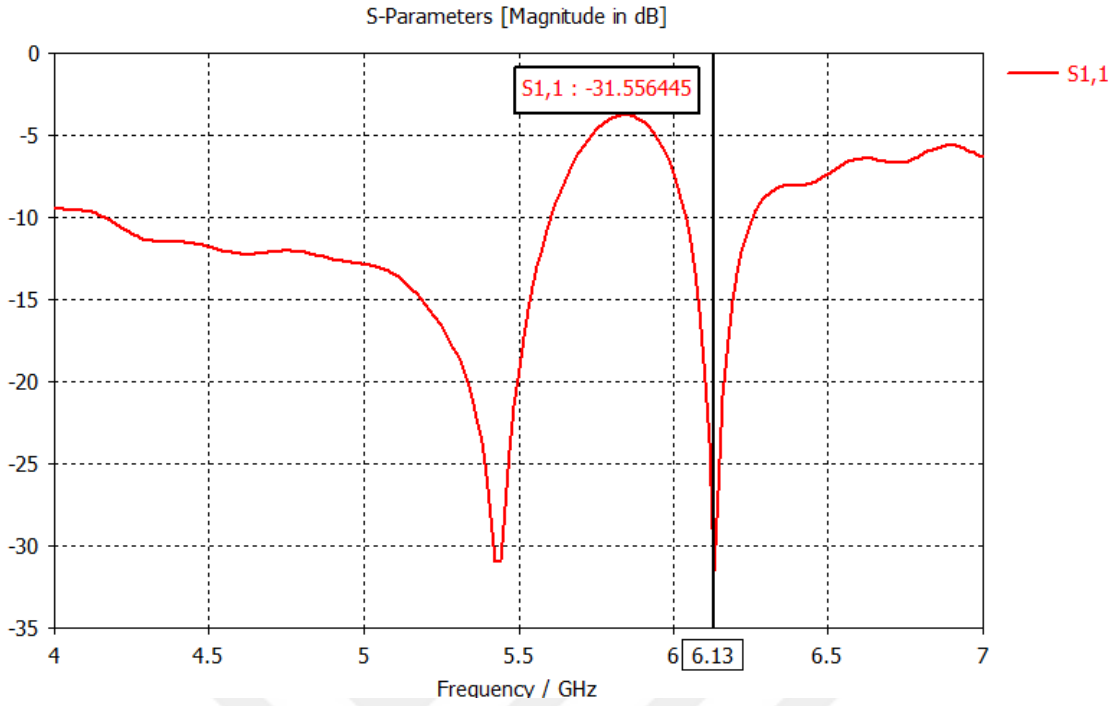
Şekil 6.26. T model $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu için yüzey akım dağılımı

T model $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ konfigürasyonu için yüzey akım dağılımı Şekil 6.26’da verilmiştir. Yüzey akım dağılımının maksimum değeri 107 A/m olarak görülmektedir. Önceki çalışılan konfigürasyonların yüzey akım dağılımları dikkate alındığında, $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ ve $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ konfigürasyonlarının yüzey akımlarının maksimum değerleri diğer konfigürasyonlara kıyasla ciddi oranda artmıştır. Bu da radyasyon paternlerinde farklılıklara sebep olmakta, radyasyon paternlerinin yönlendirilmesini ve yan lobların azaltılmasını mümkün kılmaktadır.



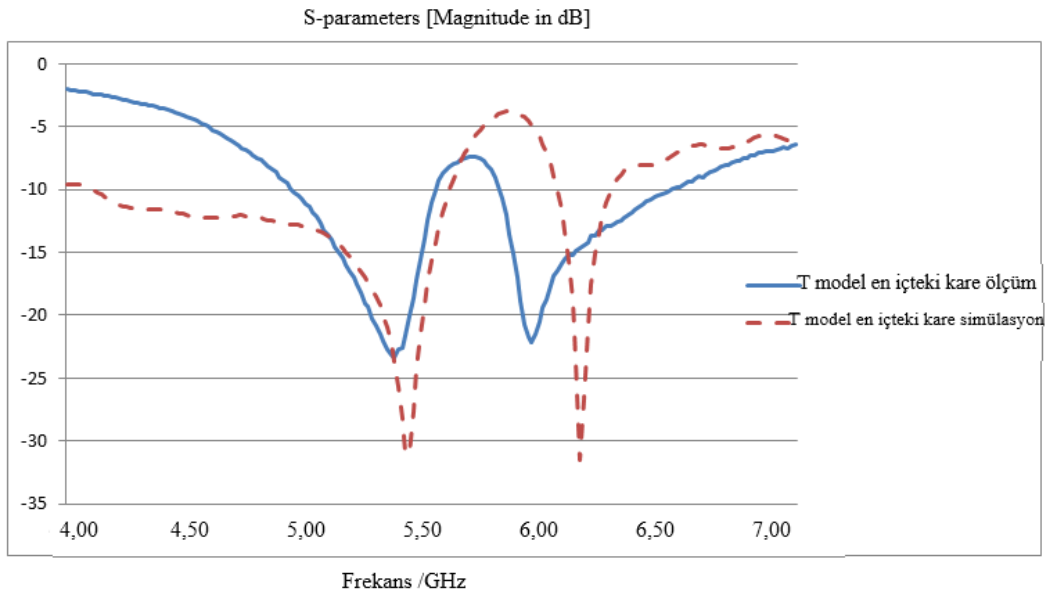
Şekil 6.27. T model, antene en yakın hücreler ‘on’

T model konfigürasyon analizleri yapılırken, ‘on’ olan hücrelerin monopol anten üzerine etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için farklı konfigürasyonlar oluşturulmuş ve analizleri yapılmıştır. Yapılan denemeler, monopol antene yakın olan hücrelerin etkisinin diğer hücrelerin etkisinden daha fazla olduğunu göstermiştir. Antene yakın hücreler ‘on’ olduğunda S11’in daha çok etkilendiği, yönlendirmenin daha iyi kontrol edildiği ve yan lobların daha fazla zayıfladığı anlaşılmaktadır. Bu konfigürasyonlardan bir tanesi, Şekil 6.27’de görülen, antene en yakın birim hücrelerin ‘on’ olduğu konfigürasyondur, temas eden birim hücreler (koyu) kırmızı renkte gösterilmiştir.



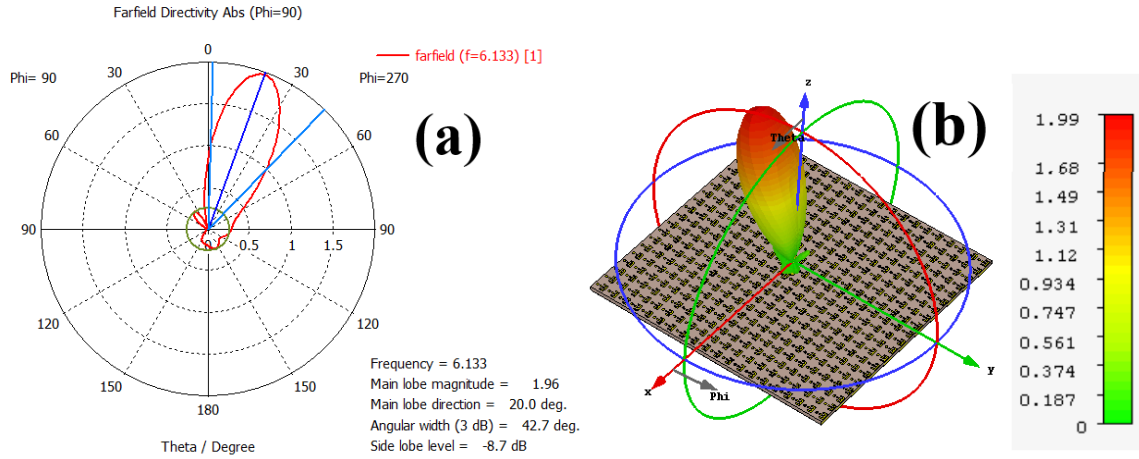
Şekil 6.28. T model, antene en yakın hücreler ‘on’, S11 parametre grafiği

T model metayüzey yapısında antene en yakın birim hücreler ‘on’ yapıldığında, yansımaya katsayısı Şekil 6.28’de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, 6,133 GHz’de S11’in minimum değeri yaklaşık olarak -32 dB, bant genişliği yaklaşık olarak 0,3 GHz’dir.



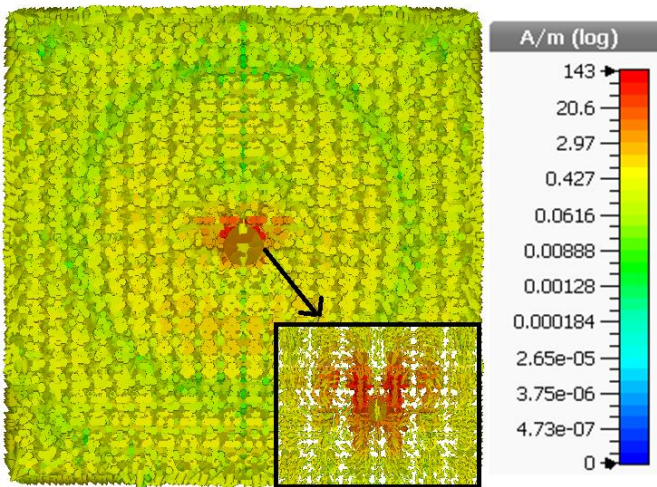
Şekil 6.29. Antene en yakın hücreler ‘on’, S11 ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması

Antene en yakın hücreler 'on' yapıldığında, S11'in ölçüm ve simülasyon sonuçlarının birbiri ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Frekans kaymaları, ölçüm ve üretim hatalarından kaynaklanmaktadır.



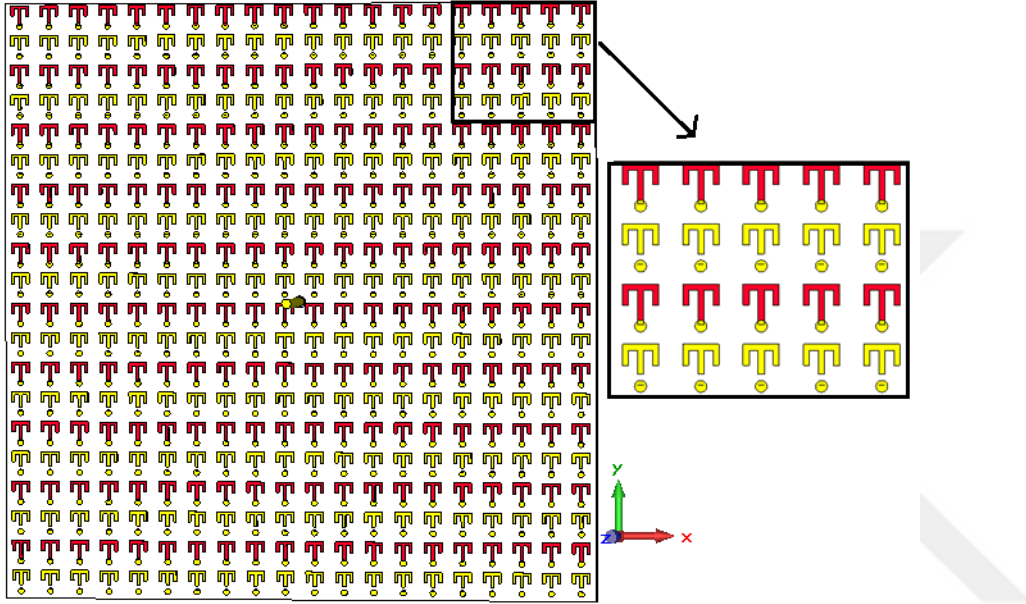
Şekil 6.30. Antene en yakın hücreler 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Şekil 6.30'da antene en yakın hücreler 'on' yapıldığında iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri elde edilmiştir. Şekil 6.30 (a)'da görüldüğü gibi hüzmeye genişliği $42,7^\circ$, ana lob ışınma büyüklüğü 1,96 dBi ve yan lobların ışınma büyüklüğü ise -8,7 dB olarak elde edilmiştir. Yan loblar, daha önce de belirtildiği gibi etkin bir şekilde zayıflatılmıştır. Yönlülüğün ise Şekil 6.30 (b)'de görüldüğü gibi 1,99 dBi olduğu anlaşılmıştır.



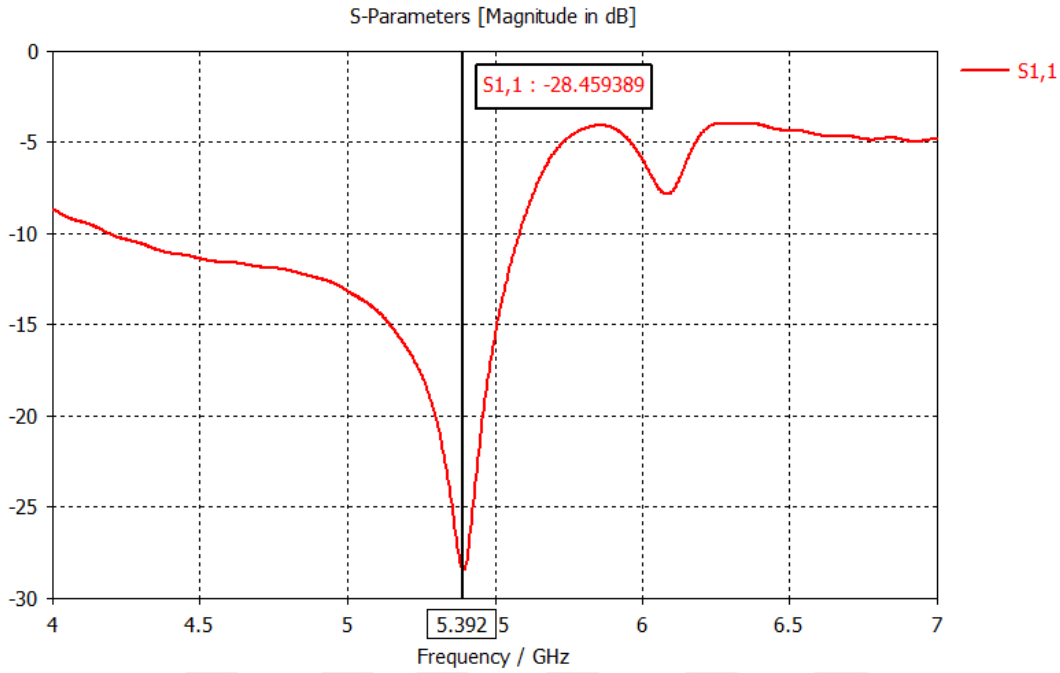
Şekil 6.31. Antene en yakın hücreler 'on', yüzey akım dağılımı

Antene en yakın hücreler ‘on’ yapıldığında elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.31’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi yüzey akım dağılımının maksimum değeri 143 A/m’dir. Antene yakın hücreler temas ettirildiğinden dolayı antenin çevresinde çok ciddi bir elektriksel aktivite oluşmuştur. Böylece, yan loblar zayıflatılmış ve radyasyon paterni iyileştirilmiştir.



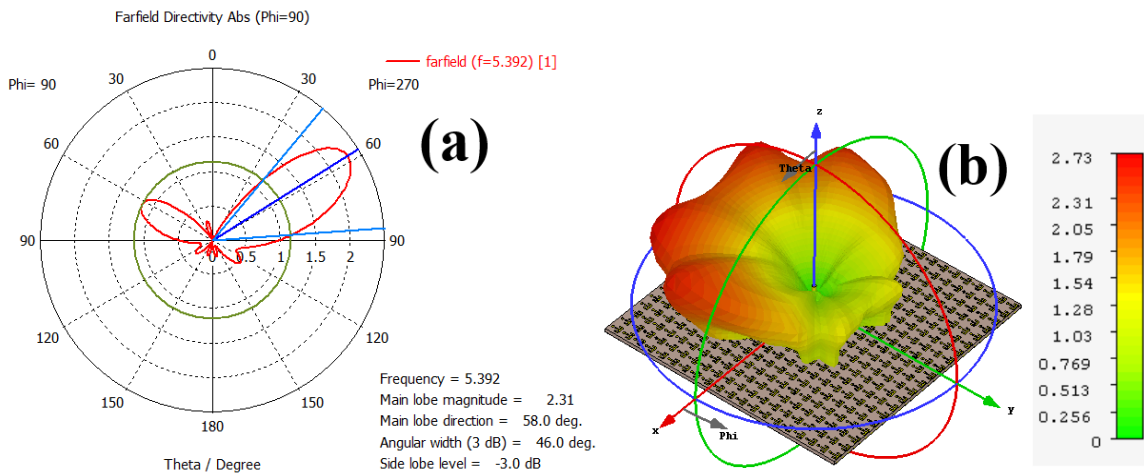
Şekil 6.32. Tek numaralı satırların ‘on’ olduğu konfigürasyon

Belirli bir desene bağlı olarak oluşturulan metayüzey yapılardan bir diğeri Şekil 6.32’de görüldüğü gibi tek numaralı tüm satırlardaki birim hücrelerin ‘on’ yapısı ile oluşturulan konfigürasyondur. Çift numaralı sütunlar ‘off’ konumunda bırakılmıştır ve önceki açıklamalarda belirtildiği gibi sadece kolay anlaşılabilmesi nedeniyle temas ettirilen hücreler kırmızıya (koyu) boyanarak gösterilmiştir.



Şekil 6.33. Tek numaralı satırlar ‘on’, S11 grafiği

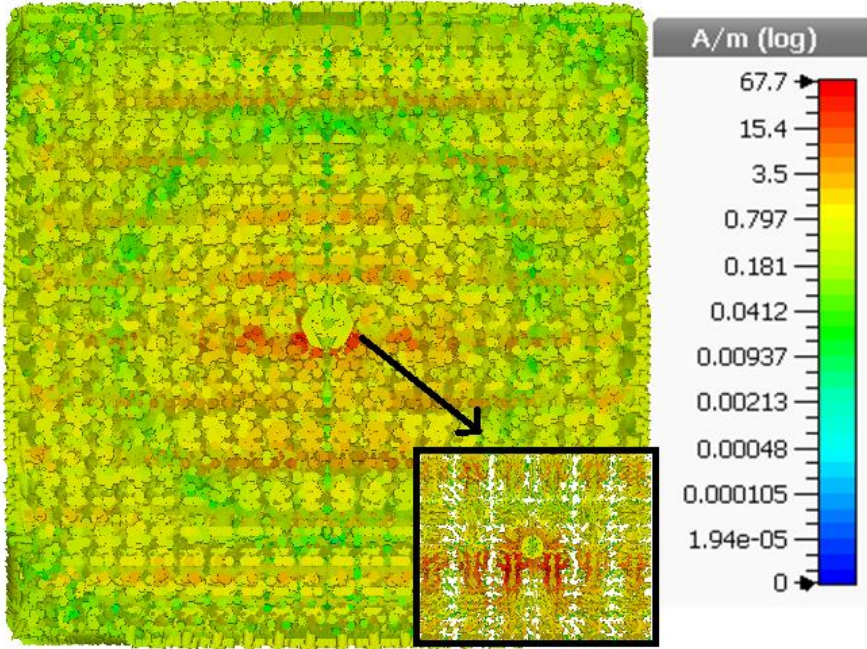
Tek numaralı satırların ‘on’ yapıldığı konfigürasyon için elde edilen S11 grafiği Şekil 6.33’te gösterilmiştir. S11 in minimum değeri 5,392 GHz’de yaklaşık olarak -28 dB ve bant genişliği ise yaklaşık olarak 1,5 GHz’dir.



Şekil 6.34. Tek numaralı satırlar ‘on’, radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Tek numaralı satırların ‘on’ yapıldığı konfigürasyon için iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.34’te gösterilmiştir. Şekil 6.34 (a)’da görüldüğü gibi, hüzmeye genişliği 46° , ana lob ışın büyüklüğü 2,31 dBi ve yan lobların ışın büyüklüğü ise -3 dB

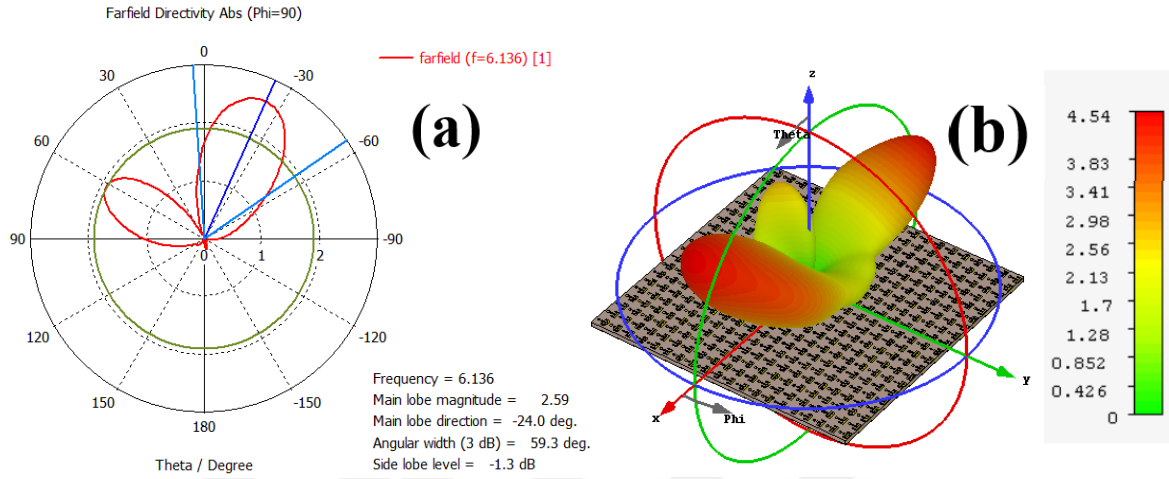
olarak elde edilmiştir. Yapının yönlülüğü Şekil 6.34 (b)'de görüldüğü gibi yaklaşık olarak 2,73 dBi'dir.



Şekil 6.35. Tek numaralı satırlar 'on', yüzey akım dağılımları

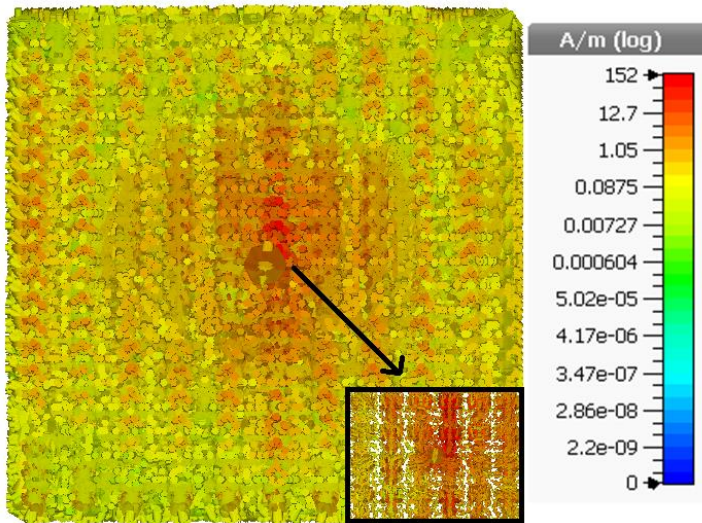
Metayüzey yapısının tek numaralı satırlardaki tüm birim hücrelerin 'on' yapılması ile elde edilen konfigürasyon için yüzey akım dağılımı Şekil 6.35'te gösterilmiştir. Yüzey akım dağılımının maksimum değeri yaklaşık olarak 67,7 A/m'dir. Yüzey akım dağılımı dikkatli incelendiğinde, antene yakın, tek satırlarda yer alan hücrelerdeki akım yoğunluğunun daha fazla olduğu görülmektedir, yani antene yaklaştıkça yoğunluğun ve dolayısı ile elektriksel aktivitenin arttığı gözlenmektedir.

Tek numaralı sütunlar 'on' konfigürasyonu için S11 parametresinin grafiği Şekil 6.37'te gösterilmiştir. Bu konfigürasyonda, S11'in minimum değeri 6,136 GHz'de yaklaşık olarak -35 dB, bant genişliği ise yaklaşık olarak 0,2 GHz olarak elde edilmiştir.



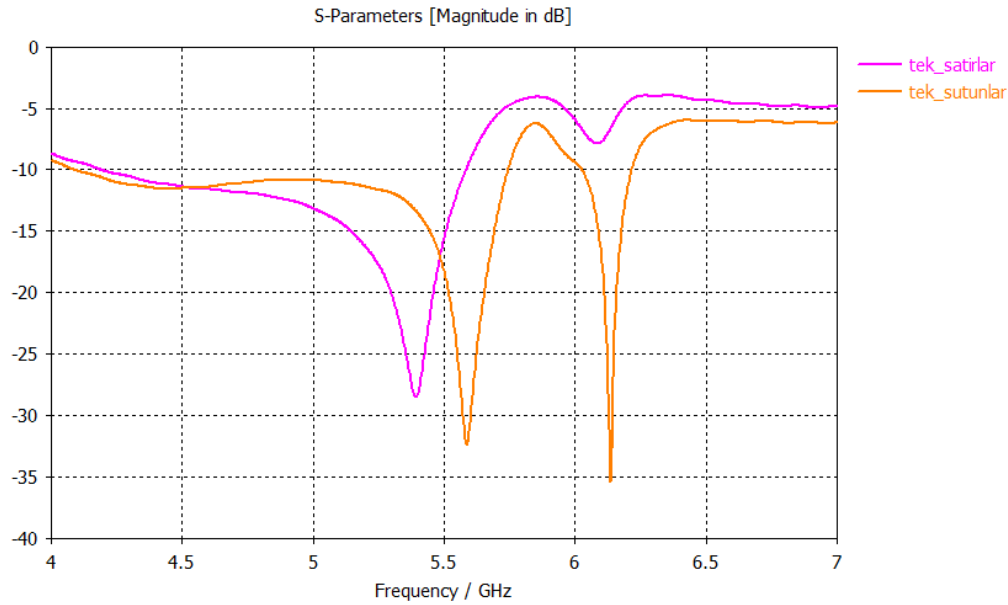
Şekil 6.38. Tek numaralı sütunlar 'on' radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

T model tek numaralı sütunların 'on' durumunda olduğu konfigürasyon için elde edilen iki ve üç boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.38'de gösterilmiştir. Bu konfigürasyon için elde edilen hüme genişliği 59,3°'dir. Ana lob ve yan lobların ışım büyüklükleri sırasıyla 2,59 dBi ve -1,3 dB olarak görülmektedir. Metayüzey yapısının yönlülüğü ise Şekil 6.38 (b)'de görüldüğü gibi yaklaşık olarak 4,54 dBi olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.39. Tek numaralı sütunlar 'on', yüzey akım dağılımı

Tek numaralı sütunların ‘on’ olduğu konfigürasyona ait yüzey akım dağılımı Şekil 6.39’da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yüzey akım dağılımının maksimum değeri 152 A/m’dir. Yüzey akım yoğunluğunun ‘on’ durumundaki hücrelerde antene yaklaştıkça arttığı gözlenmiştir. Bu konfigürasyon için yüzey akımlarının, tek numaralı satırların temas ettiği metayüzeye oranla ciddi oranda arttığı gözlenmiştir. Bu artış dalga polarizasyonundan kaynaklanmaktadır. Bu farklılık radyasyon paternleri incelendiği takdirde paternlerde de görülmektedir.

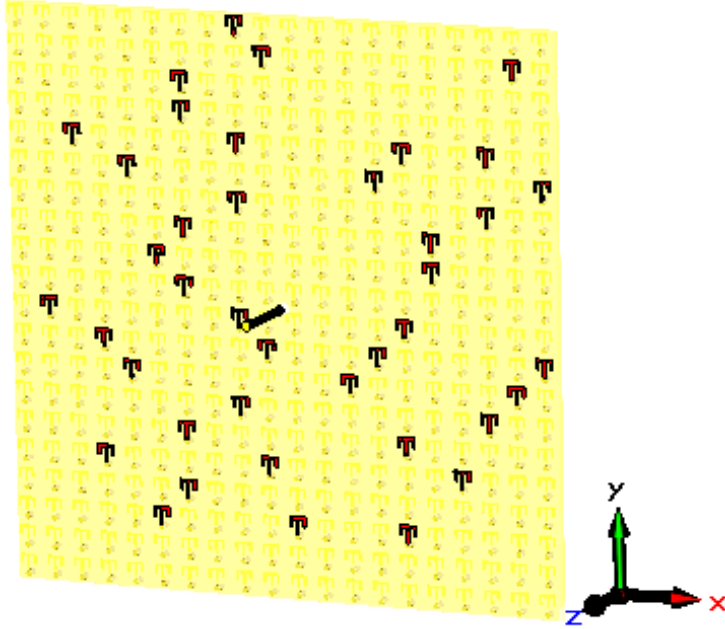


Şekil 6.40. Tek numaralı satır ve sütunlar ‘on’, S11’in simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırması

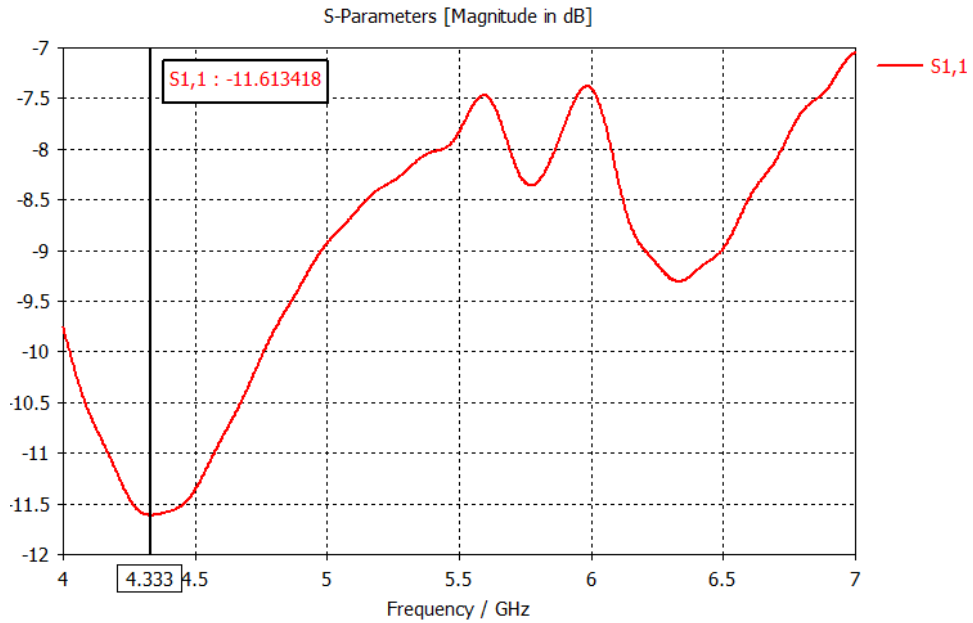
T model tek numaralı satır ve sütunların ‘on’ durumları için elde edilen S11 grafiği Şekil 6.40’ta görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi tek numaralı sütunların ‘on’ durumunda olduğu konfigürasyon için S11 değerinin küçüldüğü, rezonans frekansının ise yukarı doğru kaydığı gözlenmiştir. tek numaralı sütunların ve satırların ‘on’ olduğu konfigürasyonlar için S11’in minimum değerleri sırasıyla yaklaşık olarak -35 dB ve -28 dB’dir. Bu durumda, dalga polarizasyonunu nedeniyle sütunların radyasyon paternine etkilerinin satırların etkilerine göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

T model metayüzey yapısı için şimdiye kadar incelenen yapılar belirli bir desene bağlı kalınarak birim hücrelerin ‘on’ yapılmasına bağlı olan yapılarıdır. Radyasyon paternleri ve

S11 parametrelerindeki değişiklikleri incelenmek üzere rastgele seçilen birim hücrelerin temas ettirdiği metayüzeyler de incelenmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda görölmektedir.

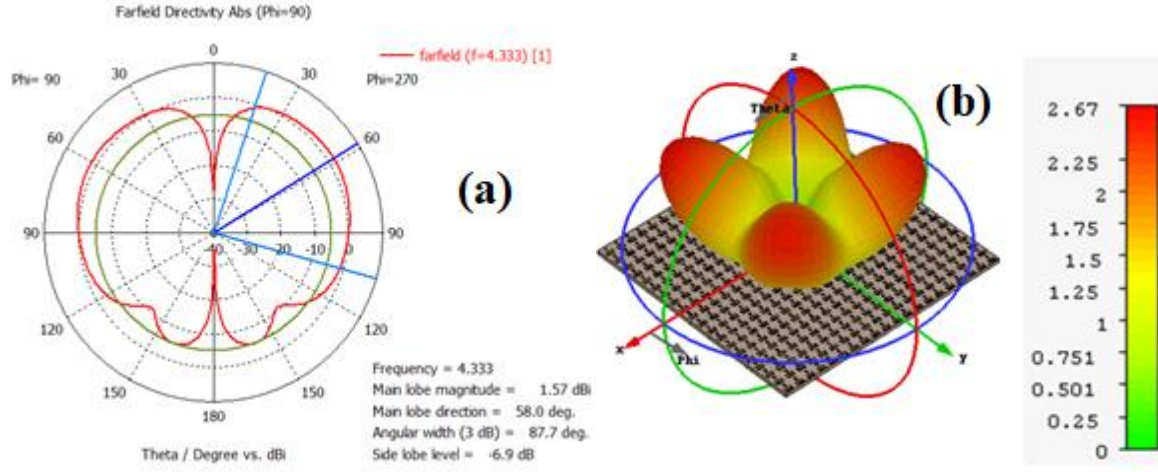


Şekil 6.41. Rastgele hücrelerin ‘on’ olduğu konfigürasyon-1



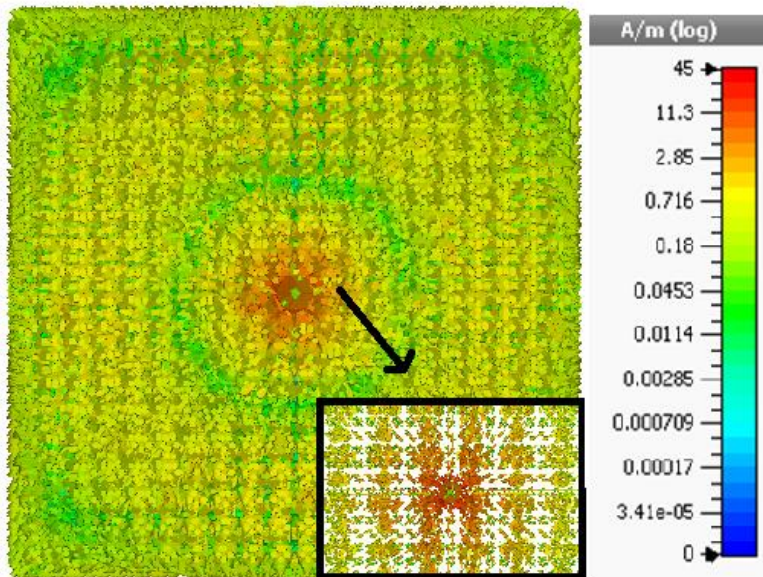
Şekil 6.42. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-1’in S11 grafiği

Rastgele hücrelerin 'on' yapılması ile elde edilen ve Şekil 6.41'de görünen konfigürasyonun S11 grafiği Şekil 6.42'de gösterilmiştir. S11'in minimum değeri 4,333 GHz'de yaklaşık olarak -11 dB'dir.



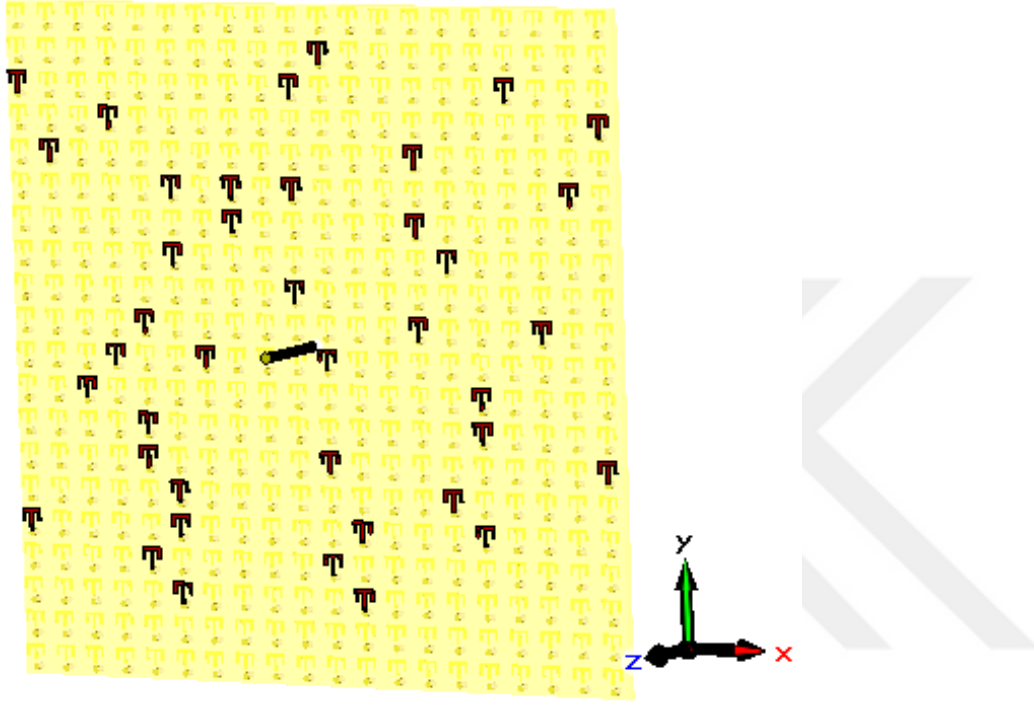
Şekil 6.43. Rastgele hücreler 'on', konfigürasyon-1'in radyasyon paternleri (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Rastgele birim hücrelerin 'on' olduğu konfigürasyon-1'in hüzme genişliği Şekil 6.43 (a)'da görüldüğü gibi $87,7^\circ$ 'dir. Ana lob ışınma büyüklüğü ve yan lobların ışınma büyüklükleri sırası ile 1,57 dBi ve -6,9 dB olarak görülmektedir. Bu konfigürasyonun yönlülüğü ise Şekil 6.43 (b)'de görüldüğü gibi yaklaşık olarak 2,67 dBi'dir.

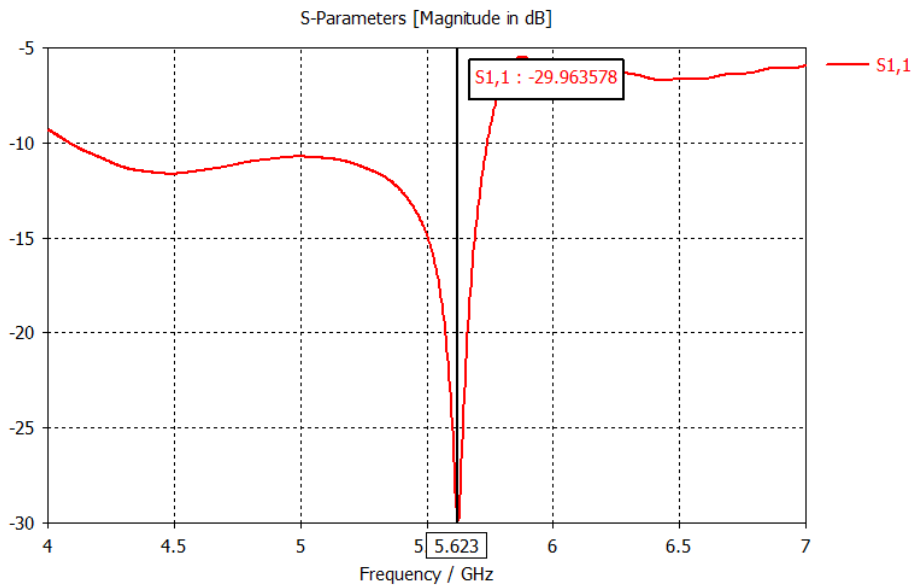


Şekil 6.44. Rastgele hücreler 'on', konfigürasyon-1'in yüzey akım dağılımı

Konfigürasyon-1 için elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.44'te verilmiştir, yüzey akım dağılımının maksimum değeri 45 A/m olarak görülmektedir. Diğer konfigürasyonlara göre, yüzey akım yoğunluğunun ciddi oranda azaldığı görülmüştür. Antenin çevresinde ise yüzey akım yoğunluğunun arttığı gözlenmiştir.

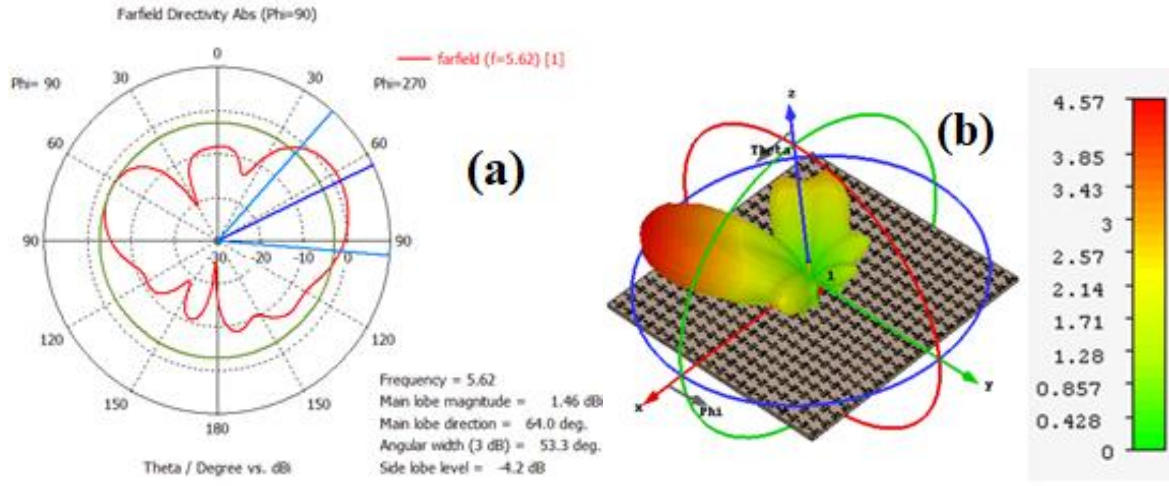


Şekil 6.45. Rastgele hücrelerin 'on' olduğu konfigürasyon-2



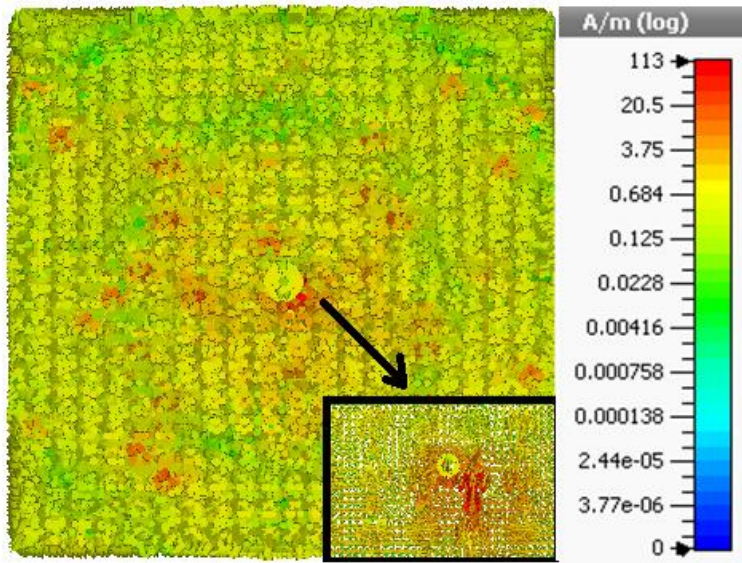
Şekil 6.46. Rastgele hücreler 'on', konfigürasyon-2'nin S11 grafiği

Rastgele hücrelerin 'on' yapılması ile elde edilen ve Şekil 6.45'de görünen konfigürasyon-2 için elde edilen S11 grafiği Şekil 6.46'da gösterilmiştir. S11'in minimum değeri 5,623 GHz'de yaklaşık olarak -29 dB'dir.



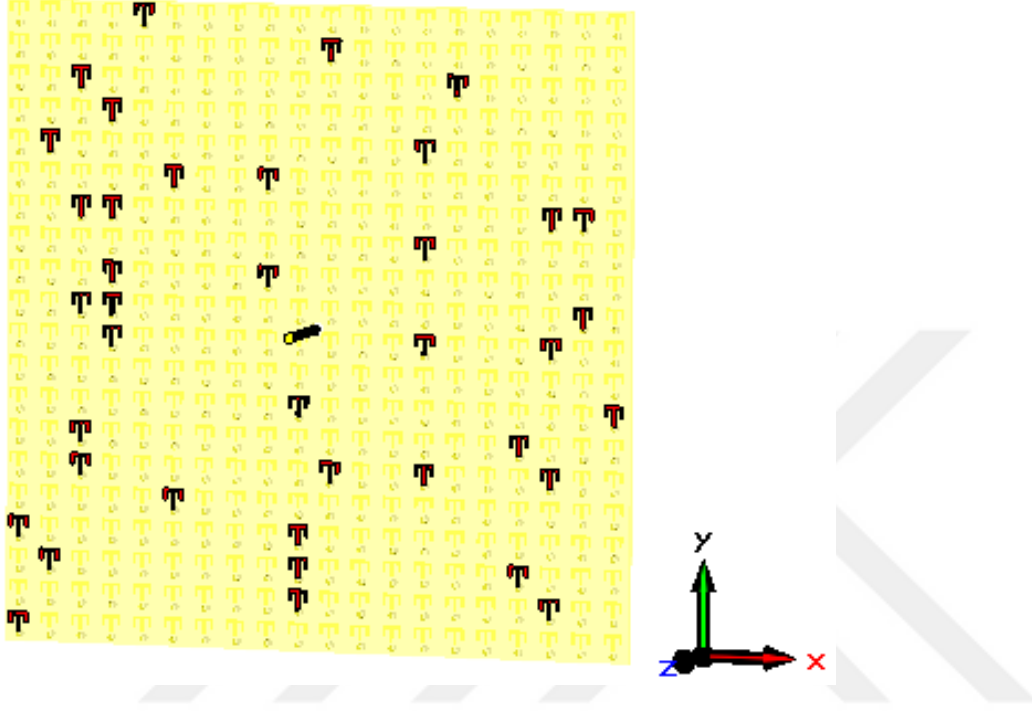
Şekil 6.47. Rastgele hücreler 'on', konfigürasyon-2'nin radyasyon paternleri (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Rastgele birim hücrelerin 'on' olduğu konfigürasyon-2'in hüzme genişliği Şekil 6.47 (a)'da görüldüğü gibi $53,3^\circ$ 'dir. Ana lob ışınma büyüklüğü ve yan lobların ışınma büyüklükleri sırası ile 1,46 dBi ve -4,2 dB olarak görülmektedir. Bu konfigürasyonun yönlülüğü ise Şekil 6.47 (b)'de görüldüğü gibi yaklaşık olarak 4,57 dBi'dir.

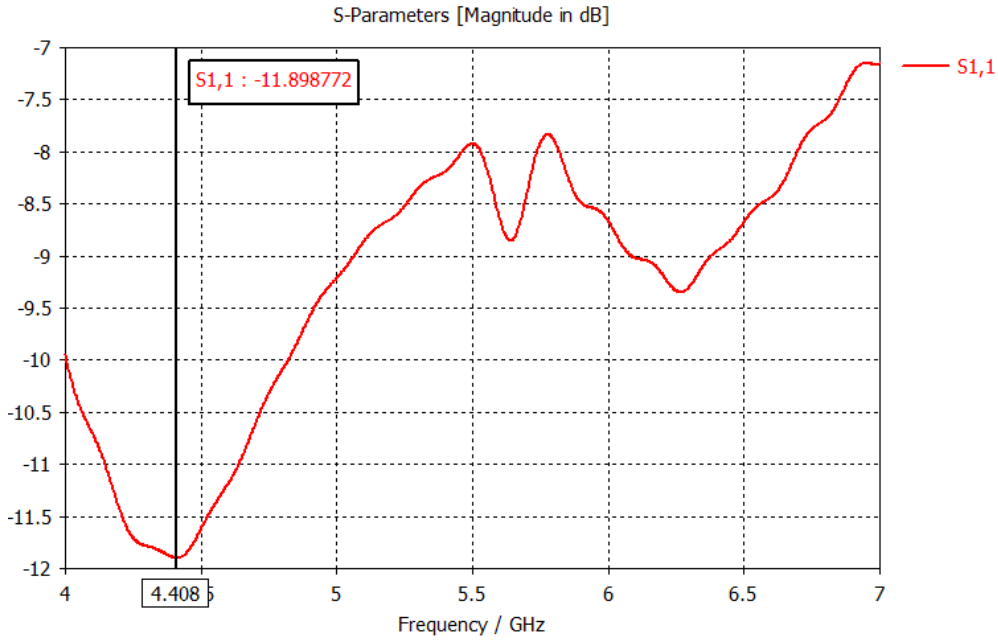


Şekil 6.48. Rastgele hücreler 'on', konfigürasyon-2'nin yüzey akım dağılımı

Konfigürasyon-2 için elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.48’de verilmiştir, yüzey akım dağılımının maksimum değeri 113 A/m olarak görülmektedir. Antenin çevresinde ve ‘on’ durumunda olan hücrelerde yüzey akım yoğunluğunun arttığı gözlenmiştir.

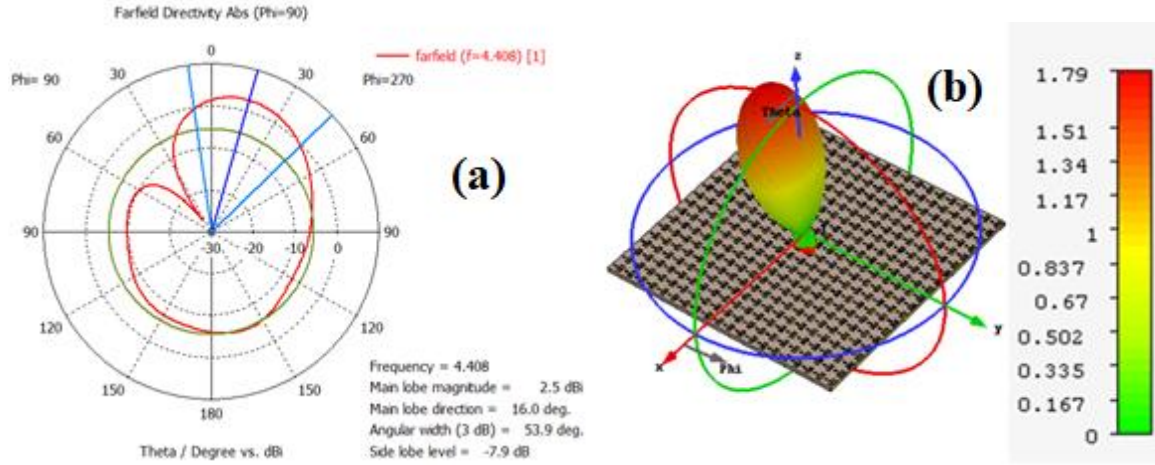


Şekil 6.49. Rastgele hücrelerin ‘on’ olduğu konfigürasyon-3



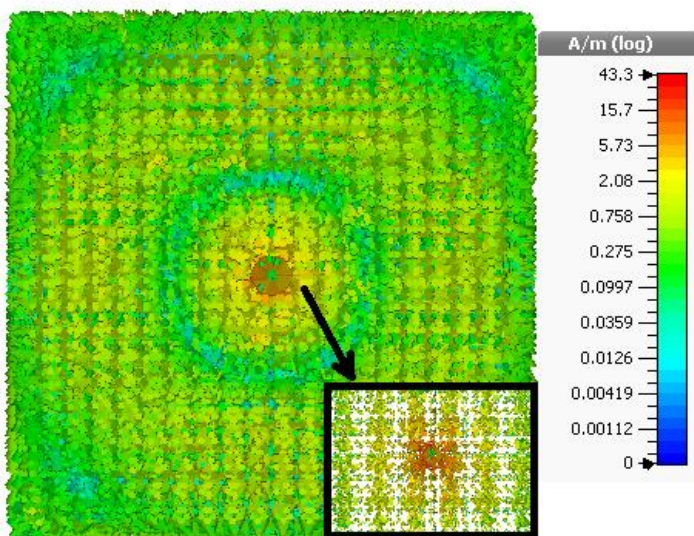
Şekil 6.50. Rastgele hücreler ‘on’, konfigürasyon-3’ün S11 grafiği

Rastgele hücrelerin 'on' yapılması ile elde edilen ve Şekil 6.49'da görünen konfigürasyon-3 için elde edilen S11 grafiği Şekil 6.50'de gösterilmiştir. S11'in minimum değeri 4,408 GHz'de yaklaşık olarak -11 dB'dir. Bant genişliğinin ise yaklaşık olarak 0,8 GHz olduğu görülmektedir.



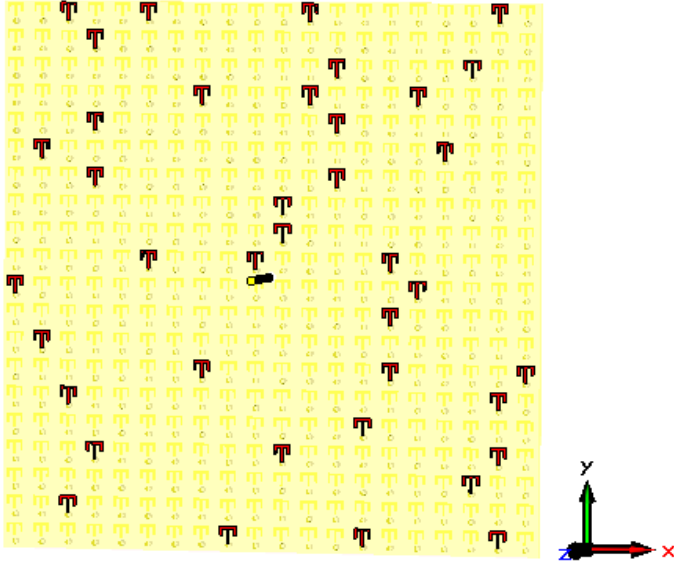
Şekil 6.51. Rastgele hücreler 'on', konfigürasyon-3'ün radyasyon paternleri (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Rastgele birim hücrelerin 'on' olduğu konfigürasyon-3'ün hüzme genişliği Şekil 6.51 (a)'da görüldüğü gibi $53,9^\circ$ 'dir. Ana lob ışınma büyüklüğü ve yan lobların ışınma büyüklükleri sırası ile 2,5 dBi ve -7,9 dB olarak görülmektedir. Bu konfigürasyonun yönlülüğü Şekil 6.51 (b)'de görüldüğü gibi yaklaşık olarak 1,79 dBi'dir.

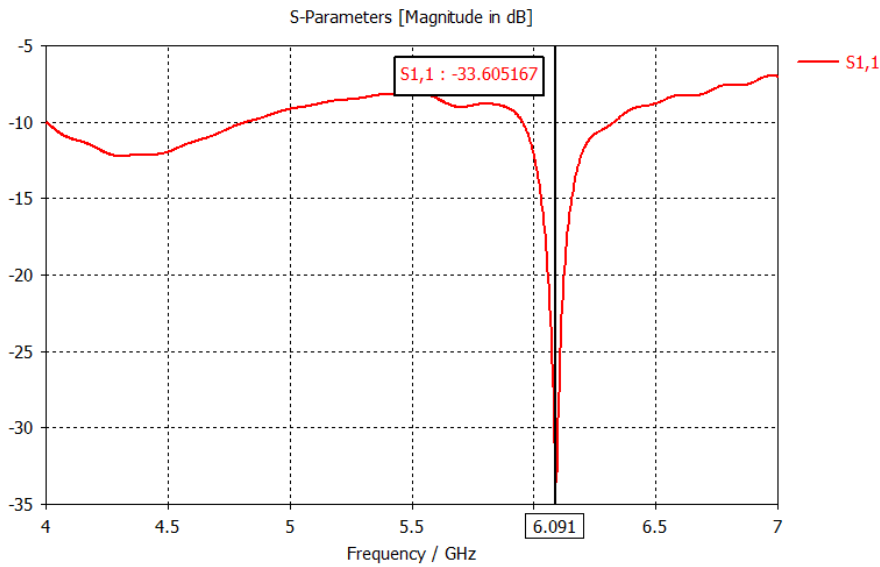


Şekil 6.52. Rastgele hücreler 'on', konfigürasyon-3'ün yüzey akım dağılımı

Konfigürasyon-3 için elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.52’de verilmiştir, yüzey akım dağılımının maksimum değeri 43,3 A/m olarak görülmektedir. Antenin çevresinde olan hücrelerde yüzey akım yoğunluğunun arttığı gözlenmiştir. Diğer konfigürasyonlara göre, yüzey akım yoğunluğunun ciddi oranda azaldığı görülmüştür.

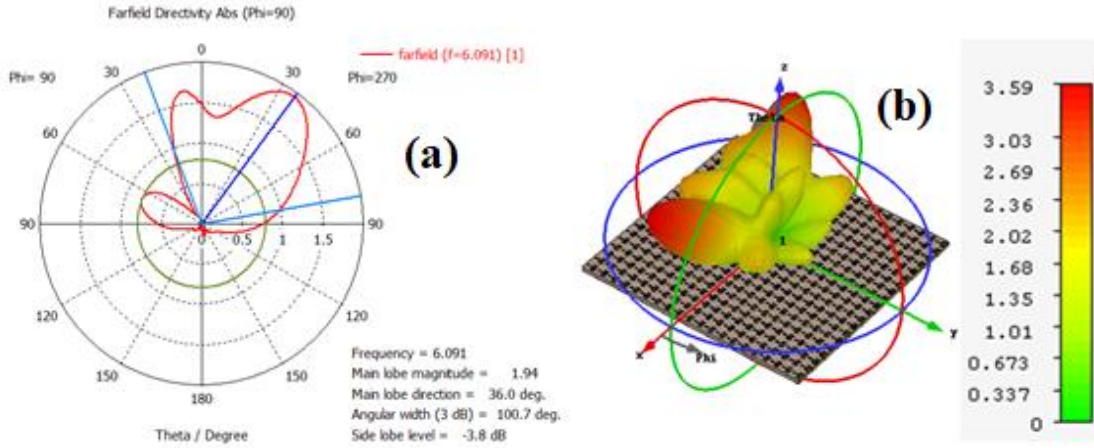


Şekil 6.53. Rastgele hücrelerin 'on' olduğu konfigürasyon-4



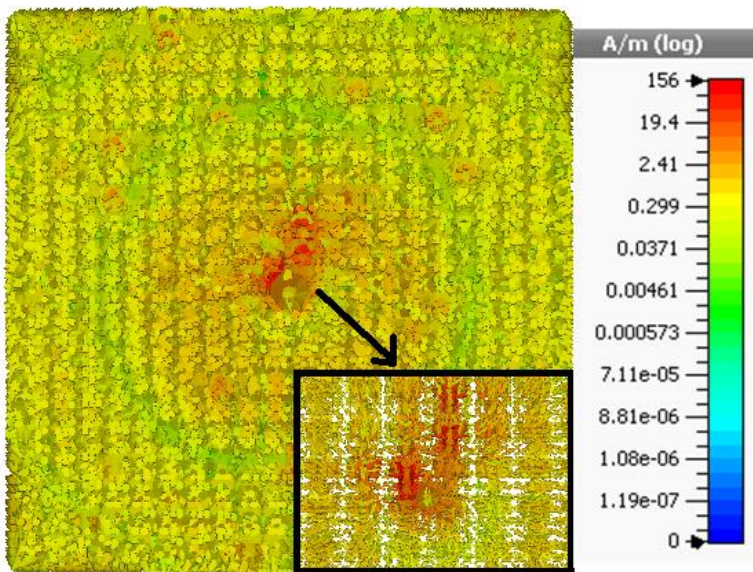
Şekil 6.54. Rastgele hücreler 'on', konfigürasyon-4'ün S11 grafiği

Rastgele hücrelerin 'on' yapılıması ile elde edilen ve Şekil 6.53'de görünen konfigürasyon-4 için elde edilen S11 grafiği Şekil 6.54'de gösterilmiştir. S11'in minimum değeri 6,091 GHz'de yaklaşık olarak -33 dB'dir.



Şekil 6.55. Rastgele hücreler 'on', konfigürasyon-4'ün radyasyon paternleri (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Rastgele birim hücrelerin 'on' olduğu konfigürasyon-4'ün hüzme genişliği Şekil 6.55 (a)'da görüldüğü gibi $100,7^\circ$ 'dir. Ana lob ışınma büyüklüğü ve yan lobların ışınma büyüklükleri sırası ile 1,94 dBi ve -3,8 dB olarak görülmektedir. Bu konfigürasyonun yönlülüğü Şekil 6.55 (b)'de görüldüğü gibi yaklaşık olarak 3,59 dBi'dir.



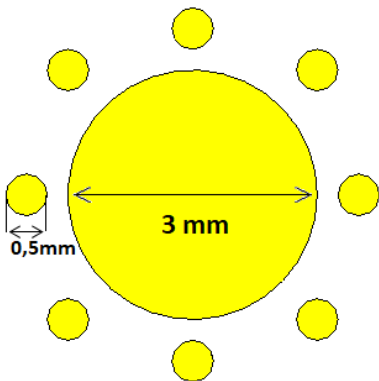
Şekil 6.56. Rastgele hücreler 'on', konfigürasyon-4'ün yüzey akım dağılımı

Konfigürasyon-3 için elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.56'da verilmiştir, yüzey akım dağılımının maksimum değeri 156 A/m olarak görülmektedir. Antenin çevresinde olan hücrelerde yüzey akım yoğunluğunun arttığı gözlenmiştir. Diğer konfigürasyonlara göre, yüzey akım yoğunluğunun ciddi oranda arttığı görülmüştür.

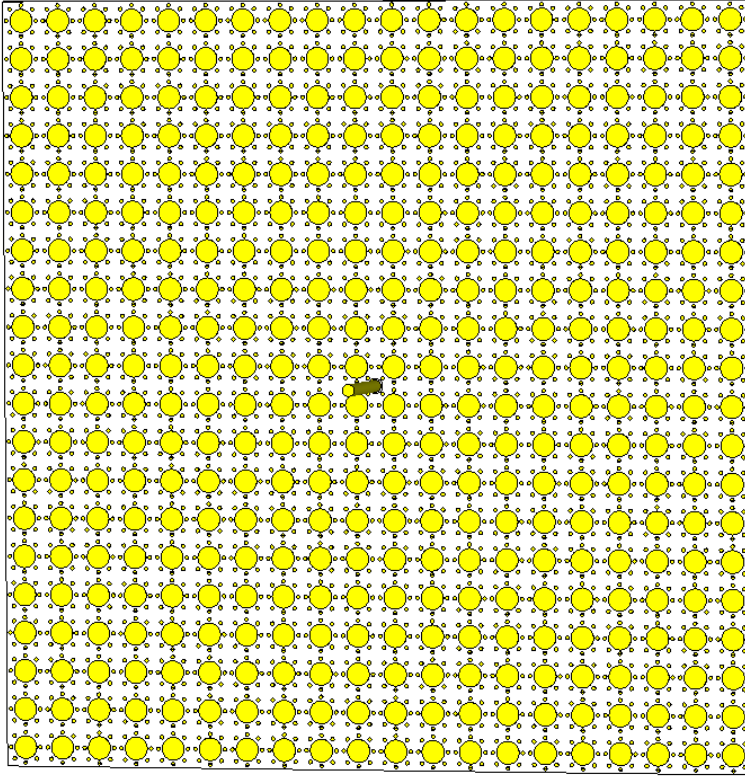
T model metayüzey yapılarının tümü ele alındığı zaman 'on' durumunda olan birim hücrelerin konumlarının yapıların neresinde olduğu önem teşkil etmektedir. Temas eden birim hücrelerin farklılığı yapılan simülasyonlarda, ölçümlerde de görüldüğü üzere radyasyon paternlerinde değişikliğe ve yönlendirmeye, kazancı ve yönlülüğü artırmaya veya azaltmaya sebep olduğu açıkça görülmektedir.

6.2. Dairesel Model Metayüzeyin Tasarımı ve Sonuçları

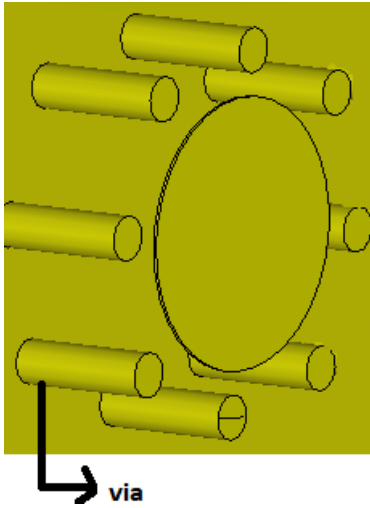
Bu modelde birim hücre, daire şeklinde metalik bir rezonatörden oluşmaktadır. Metayüzey, 10x10 cm ölçülerinde 20x20 400 birim hücreden oluşan bir yapıdır. Metayüzeyin altında 1,6 mm kalınlığında FR4 malzeme, en alt katman ise tamamen bakır plakadan oluşmaktadır. Birim hücrelerin her biri Şekil 6.57'de görüldüğü gibi 1,5 mm yarıçaplı metalik bir daire ve bu dairenin etrafında eşit uzaklıkta konumlandırılmış 8 adet, yarıçapı 0,25mm olan küçük metal dairelerden oluşmaktadır. Şekilde görülen her küçük metalik daire, Şekil 6.59'da ayrıntılı olarak görüldüğü gibi, FR4 malzemesi delinip içi bakırla doldurularak (via) alt katmanda bulunan bakır plaka ile temas ettirilmiştir. Metayüzey yapısının tam ortası delinerek, Şekil 6.58'de görüldüğü gibi çalışma frekansı 5 GHz olan monopoll bir anten eklenmiştir.



Şekil 6.57. Dairesel model birim hücre ölçüleri



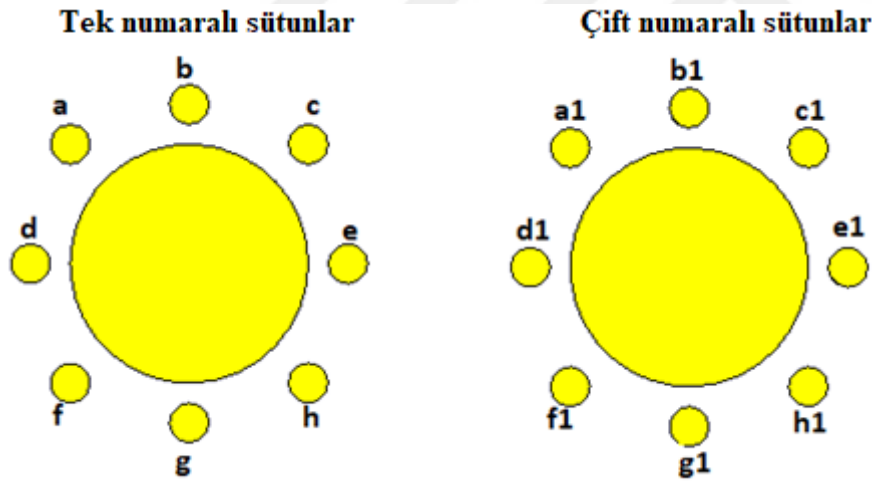
Şekil 6.58. Dairesel model metayüzey yapısı



Şekil 6.59. Dairesel model birim hücre via bağlantısı

Bu çalışmada birim hücrelerdeki Dairesel model ile etrafındaki 8 farklı via bağlantıları arasında farklı noktalarda temas sağlanarak, metayüzey üzerinde oluşan yüzey akımlarının yönünü ve böylece antenin radyasyon paternini, kazancını ve yönlülüğünü kontrol edebilmek hedeflenmiştir. Her birim hücrede 8 via bağlantısı vardır. 400 birim hücrede ise

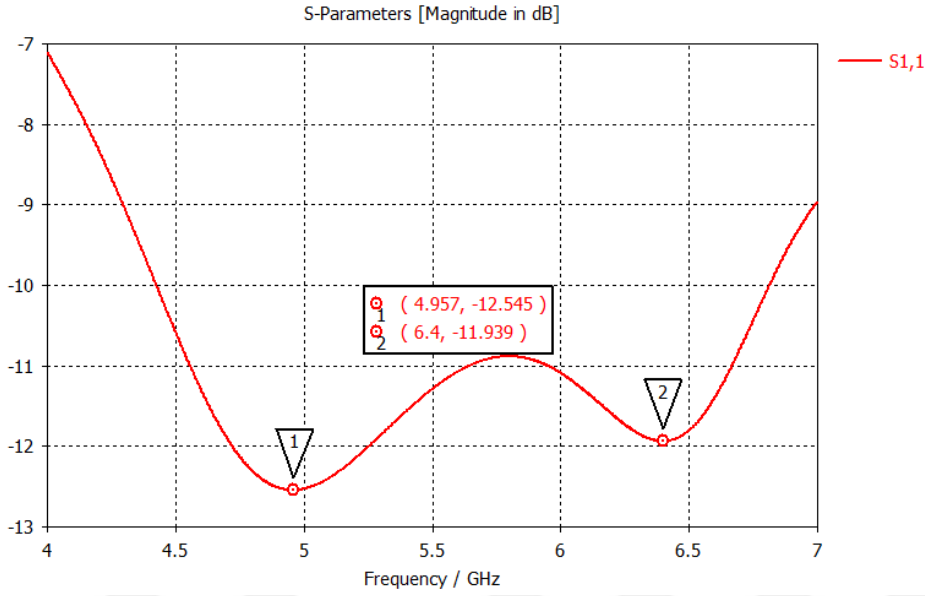
toplamda 3200 tane via bağlantısı bulunmaktadır. T modelde olduğu gibi her via bağlantısını ayrı ayrı 3200 tane parametre ile kontrol etmek zor olacağından dolayı bu modelde farklı bir yol izlenmiştir. Tek numaralı sütunlardaki birim hücrelerdeki via bağlantıları birlikte ve çift numaralı sütunlardaki birim hücrelerin via bağlantıları birlikte 'on' yapılarak kontrol hedeflenmiştir. Herhangi bir tek numaralı sütundaki bir temas noktası 'on' yapıldığında tüm tek numaralı sütunlarda aynı noktalar aynı anda 'on' olacaktır; yani, Şekil 6.60'da görülen ve a,b,c,d,e,f,g,h olarak adlandırılan noktalardan bir tanesi ortadaki büyük daire ile temas ettirilecektir. Aynı durum çift numaralı sütunlarda da geçerlidir. Böylece, 3200 tane noktayı ayrı ayrı kontrol etmek yerine tek numaralı sütunlar için 8, çift numaralı sütunlar için de 8 tane olmak üzere, toplamda 16 tane parametreyi kolayca kontrol etme imkanı elde edilmiştir. Tek ve çift numaralı sütunlardaki via bağlantılarını temsil eden noktaların her birine Şekil 6.60'da görüldüğü gibi farklı isimler konulmuştur ve bu noktaların ortadaki büyük daire ile temas ettiği durum 'on' veya '1', etmediği durum ise 'off' ve '0' ile ifade edilmiştir.



Şekil 6.60. Dairesel model via bağlantılarının adlandırılması

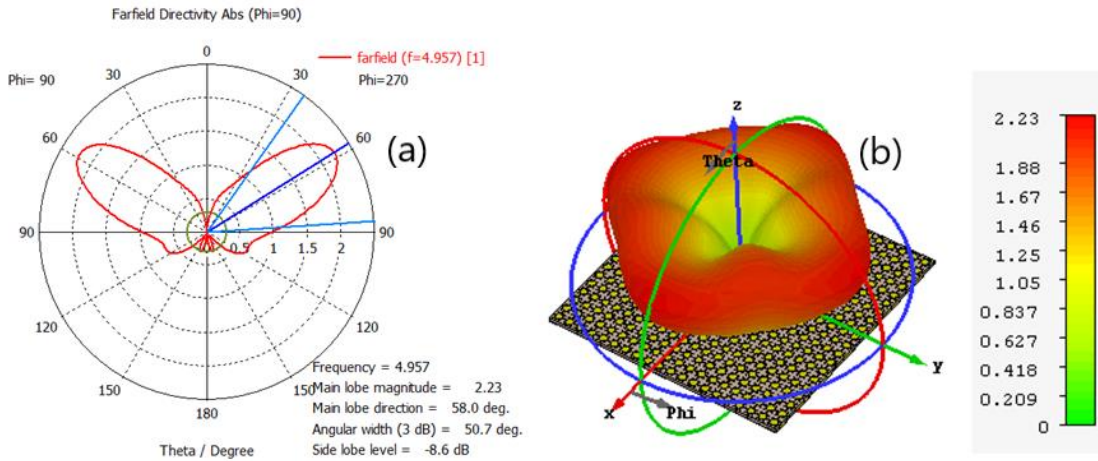
Dairesel model metayüzey yapısının ve rezonatör üzerinde, farklı temas noktalarının 'on' yapılması ile kontrol edilen yüzey akım yönlerinin antenin radyasyon paternine, kazancına, ve yönlülüğüne olan etkilerinin araştırılabilmesi amacıyla farklı birim hücrelerin temas ettirildiği 128 farklı konfigürasyon kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla, farklı konfigürasyonlar kullanılarak gerçekleştirilen analizler ve elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır.



Şekil 6.61. Dairesel model, tüm birim hücreler 'off', S11 grafiği

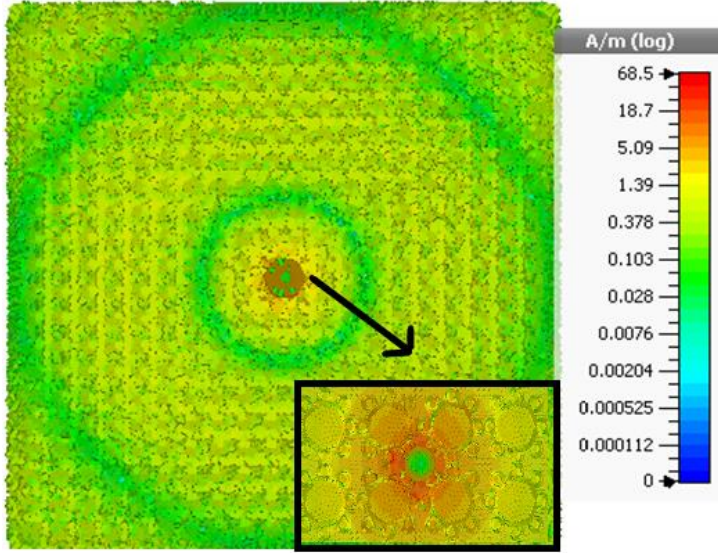
Dairesel model metayüzey yapısının tüm birim hücrelerdeki via bağlantılarının temas etmediği, yani 'off' olduğu konfigürasyon için S11 parametre grafiği Şekil 6.61'de verilmiştir. Rezonans frekansı 4,957 GHz olarak görülmektedir. Rezonans frekansındaki S11 değeri yaklaşık olarak -12 dB'dir.



Şekil 6.62. Dairesel model, tüm birim hücreler 'off', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

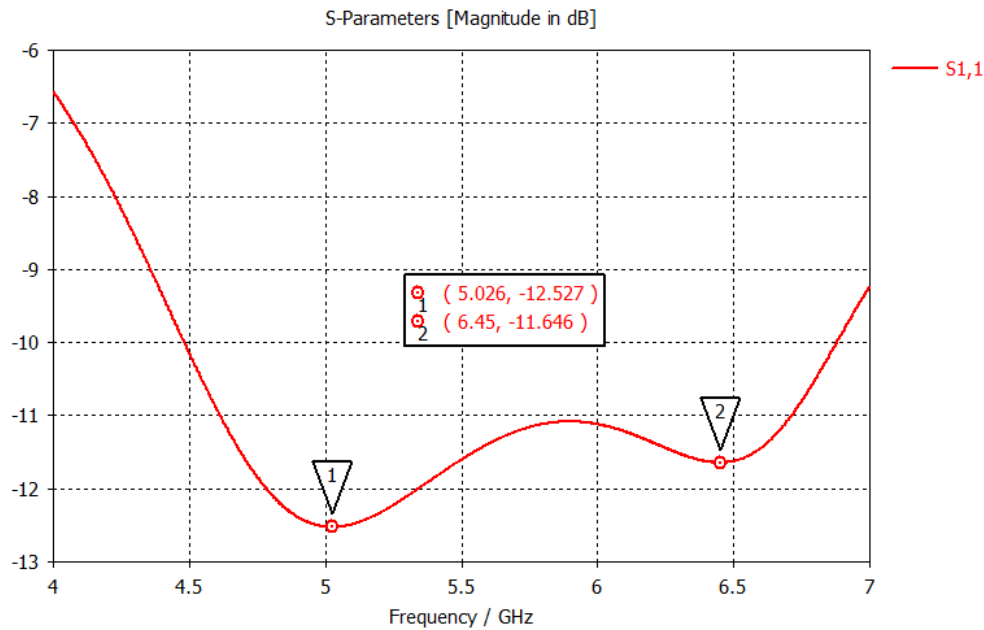
Daire modelin tüm birim hücrelerinin 'off' olduğu konfigürasyon için elde edilen hüzmeye genişliği Şekil 6.62 (a)'da görüldüğü gibi $50,7^\circ$ 'dir. Ana lob ışın büyüklüğü 2,23 dBi ve

yan lob ışıma büyüklüğü -8,6 dB olarak görülmektedir. Yapının yönlülüğü ise Şekil 6.62 (b)'de görüldüğü gibi 2,23 dBi'dir.



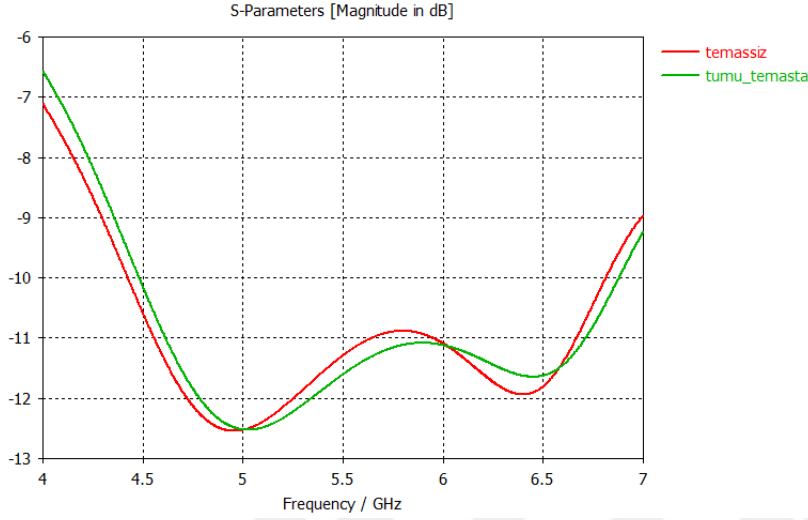
Şekil 6.63. Dairesel model, tüm birim hücreler 'off', yüzey akım dağılımı

Tüm birim hücrelerin 'off' durumunda olduğu konfigürasyon için yüzey akım dağılımı Şekil 6.63'de gösterilmiştir. Metayüzey yapısının yüzey akım dağılımının maksimum değeri 68,5 A/m olarak elde edilmiştir.



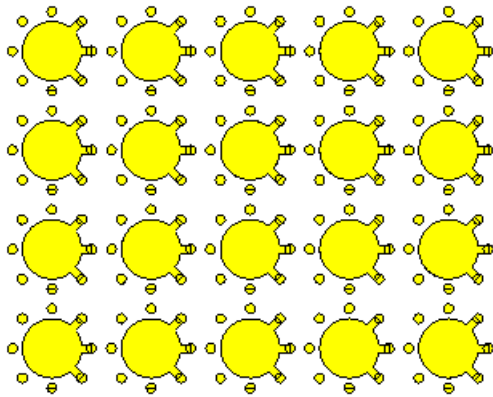
Şekil 6.64. Dairesel model, tüm birim hücreler 'on', S11 grafiği

Tüm birim hücrelerin ‘off’ durumunda olduğu konfigürasyon için yüzey akım dağılımı Şekil 6.66’de gösterilmiştir. Metayüzey yapısının yüzey akım dağılımının maksimum değeri 69,1 A/m’dir.



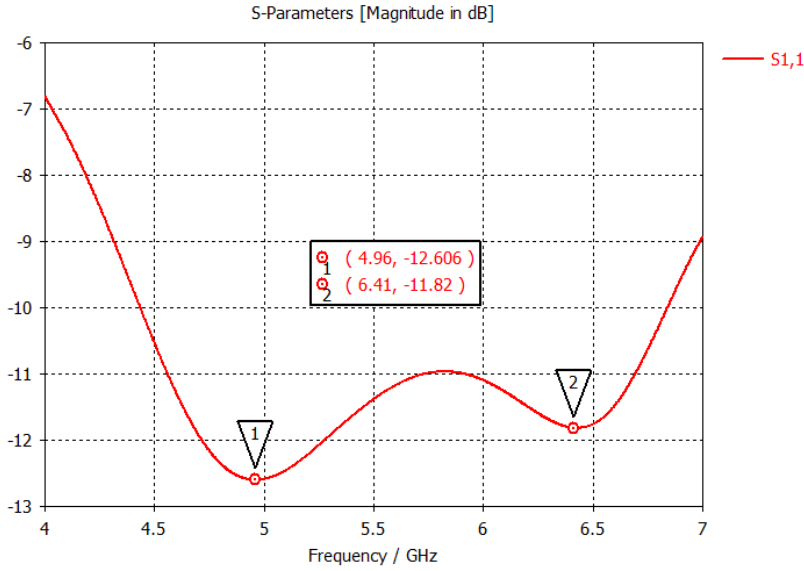
Şekil 6.67. Dairesel model ‘on’ ve ‘off’ durumları için S11 parametrelerinin karşılaştırması

Dairesel modelde, tüm birim hücrelerdeki bağlantıların ‘on’ ve ‘off’ olduğu konfigürasyonlar için elde edilen S11 sonuçlarının karşılaştırma grafiği Şekil 6.67’de gösterilmiştir. Şekil 6.67’den de anlaşılacağı gibi sonuçlar birbirini ile örtüşmektedir; yani birim hücrelerin temas durumunun S11 parametresine etkisi fazla olmamıştır.



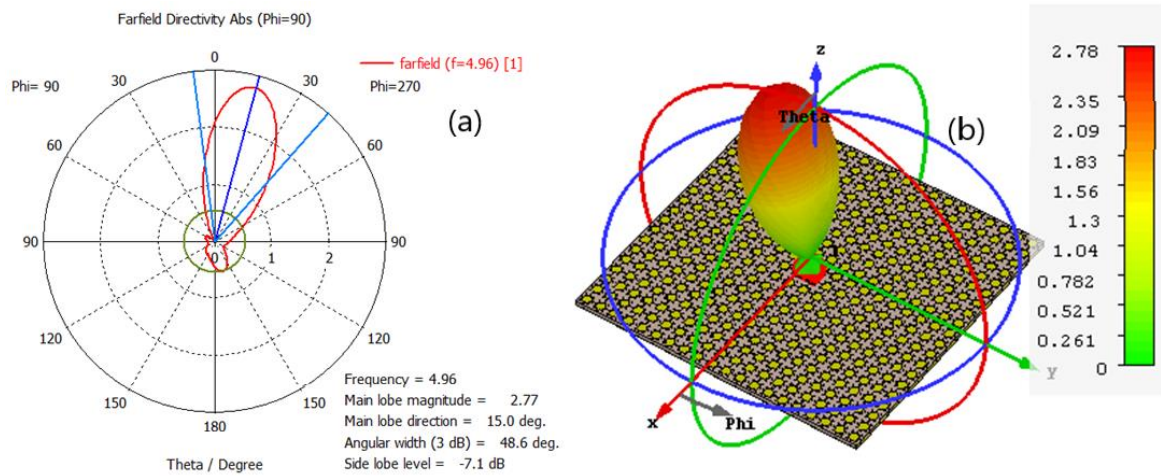
Şekil 6.68. Dairesel model c, e, h, c1, e1, h1 noktaları ‘on’

Şekil 6.68’da daire modelin c , e , h , c_1 , e_1 , h_1 noktalarının ‘on’ durumunda olduğu konfigürasyon görüntüsü verilmiştir. Bu durum, 400 birim hücreden oluşan metayüzey yapısının tüm birim hücrelerindeki c , e , h , c_1 , e_1 , h_1 noktalarının temasını göstermektedir.



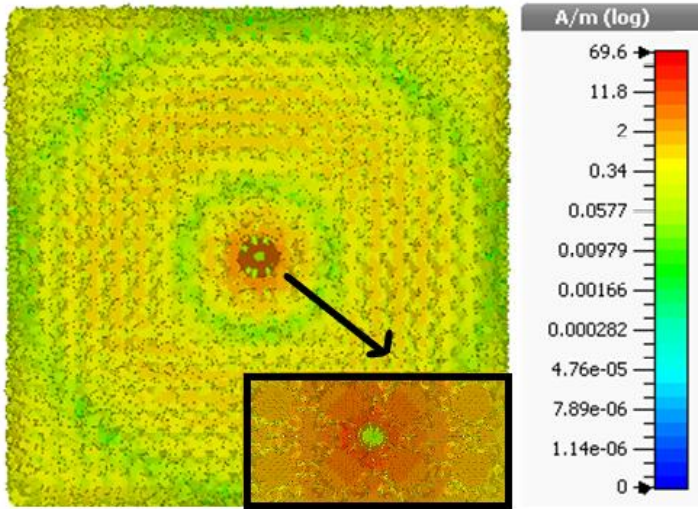
Şekil 6.69. Dairesel model c , e , h , c_1 , e_1 , h_1 noktaları ‘on’, S_{11} grafiği

Dairesel model c , e , h , c_1 , e_1 , h_1 noktaları ‘on’ konfigürasyonu için S_{11} grafiği Şekil 6.69’da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere rezonans frekansı 4,96 GHz’dir. Rezonans frekansındaki S_{11} parametresinin en küçük değeri yaklaşık olarak -12,606 dB olarak görülmektedir.



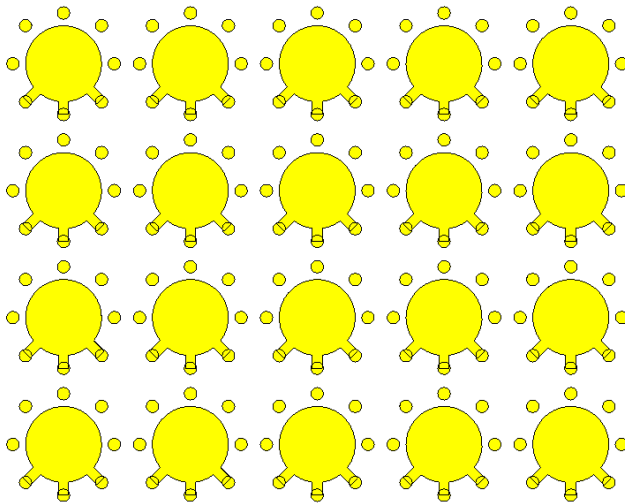
Şekil 6.70. Dairesel model c , e , h , c_1 , e_1 , h_1 noktaları ‘on’, radyasyon pateni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Dairesel model c, e, h, c1, e1, h1 noktalarının 'on' olduğu konfigürasyon için elde edilen iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.70'te verilmiştir. Şekil 6.70 (a)'da görüldüğü gibi ana lob ışınma büyüklüğü 2,77 dBi ve yan lob ışınma büyüklüğü -7,1 dB'dir. Hüzme genişliği 48,6° olan bu konfigürasyon için yönlülük 2,78 dBi olarak görülmektedir.



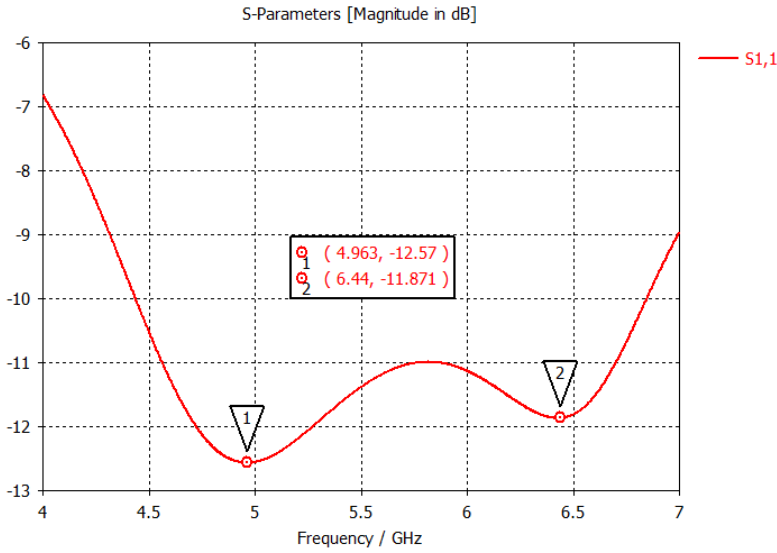
Şekil 6.71. Dairesel model c, e, h, c1, e1, h1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımları

Dairesel model metayüzey yapısının c, e, h, c1, e1, h1 bağlantı noktalarının 'on' olduğu konfigürasyon için elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.71'de gösterilmiştir. Bu konfigürasyon için yüzey akım dağılımının maksimum değeri 69,6 A/m olarak görülmektedir.



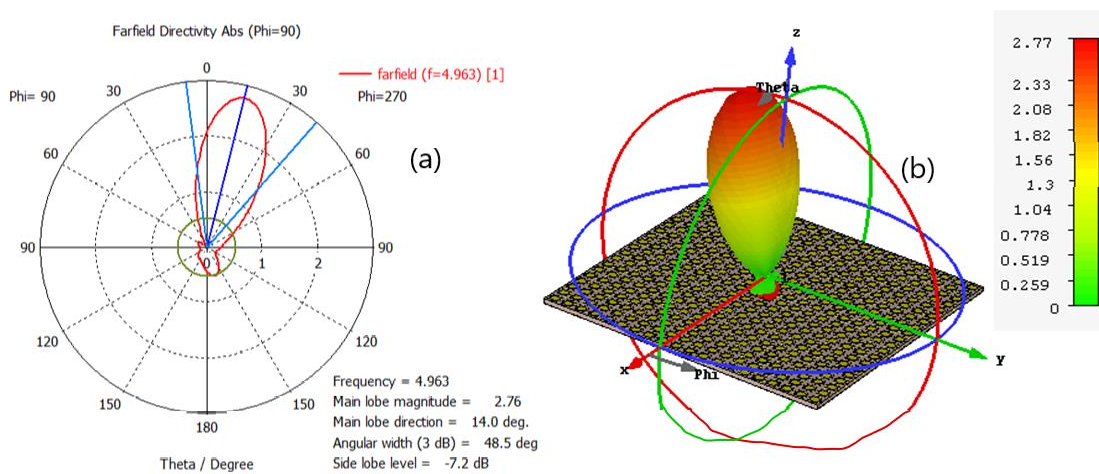
Şekil 6.72. Dairesel model f, g, h, f1, g1, h1 noktaları 'on'

Şekil 6.72’de daire modelin f, g, h, f1, g1, h1 noktalarının ‘on’ durumunda olduğu konfigürasyon görüntüsü verilmiştir. Bu durum 400 birim hücreden oluşan metayüzey yapısının tüm birim hücrelerindeki f, g, h, f1, g1, h1 noktalarının temasını göstermektedir.



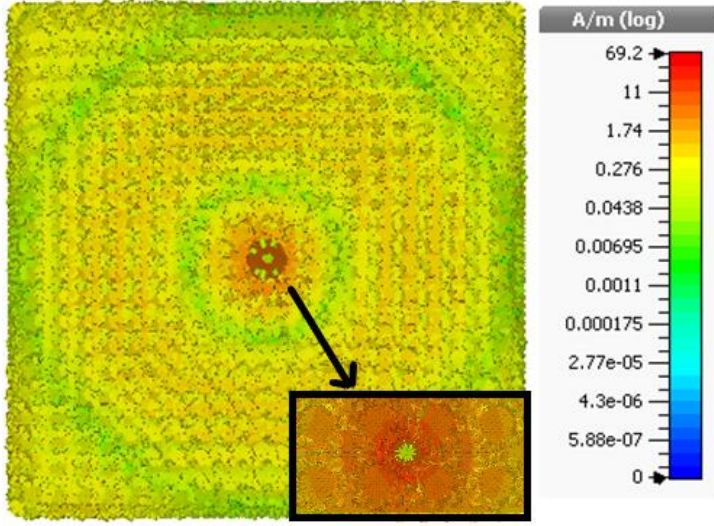
Şekil 6.73. Dairesel model f, g, h, f1, g1, h1 noktaları ‘on’, S11 grafiği

Dairesel model f, g, h, f1, g1, h1 noktaları ‘on’ konfigürasyonu için S11 grafiği Şekil 6.73’te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi rezonans frekansı 4,963 GHz’dir. Rezonans frekansındaki S11 parametresinin en küçük değeri yaklaşık olarak -12,57 dB olarak görülmektedir.



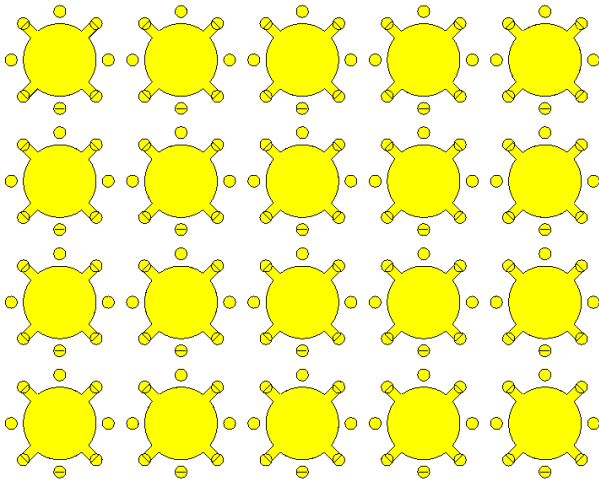
Şekil 6.74. Dairesel model f, g, h, f1, g1, h1 noktaları ‘on’, radyasyon pateni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Dairesel model f, g, h, f1, g1, h1 noktalarının ‘on’ olduğu konfigürasyon için elde edilen iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.74’te verilmiştir. Şekil 6.74 (a)’da görüldüğü gibi ana lob ve yan lobun ışıma büyüklükleri sırasıyla 2,76 dBi ve -7,2 dB’dir. Hüzme genişliği 48,5°, yönlülük ise 2,77 dBi olarak görülmektedir.



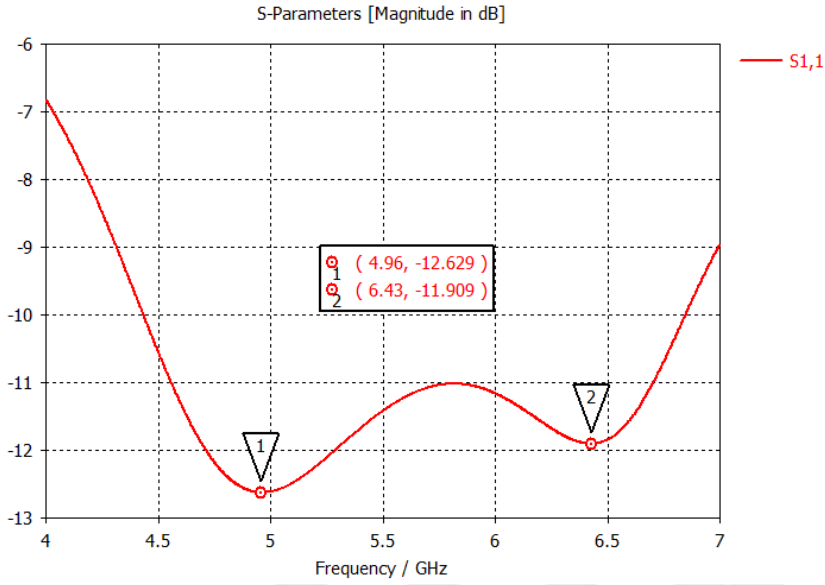
Şekil 6.75. Dairesel model f, g, h, f1, g1, h1 noktaları ‘on’, yüzey akım dağılımları

Dairesel model metayüzey yapısının f, g, h, f1, g1, h1 bağlantı noktalarının ‘on’ olduğu konfigürasyon için elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.75’te gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi yüzey akım dağılımının maksimum değeri 69,2 A/m olarak elde edilmiştir.



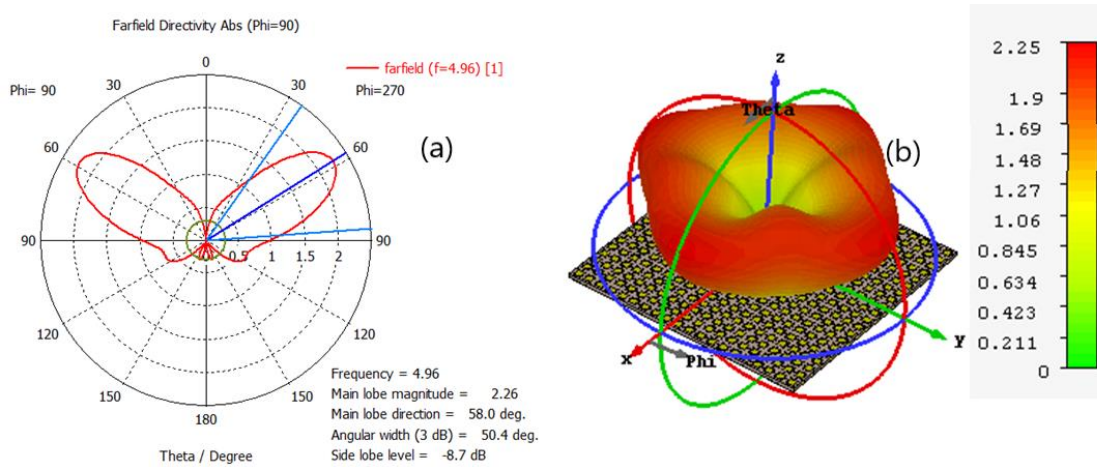
Şekil 6.76. Dairesel model a, c, f, h, a1, c1, f1, h1 noktaları ‘on’

Şekil 6.76’da daire modelin a, c, f, h, a1, c1, f1, h1 noktalarının ‘on’ durumunda olduğu konfigürasyon görüntüsü verilmiştir. Bu durum tüm birim hücrelerde a, c, f, h, a1, c1, f1, h1 noktalarının metal plaka ile temasta olduğunun göstergesidir.



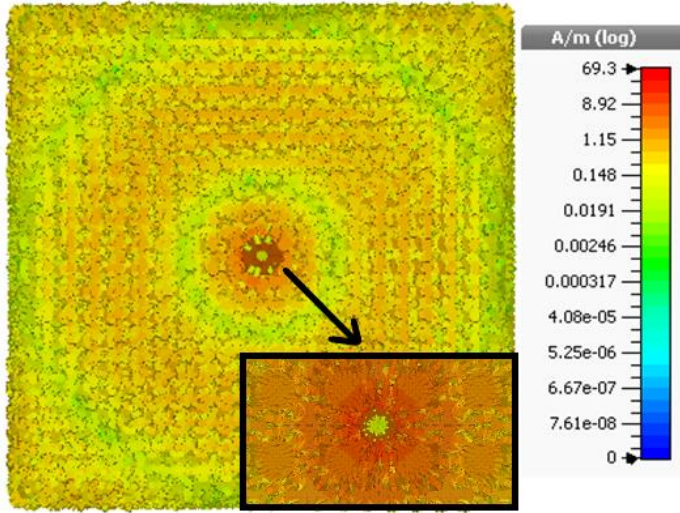
Şekil 6.77. Dairesel model a, c, f, h, a1, c1, f1, h1 noktaları ‘on’, S11 grafiği

Dairesel model a, c, f, h, a1, c1, f1, h1 noktaları ‘on’ konfigürasyonu için S11 grafiği Şekil 6.77’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi rezonans frekansı 4,96 GHz’dir. Bu konfigürasyonun rezonans anındaki S11 parametresinin en küçük değeri yaklaşık olarak -12,629 dB olarak görülmektedir.



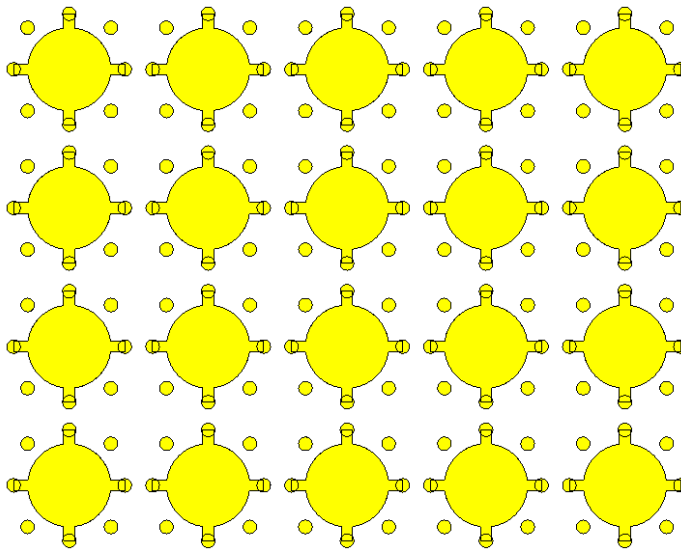
Şekil 6.78. Dairesel model a, c, f, h, a1, c1, f1, h1 noktaları ‘on’, radyasyon pateni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Dairesel model a, c, f, h, a1, c1, f1, h1 noktalarının 'on' olduğu konfigürasyon için elde edilen iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.78'de verilmiştir. Şekil 6.78 (a)'da görüldüğü gibi ana lob ışınma büyüklüğü 2,26 dBi, yan lob ışınma büyüklüğü -8,7 dB olarak elde edilmiştir. Hüzme genişliği $50,4^\circ$, yönlülük ise 2,25 dBi olarak görülmektedir.



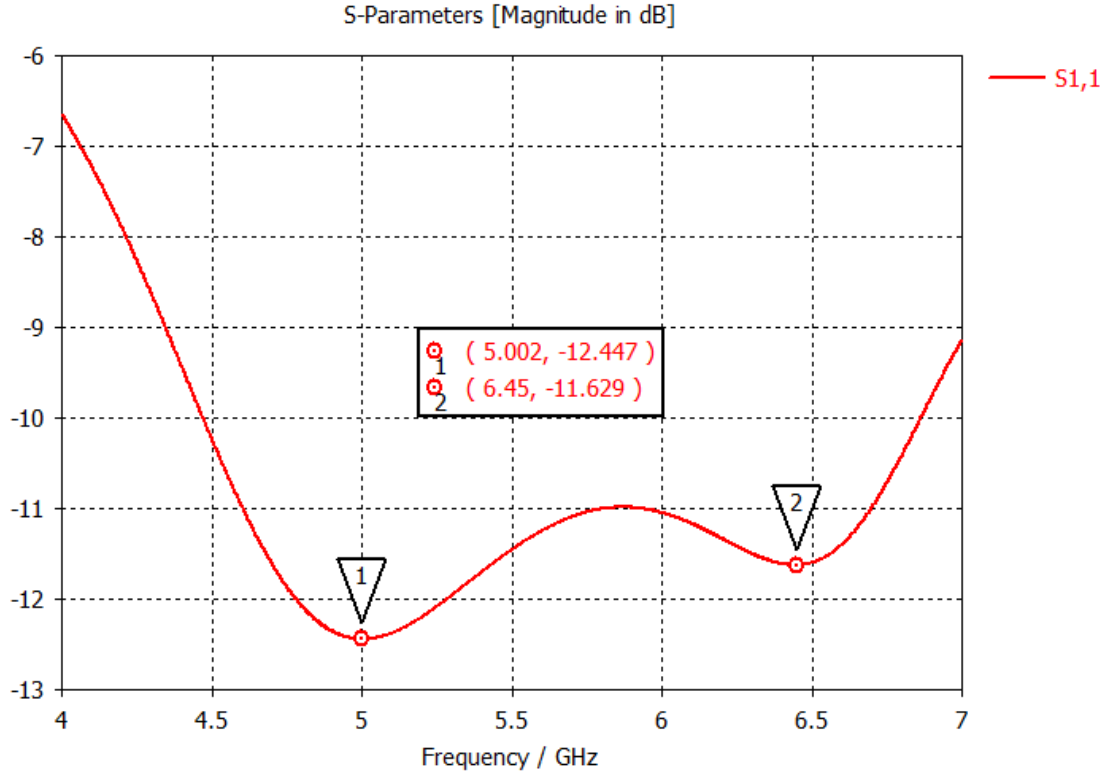
Şekil 6.79. Dairesel model a, c, f, h, a1, c1, f1, h1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımları

Dairesel model metayüzey yapısının a, c, f, h, a1, c1, f1, h1 bağlantı noktalarının 'on' olduğu konfigürasyon için elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.79'da gösterilmiştir. Yüzey akım dağılımının maksimum değerinin 69,3 A/m olduğu şekilden anlaşılmaktadır.



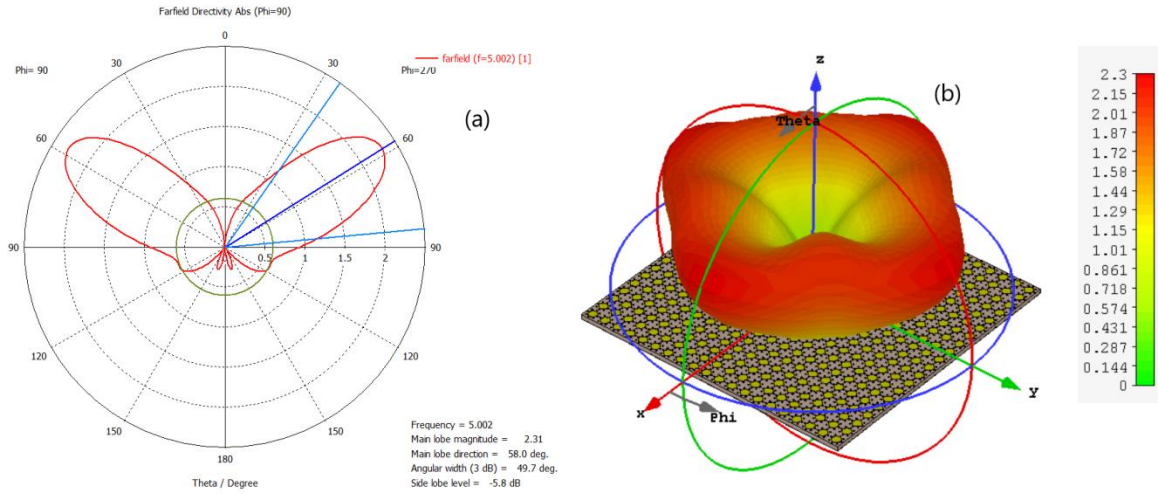
Şekil 6.80. Dairesel model b, d, e, g, b1, d1, e1, g1 noktaları 'on'

Şekil 6.80’de daire modelin b, d, e, g, b1, d1, e1, g1 noktalarının ‘on’ durumunda olduğu konfigürasyon görüntüsü verilmiştir. Yani, metayüzey yapısının tüm birim hücrelerinde b, d, e, g, b1, d1, e1, g1 noktaları metal plaka ile temastadır.



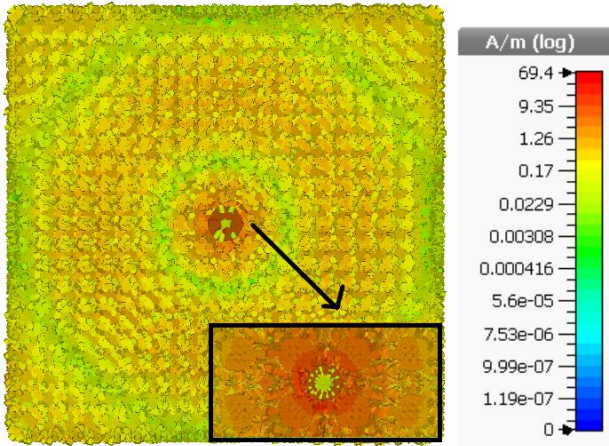
Şekil 6.81. Dairesel model b, d, e, g, b1, d1, e1, g1 noktaları ‘on’, S11 grafiği

Dairesel model b, d, e, g, b1, d1, e1, g1 noktaları ‘on’ konfigürasyonu için S11 grafiği 6.81’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi rezonans frekansı 5,002 GHz’dir. Bu konfigürasyonun rezonans frekansının monopul antenin rezonans frekansı ile aynı olduğu gözlenmiştir. 5,002 GHz’de S11 parametresinin minimum değeri 12,447 dB olarak görünmektedir. Bant genişliği ise yaklaşık olarak 2,4 GHz’dir.



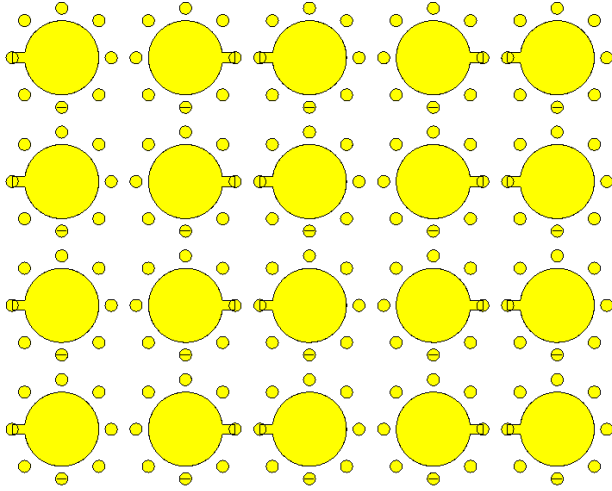
Şekil 6.82. Dairesel model b, d, e, g, b1, d1, e1, g1 noktaları 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Dairesel model b, d, e, g, b1, d1, e1, g1 noktalarının 'on' olduğu konfigürasyon için elde edilen iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.82'de görülmektedir. Şekil 6.82 (a)'da görüldüğü gibi ana lob ve yan lobun ışıma büyüklüğü sırasıyla 2,31 dBi ve -5,8 dB olarak bulunmuştur. Hüzme genişliği 49,7°'dir. Konfigürasyon için elde edilen yönlülük ise 2,3 dBi olarak görülmektedir.



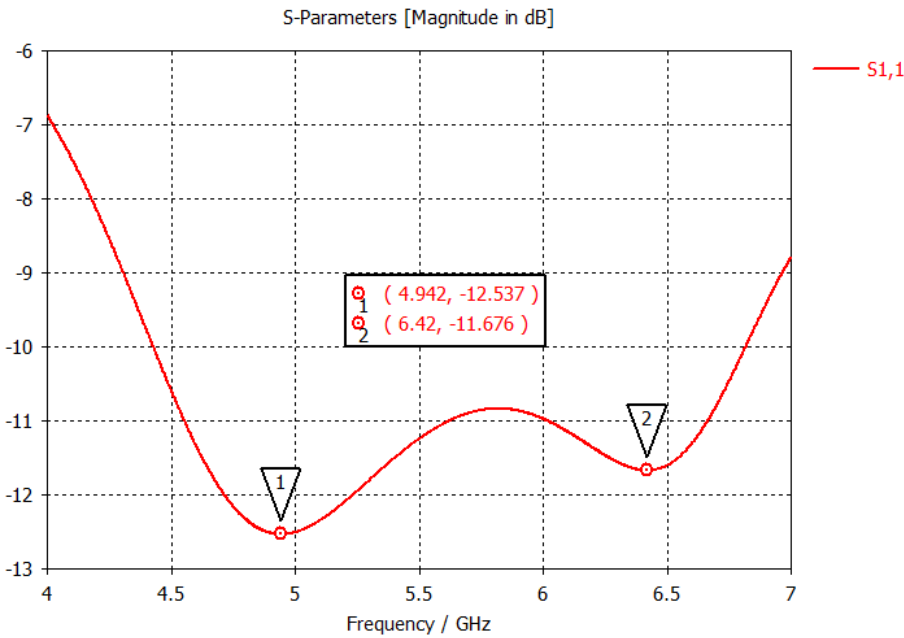
Şekil 6.83. Dairesel model b, d, e, g, b1, d1, e1, g1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımları

Dairesel model metayüzey yapısının b, d, e, g, b1, d1, e1, g1 bağlantı noktalarının 'on' olduğu konfigürasyon için elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.83'te gösterilmiştir. Bu konfigürasyon için elde edilen maksimum yüzey akım değeri 69,4 A/m'dir.



Şekil 6.84. Dairesel model d, e1 noktaları 'on'

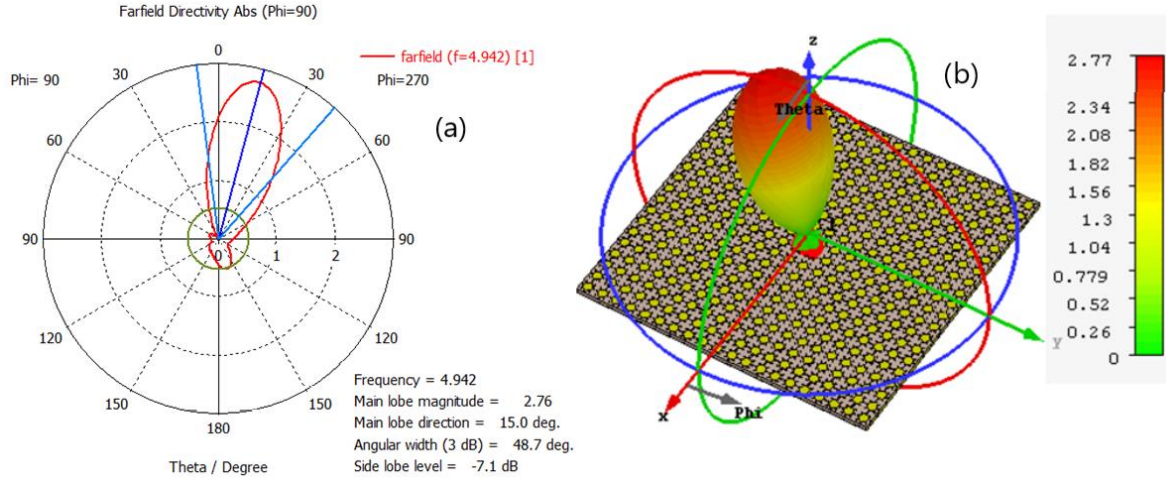
Şekil 6.84'de daire modelin d, e1 noktalarının 'on' durumunda olduğu konfigürasyon görüntüsü verilmiştir. Bu durum metayüzey yapısının tüm tek numaralı satırlarının d ile adlandırılmış bağlantı noktalarının ve tüm çift numaralı satırlarının e1 ile adlandırılmış bağlantı noktalarının 'on' durumunda olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.85. Dairesel model d, e1 noktaları 'on', S11 grafiği

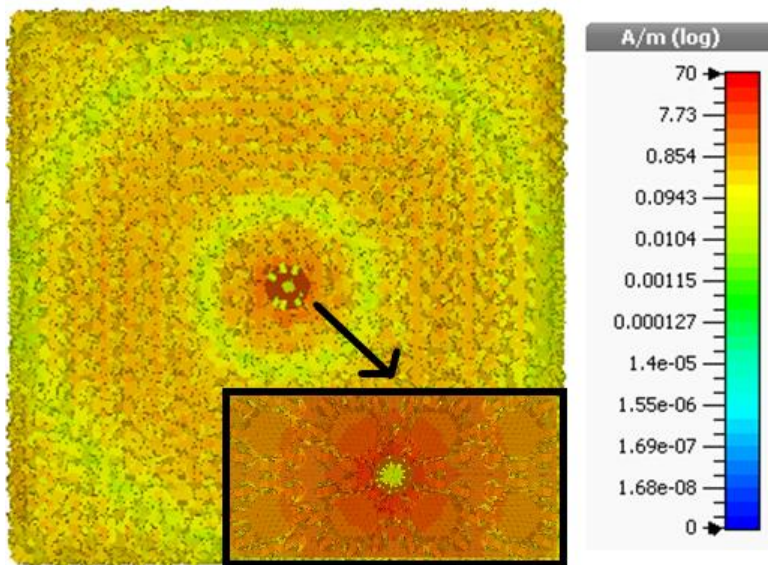
Dairesel model d, e1 noktaları 'on' konfigürasyonu için S11 grafiği Şekil 6.85'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi rezonans frekansı 4,942 GHz'dir. Bu yapı için

rezonans anındaki S11 parametresinin minimum değeri yaklaşık olarak -12,537 dB olarak görülmektedir.



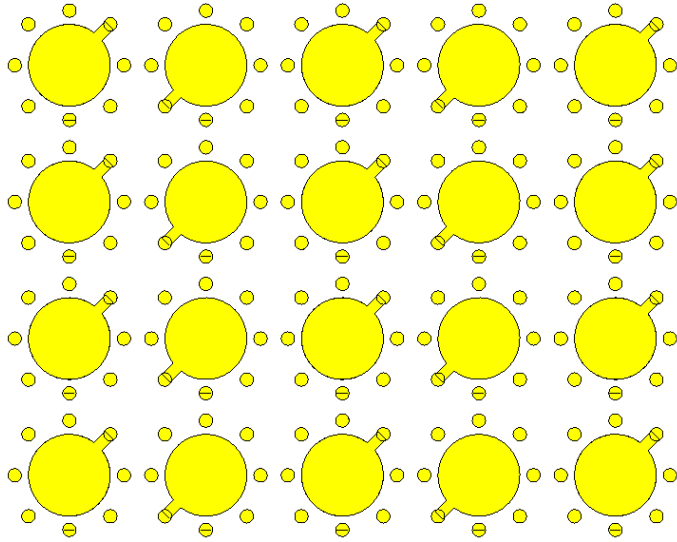
Şekil 6.86. Dairesel model d, e1 noktaları 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Dairesel model d, e1 noktalarının 'on' olduğu konfigürasyon için elde edilen iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.86'da verilmiştir. Şekil 6.86 (a)'da görüldüğü gibi ana lob ışınma büyüklüğü 2,76 dBi ve yan lob ışınma büyüklüğü -7,1 dB olarak elde edilmiştir. Hüzme genişliği ve yönlülük ise sırasıyla 48,7° ve 2,77 dBi olarak görülmektedir.



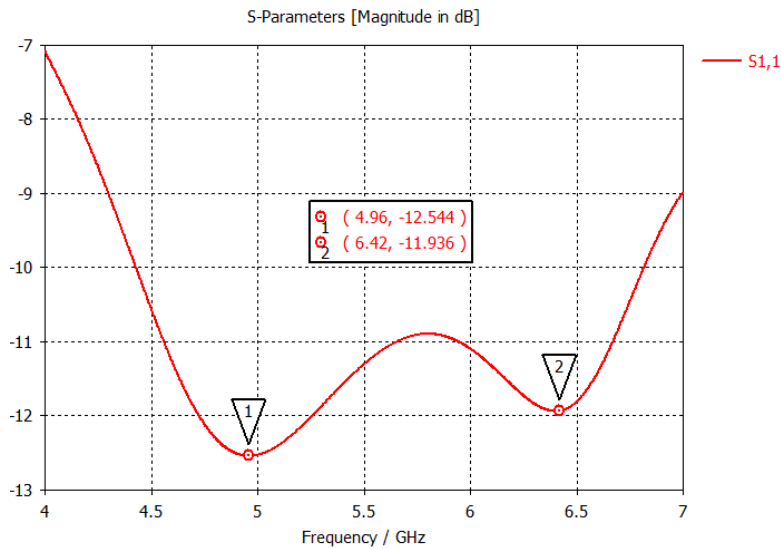
Şekil 6.87. Dairesel model d, e1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımları

Dairesel model metayüze yapıasının d, e1 bağlantı noktalarının 'on' olduğu konfigürasyon için elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.87'te gösterilmiştir. Bu model için elde edilen maksimum yüzey akımı 70 A/m olarak görülmektedir.



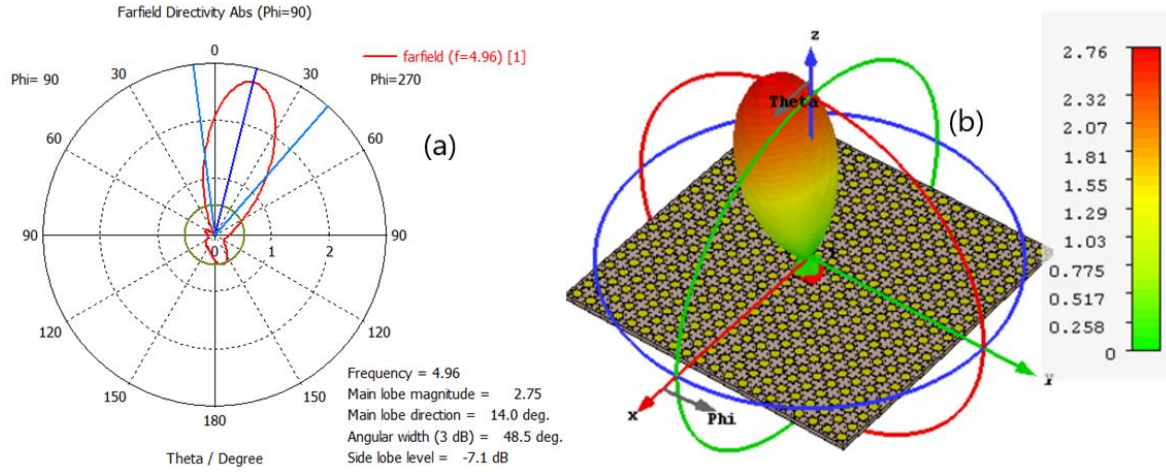
Şekil 6.88. Dairesel model c, f1 noktaları 'on'

Şekil 6.88'de daire modelin c, f1 noktalarının 'on' durumunda olduğu konfigürasyon görüntüsü verilmiştir. Yani; metayüze yapıasının tüm tek numaralı satırlarının c ile adlandırılmış bağlantı noktaları ve tüm çift numaralı satırlarının f1 ile adlandırılmış bağlantı noktaları 'on' durumdadır.



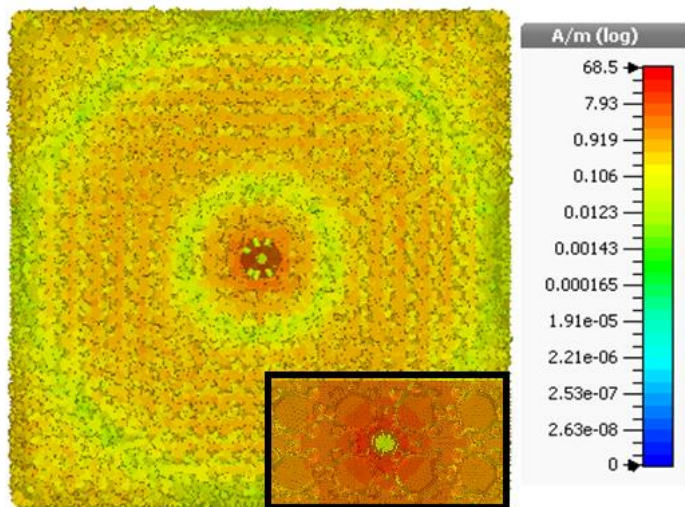
Şekil 6.89. Dairesel model c, f1 noktaları 'on', S11 grafiği

Dairesel model c, f1 noktaları 'on' konfigürasyonu için S11 grafiği Şekil 6.89'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi rezonans frekansı 4,96 GHz'dir. 4,96 GHz'de S11 parametresinin minimum değeri 12,544 dB olarak görünmektedir. Bant genişliği ise yaklaşık olarak 2,4 GHz'dir.



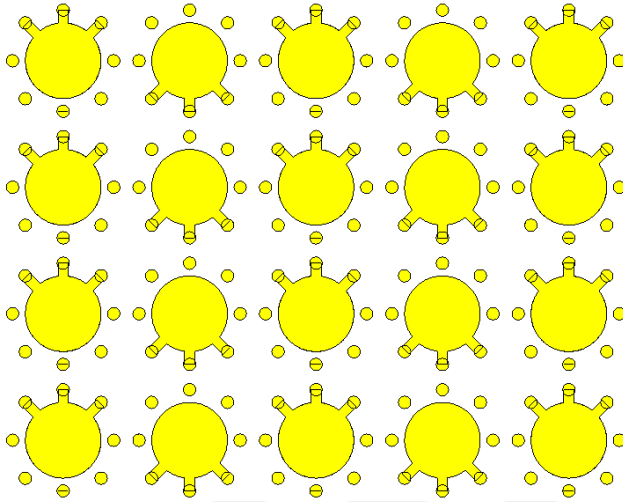
Şekil 6.90. Dairesel model c, f1 noktaları 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Dairesel model c, f1 noktalarının 'on' olduğu konfigürasyon için elde edilen iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.90'da verilmiştir. Şekil 6.90 (a)'da görüldüğü gibi ana lob ve yan lobun ışıma büyüklükleri sırasıyla 2,75 dBi ve -7,1 dB olarak görülmektedir. Hüzme genişliği $48,5^\circ$, yönlülük ise 2,76 dBi olarak elde edilmiştir.



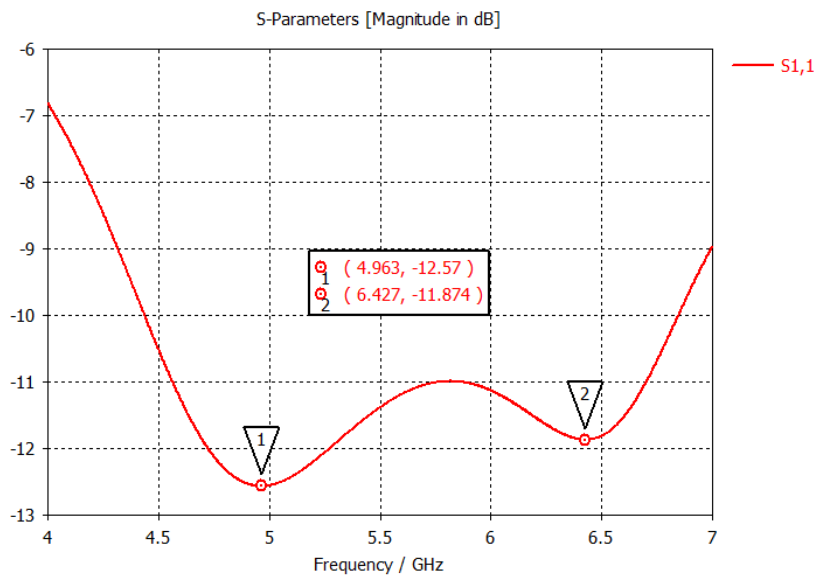
Şekil 6.91. Dairesel model c, f1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımları

Dairesel model metayüzey yapısının c, f1 bağlantı noktalarının ‘on’ olduğu konfigürasyon için elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.91’de gösterilmiştir. Bu konfigürasyon için elde edilen yüzey akım dağılımının maksimum değeri 68,5 A/m’dir.



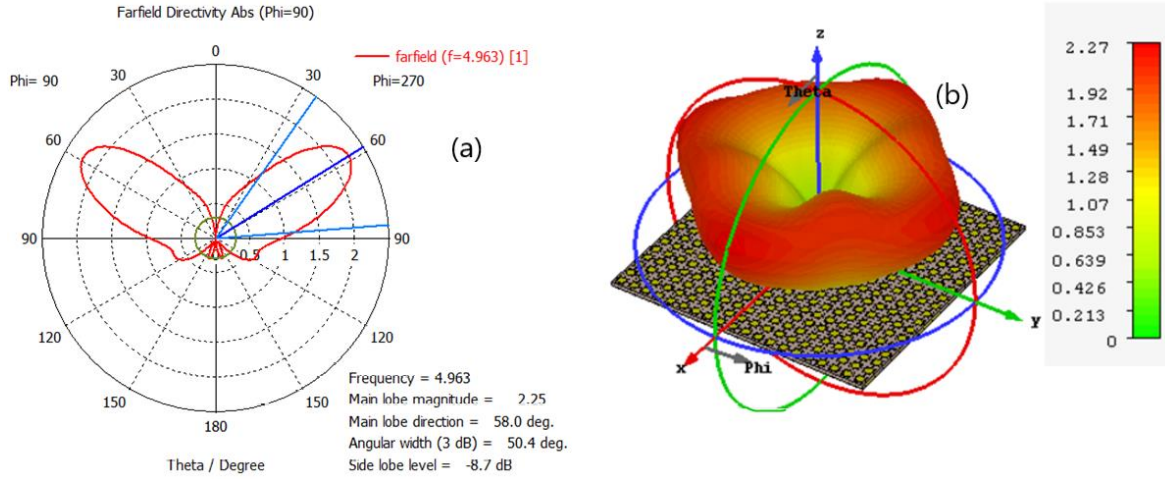
Şekil 6.92. Dairesel model a, b, c, f1, g1, h1 noktaları ‘on’

Şekil 6.92’de daire modelin a, b, c, f1, g1, h1 noktalarının ‘on’ durumunda olduğu konfigürasyon görüntüsü verilmiştir. Bu durumda, metayüzey yapısının tüm tek numaralı satırlarının a, b, c ile adlandırılmış bağlantı noktaları ve tüm çift numaralı satırlarının f1, g1, h1 ile adlandırılmış bağlantı noktaları ‘on’ durumdadır.



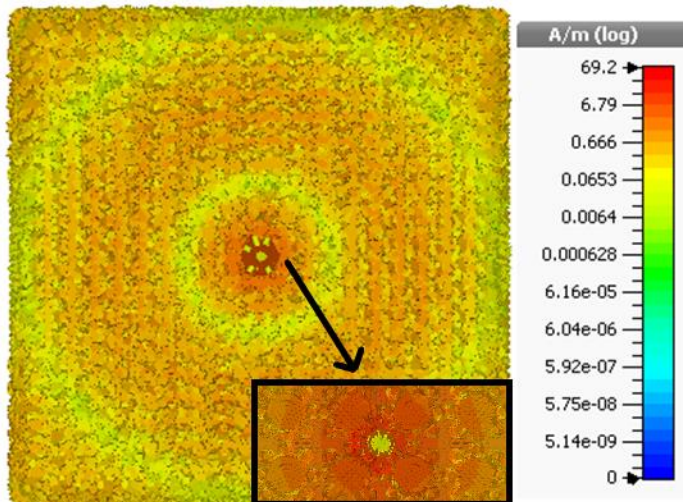
Şekil 6.93. Dairesel model a, b, c, f1, g1, h1 noktaları ‘on’, S11 grafiği

Dairesel model a, b, c, f1, g1, h1 noktaları 'on' konfigürasyonu için S11 grafiği Şekil 6.93'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi rezonans frekansı 4,963 GHz'dir. Bu yapı için, rezonans frekansındaki S11 parametresinin en küçük değeri yaklaşık olarak -12,57 dB olarak görülmektedir.



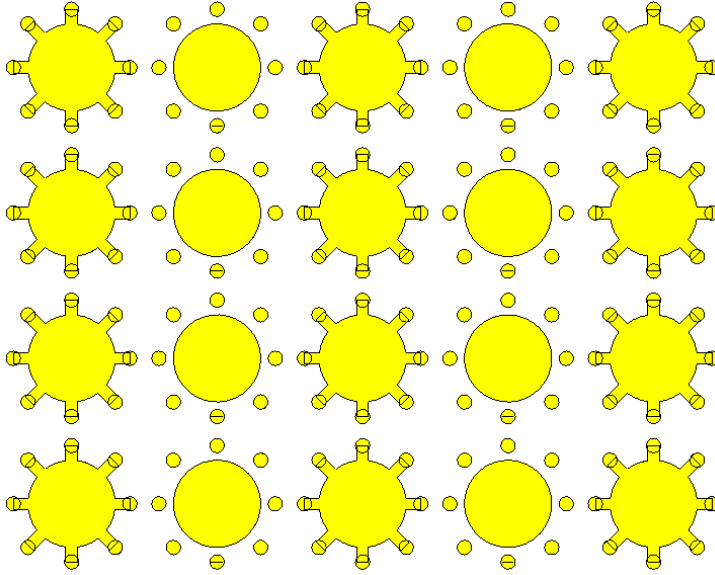
Şekil 6.94. Dairesel model a, b, c, f1, g1, h1 noktaları 'on', radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Dairesel model a, b, c, f1, g1, h1 noktalarının 'on' olduğu konfigürasyon için elde edilen iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.94'te verilmiştir. Şekil 6.94 (a)'da görüldüğü gibi ana lob ve yan lobun ışıma büyüklükleri sırasıyla 2,25 dBi ve -8,7 dB'dir. Hüzme genişliği 50,4°, yönlülük ise 2,27 dBi'dir.



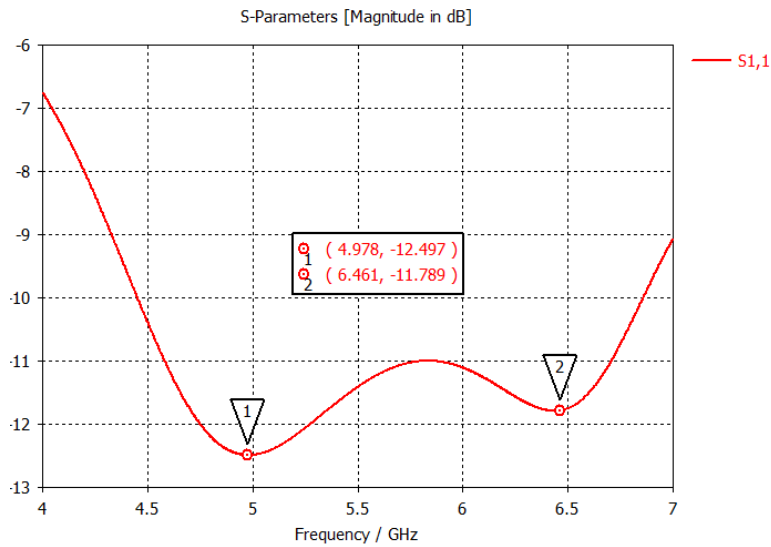
Şekil 6.95. Dairesel model a, b, c, f1, g1, h1 noktaları 'on', yüzey akım dağılımları

Dairesel model metayüzey yapısının a, b, c, f1, g1, h1 bağlantı noktalarının ‘on’ olduğu konfigürasyon için elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.95’te gösterilmiştir. Yüzey akım dağılımının maksimum değeri 69,2 A/m olarak elde edilmiştir.



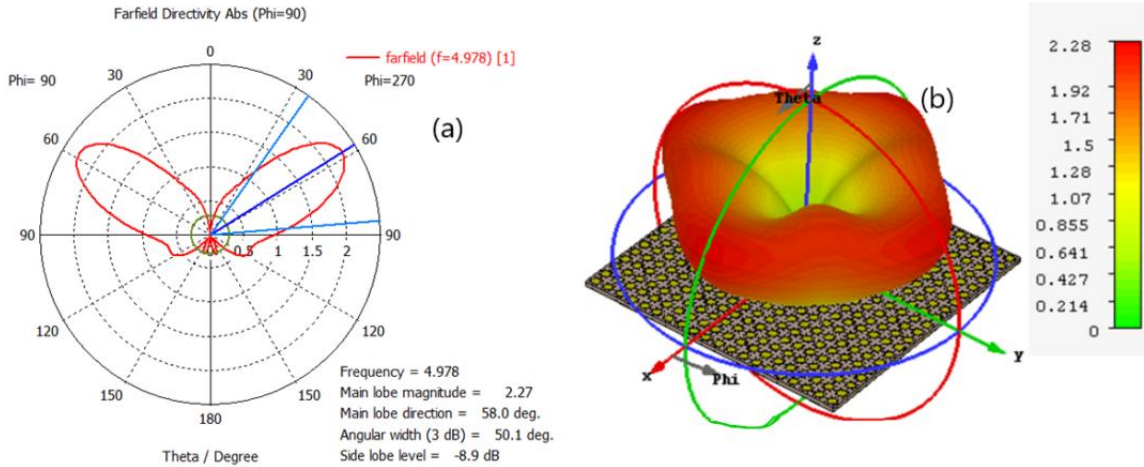
Şekil 6.96. Dairesel model a, b, c, d, e, f, g, h noktaları ‘on’

Şekil 6.96’da daire modelin a, b, c, d, e, f, g, h noktalarının ‘on’ durumunda olduğu konfigürasyon görüntüsü verilmiştir. Bu durum, metayüzey yapısının tüm tek numaralı satırlardaki birim hücrelerin ‘on’ durumunda olduğunu ifade etmektedir.



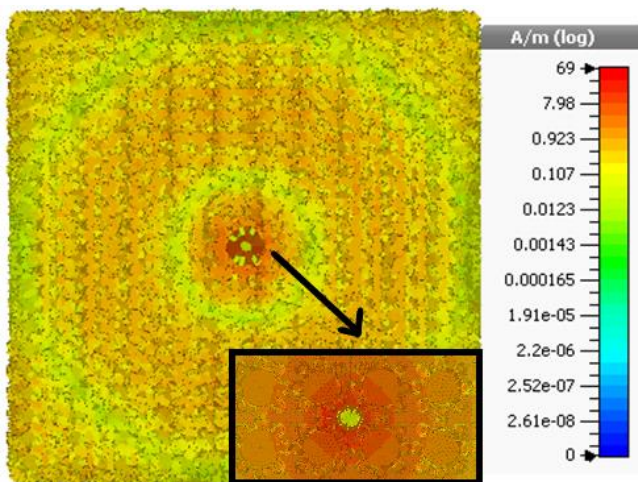
Şekil 6.97. Dairesel model a, b, c, d, e, f, g, h noktaları ‘on’, S11 grafiği

Dairesel model a, b, c, d, e, f, g, h noktaları ‘on’ konfigürasyonu için S11 grafiği Şekil 6.97’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi rezonans frekansı 4,978 GHz’dir. 4,978 GHz’de S11 parametresinin minimum değeri 12,497 dB olarak görünmektedir. Bant genişliği ise yaklaşık olarak 2,4 GHz dir.



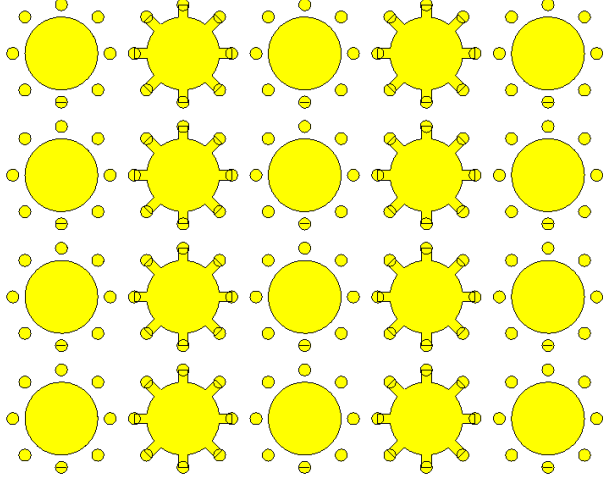
Şekil 6.98. Dairesel model a, b, c, d, e, f, g, h noktaları ‘on’, radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Dairesel model a, b, c, d, e, f, g, h noktalarının ‘on’ olduğu konfigürasyonu için elde edilen iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.98’de verilmiştir. Şekil 6.98 (a)’da görüldüğü gibi ana lob ışınma büyüklüğü 2,27 dBi, yan lobun ışınma büyüklüğü ise -8,9 dB olarak elde edilmiştir. Hüzme genişliği 50,1° olan bu konfigürasyonun yönlülüğü ise 2,28 dBi olarak görülmektedir.



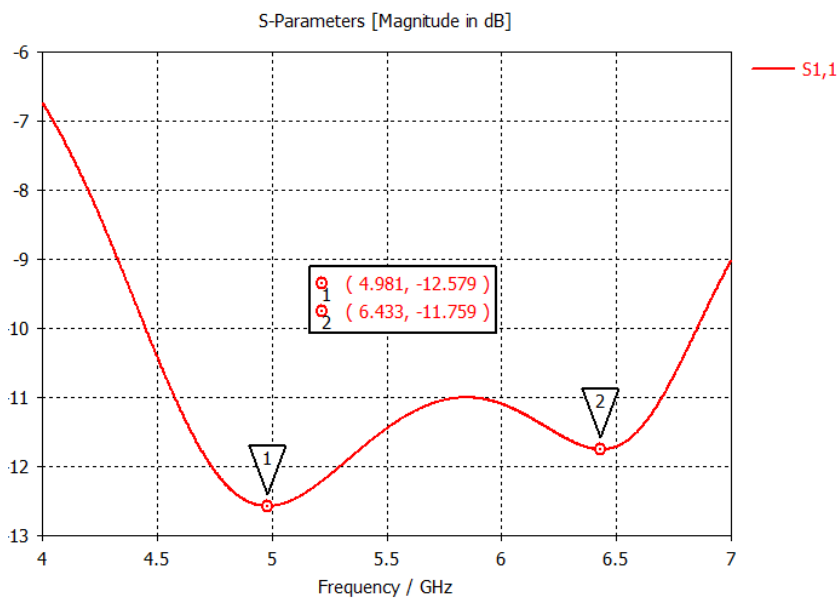
Şekil 6.99. Dairesel model a, b, c, d, e, f, g, h noktaları ‘on’, yüzey akım dağılımları

Dairesel model metayüzey yapısının a, b, c, d, e, f, g, h bağlantı noktalarının ‘on’ olduğu konfigürasyon için elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.99’da gösterilmiştir. Bu konfigürasyon için yüzey akım dağılımının maksimum değeri 69 A/m olarak görülmektedir.



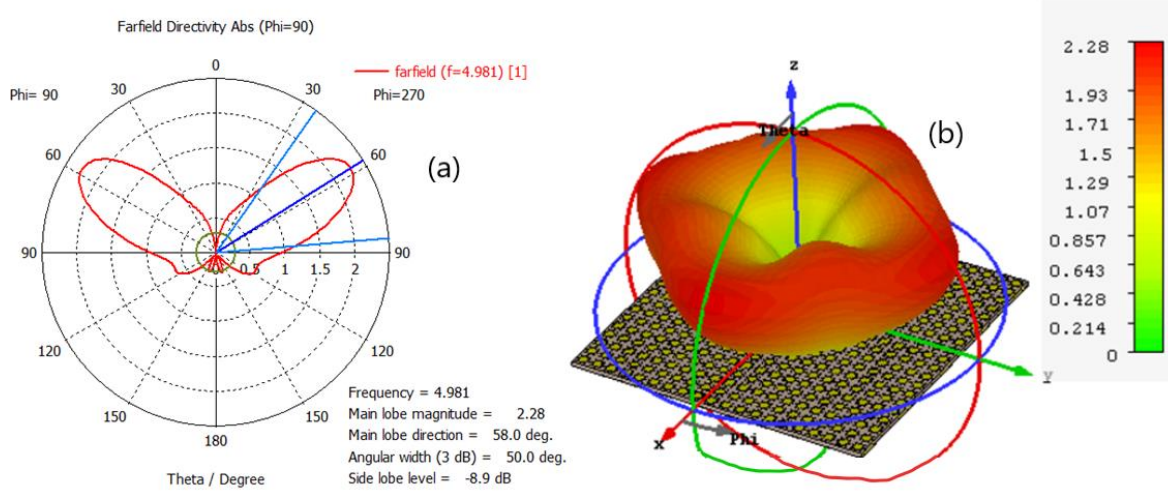
Şekil 6.100. Dairesel model a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1 noktaları ‘on’

Şekil 6.100’de daire modelin a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1 noktalarının ‘on’ durumunda olduğu konfigürasyon görüntüsü verilmiştir. Yani; metayüzey yapısının tüm çift numaralı satırlardaki birim hücrelerin ‘on’ durumda olduğunu göstermektedir.



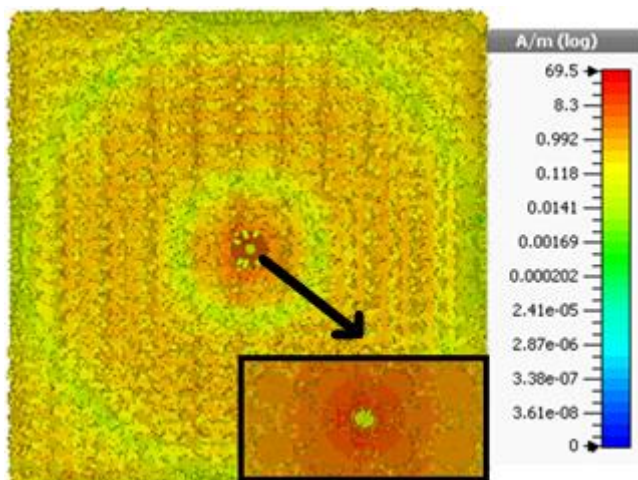
Şekil 6.101. Dairesel model a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1 noktaları ‘on’, S11 grafiği

Dairesel model a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1 noktaları ‘on’ konfigürasyonu için S11 grafiği Şekil 6.101’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi rezonans frekansı 4,981 GHz’dir. Bu metayüzey yapısının rezonans anındaki S11 parametresinin 4,981 GHz’de minimum değeri yaklaşık olarak -12,579 dB olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.102. Dairesel model a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1 noktaları ‘on’, radyasyon paterni (a) 2 boyutlu, (b) 3 boyutlu

Dairesel model a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1 noktalarının ‘on’ olduğu konfigürasyon için elde edilen iki boyutlu ve üç boyutlu radyasyon paternleri Şekil 6.102’de verilmiştir. Şekil 6.102 (a)’da görüldüğü gibi ana lob ve yan lobun ışıma büyüklükleri sırasıyla 2,28 dBi ve -8,9 dB olarak görülmektedir. Hüzme genişliği 50°, yönlülük ise 2,28 dBi’dir.



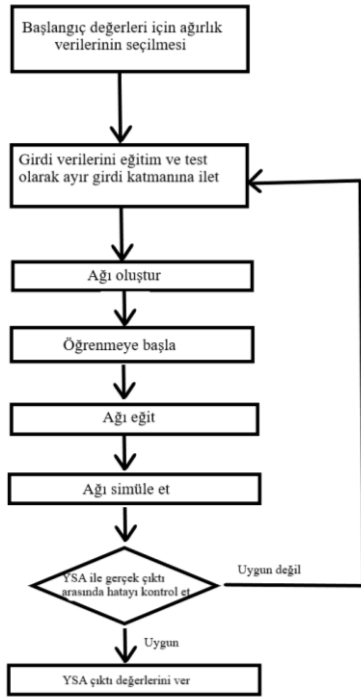
Şekil 6.103. Dairesel model a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1 noktaları ‘on’, yüzey akım dağılımları

Dairesel model metayüzey yapısının a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1 bağlantı noktalarının ‘on’ olduğu konfigürasyon için elde edilen yüzey akım dağılımı Şekil 6.103’te gösterilmiştir. Burada, yüzey akım dağılımının maksimum değeri 69,5 A/m olarak görülmektedir.

6.3. Dairesel Model Metayüzey İçin YSA Tasarlanması

Bu bölümde, bölüm 6.2’de tasarım ve simülasyonları yapılan konfigürasyonlar için monopul antenin ışınma yönünü, kazancını ve yönlülüğünü kontrol edebilmek amacıyla yapay sinir ağları oluşturulmuştur. İlk olarak bir yapay sinir ağları algoritması belirlenmiştir ve bunun için bir akış şeması oluşturulmuştur (Şekil 6.104). Mikrodalga simülatör programında tasarımı yapılan metayüzey konfigürasyonlarının çıktıları ile yapay sinir ağlarının çıktıları karşılaştırılarak yapay sinir ağlarının performans durumu incelenmiştir.

Dairesel model metayüzey için yapılan toplamda 128 tasarımın girdi ve çıktıları ayarlanmıştır. Sistem 16 girdi, 4 çıktı ve 2 ara katmandan oluşmaktadır. Girdi değerleri olarak Çizelge 6.1’de gösterilen, temas durumlarının kontrolünü sağlayan a, b, c, d, e, f, g, h, a1, b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1 parametreleri seçilmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi temas eden birimler yani; ‘on’ durumda olan birimleri ‘1’ ve temas etmeyen yani; ‘off’ durumundaki birimler ise ‘0’ olarak gösterilmiştir. Çıktı birimleri olarak ise tasarlanan metayüzey yapılarında antenin rezonans frekansı, rezonans frekansındaki yönlülüğü, ana lob ışınma büyüklüğü ve hüzmeye genişliği kullanılmıştır. Aşağıda Çizelge 6.1’de kullanılan girdi ve çıktı verileri görülmektedir.



Şekil 6.104. YSA için oluşturulan akış şeması

Çizelge 6.1. YSA için kullanılan veri girdi ve çıktıları

a	b	c	d	e	f	g	h	al	bl	cl	dl	el	fl	gl	hl	Yönlülük	Ana lob	ıyırma	Hüzme Genişliği	Frekans
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,231	2,23	50,7	4,957	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2,330	2,35	49,1	5,026	
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2,234	2,24	50,6	4,960	
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2,257	2,23	50,8	4,951	
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,235	2,24	50,6	4,960	
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2,253	2,26	50,6	4,951	
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2,247	2,25	50,7	4,948	
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2,234	2,24	50,6	4,960	
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2,257	2,23	50,8	4,951	
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2,235	2,24	50,6	4,960	
0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2,315	2,23	50,6	4,972	
0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2,305	2,31	50,0	4,969	
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2,242	2,25	50,6	4,951	
1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2,242	2,25	50,6	4,951	
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2,241	2,25	50,6	4,951	
0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2,265	2,24	50,6	4,957	
1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2,265	2,24	50,6	4,957	
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2,256	2,26	50,5	4,954	
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	2,242	2,25	50,6	4,951	
0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	2,256	2,26	50,5	4,954	
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2,247	2,26	50,5	4,960	
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2,265	2,24	50,6	4,957	
0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	2,241	2,25	50,6	4,951	
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2,265	2,24	50,6	4,957	
0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	2,262	2,27	50,4	4,957	
1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2,261	2,27	50,4	4,957	
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2,261	2,27	50,4	4,957	
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2,257	2,26	50,5	4,954	
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2,262	2,27	50,4	4,957	
1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2,256	2,26	50,5	4,954	
0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2,257	2,23	50,8	4,951	
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2,281	2,29	50,2	4,963	
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2,237	2,24	50,9	4,942	
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2,257	2,23	50,8	4,951	
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2,234	2,24	50,6	4,960	

Çizelge 6.1. (devam) YSA için kullanılan veri girdi ve çıktıları

a	b	c	d	e	f	g	h	al	bl	cl	dl	el	fl	gl	hl	Yönlülük	Ana lob ışıma	Hüzme Genişliği	Frekans
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2,240	2,24	50,5	4,963
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,240	2,24	50,5	4,963
0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2,234	2,24	50,6	4,960
0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2,227	2,23	50,9	4,945
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2,234	2,24	50,8	4,948
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2,227	2,23	50,8	4,945
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2,234	2,24	50,8	4,948
0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	2,273	2,25	50,4	4,963
0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	2,256	2,26	50,4	4,966
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	2,261	2,27	50,2	4,969
0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	2,264	2,27	50,3	4,960
1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	2,264	2,27	50,3	4,960
1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2,273	2,25	50,4	4,963
0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	2,257	2,26	50,4	4,966
1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	2,261	2,27	50,3	4,969
0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	2,301	2,31	49,9	4,981
0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	2,304	2,25	50,3	4,981
0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	2,302	2,31	49,9	4,981
0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	2,310	2,26	50,2	4,984
1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	2,253	2,26	50,4	4,960
0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	2,297	2,31	49,7	5,002
0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2,273	2,25	50,4	4,963
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2,273	2,25	50,4	4,963
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	2,258	2,27	50,5	4,957
0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	2,288	2,30	50,0	4,969
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2,279	2,27	50,1	4,978
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,236	2,24	50,6	4,960
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,240	2,23	50,9	4,945
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,230	2,23	50,7	4,957
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,230	2,24	50,9	4,942
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,243	2,25	50,7	4,948
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,236	2,24	50,6	4,960
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,240	2,23	50,9	4,945
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2,230	2,23	50,7	4,957
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,235	2,24	50,6	4,960
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2,235	2,24	50,6	4,960
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,235	2,24	50,6	4,960
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2,235	2,24	50,6	4,960
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,266	2,22	50,8	4,954
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,254	2,26	50,6	4,951
0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,243	2,25	50,6	4,954
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,233	2,24	50,8	4,948
0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,233	2,24	50,8	4,948
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,243	2,25	50,6	4,954
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,249	2,24	50,7	4,951
0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2,248	2,24	50,7	4,951
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,238	2,24	50,7	4,948

Çizelge 6.1. (devam) YSA için kullanılan veri girdi ve çıktıları

a	b	c	d	e	f	g	h	al	bl	cl	dl	el	fl	gl	hl	Yönlülük	Ana lob ışıma	Hüzme Genişliği	Frekans
0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2,247	2,25	50,6	4,951
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,237	2,24	50,7	4,951
0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,248	2,25	50,5	4,957
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,237	2,24	50,7	4,951
0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,252	2,26	50,5	4,957
0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,269	2,25	50,5	4,963
0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,252	2,26	50,5	4,957
0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,259	2,23	50,8	4,957
1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2,236	2,24	50,7	4,948
0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,266	2,26	50,3	4,969
1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2,284	2,24	50,5	4,966
1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2,271	2,28	50,2	4,963
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2,285	2,28	50,0	4,981
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2,230	2,23	50,7	4,957
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2,240	2,23	50,9	4,945
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,236	2,24	50,6	4,960
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2,243	2,25	50,7	4,948
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2,225	2,23	51,0	4,939
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2,230	2,23	50,7	4,957
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2,240	2,23	50,9	4,945
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2,236	2,24	50,6	4,960
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2,234	2,24	50,6	4,960
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2,234	2,24	50,6	4,960
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2,234	2,24	50,6	4,960
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2,234	2,24	50,6	4,960
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2,274	2,23	50,7	4,957
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2,254	2,26	50,6	4,951
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2,228	2,23	50,9	4,954
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2,243	2,25	50,6	4,954
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2,243	2,25	50,6	4,954
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2,228	2,23	50,9	4,945
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2,249	2,24	50,7	4,951
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2,248	2,24	50,7	4,951
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	2,238	2,24	50,7	4,948
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	2,247	2,25	50,6	4,951
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	2,237	2,24	50,7	4,951
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	2,248	2,25	50,5	4,957
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	2,237	2,24	50,7	4,951
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	2,252	2,26	50,5	4,957
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	2,269	2,25	50,5	4,963
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	2,252	2,26	50,5	4,957
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	2,259	2,23	50,8	4,957
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	2,236	2,24	50,7	4,948
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	2,266	2,26	50,3	4,969
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2,292	2,25	50,4	4,969
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	2,265	2,27	50,4	4,960

Yapay sinir ağlarında 128 tane olan girdi ve çıktı değerleri train ve validation yani eğitim ve test verileri olarak ikiye ayrılmıştır. Gizli katman sayısı olarak iki gizli katman olması uygun bulunmuştur. Eğitim ve test verileri arasındaki oran ayrımı ve gizli katmanlarda kullanılacak nöron sayısı için minimum hata ile sistemin çalışabilmesi adına farklı şekilde denemeler yapılmıştır. Aşağıda bu denemeler ile ilgili açıklamalar bulunmaktadır.

Yapay sinir ağları denemeleri ve çıktıları açıklanmadan önce aşağıda yapay sinir ağı kodlaması yapılırken kullanılan kod parçalarının tanımlarına yer verilmiştir.

Newff

Newff komutu yeni bir ileri beslemeli sinir ağı oluşturur. Bu komutu kullanırken beş parametre kullanılmıştır. Bunlar sırası ile girdi verileri, çıktı verileri, ara gizli katmandaki nöron sayısı, aktivasyon fonksiyonu ve eğitim algoritma bilgisidir.

MAPE

MAPE fonksiyonu ortalama mutlak yüzde hataları (Mean Absolute Percent Error- MAPE) hesaplar. MAPE fonksiyonu hataları yüzde olarak ifade ettiğinden ve daha güvenilir sonuç olduğundan dolayı sıklıkla kullanılan fonksiyondur. MAPE değerinin sıfıra yakın olması beklenmektedir. Sıfıra ne kadar yakın olursa sinir ağının o kadar iyi çalışıp iyi tahmin sonuçları verdiği anlaşılır. Çalışma prensibi ise gerçek çıktılar ile YSA'nın çıktılarının aralarındaki farkların mutlak değerini alıp gerçek çıktı değerlerine bölerek bu değerlerin hepsini ortalamasını atmaktadır.

R²

Çoklu belirlilik katsayısı olarak adlandırılır. YSA sonuçlarının kontrol mekanizmalarından bir tanesidir. 0 ve 1 arasında değer alır. Ne kadar çok 1'e yaklaşırsa YSA'nın o kadar çok iyi veriler elde edildiği ve uygun sonuçlar olduğu anlaşılır. 0'a ne kadar yaklaşırsa o kadar kötü sonuç elde edildiği anlaşılır. Bu durumda verilerin YSA'ya uygun olmadığı anlaşılır.

Train

Train, eğitme fonksiyonudur. Üç farklı parametre alır. Bunlar sırası ile eğitmek istenilen ağın adı, eğitim girdileri ve eğitim çıktılarıdır. Bu parametreleri kullanarak ağı eğitir.

Sim

Sim, simüle etme fonksiyonudur. İki parametre alır. Bunlar, train fonksiyonu ile eğitilen ağın adı ve test verileridir. Bu fonksiyon train ile eğitilen ağı simüle edip test verilerini kullanarak çıktı etmeye yarar.

Net.trainParam.epochs

Yapay sinir ağının kaç iterasyonla ne kadar eğitileceğini gösterir.

Net.trainParam.goal

Yapay sinir ağlarının ulaşması gereken hedeftir. Ağ eğitilirken eğitim süresi bitmeden bu hedef elde edildiği zaman eğitimin bitmesini sağlar.

İlk olarak yapay sinir ağları yazılımına mikrodalga simülatör programında yapılan Çizelge 6.2’de görünen sonuçlar listelenip YSA’ya uygun girdi ve çıktılar haline getirilmiştir. Eğitim ve test verileri için girdi ve çıktı verileri ayrılmıştır. Newff komutu ile ileri beslemeli yeni bir sinir ağı oluşturulmuştur. Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Eğitim fonksiyonu olarak ise ‘trainlm’ kullanılmıştır.

Sinir ağına ulaşması gereken hedef için iterasyon sayısı 10 000 olarak verilmiştir. Bu değer eğitim sırasında ağı verilen hedefe ulaşamadığı takdirde ağın eğitimi bitirme süresi olarak seçilmiştir.

Tüm bu işlemlerden sonra ağı ‘train’ fonksiyonu ile eğitilmiştir. Bu eğitilen ağın bilgileri YSA’ya verilerek çıkış üretmesi için ‘sim’ fonksiyonundan yararlanılarak ağın simülasyon işlemi başlamış ve çıktılar elde edilmiştir.

Elde edilen tüm değerler sonucunda gerçek çıktılar ile YSA'nın tahmin ettiği çıktılar MAPE ve R^2 hata fonksiyonları üretilen ağın ne kadar doğru sonuçlar elde ettiğinin kontrolü yapılmaktadır.

6.3.1. Çift ara katmanlı eğitim algoritmasına göre hata oranlarının hesaplanması

Çift katmanlı YSA yapısında N1 birinci gizli katmandaki nöron sayısını, N2 ise ikinci gizli katmandaki nöron sayısını ifade etmektedir. Farklı oranlarda eğitim ve test verileri seçilerek bunlara da ek olarak farklı sayılarda N1 ve N2 ara katman nöronları seçilerek en iyi sonucu bulma hedeflenmiştir. Dört farklı çıkış değeri için MAPE ve R^2 hata değerlerine ayrı ayrı bakılmıştır.

Çizelge 6.2. İki ara katmanlı 70 ve 30 yüzdeli hata ortalamaları

Eğitim Verisi Yüzdesi	Test Verisi Yüzdesi	N1	N2	MAPE Oranları				R ² Oranları			
				Yönlülük	Ana Lob Işıma Büyüklüğü	Hüzme Genişliği	Frekans	Yönlülük	Ana Lob Işıma Büyüklüğü	Hüzme Genişliği	Frekans
70	30	5	3	0,0122	0,0192	0,0293	0,0054	1	1	0,9986	1
		10	5	0,0081	0,0231	0,0228	0,0116	1	1	0,9990	1
		20	10	0,0152	0,0633	0,0163	0,0066	1	1	0,9993	1
		20	15	0,0206	0,0561	0,0208	0,0091	1	1	0,9990	1
		15	5	0,0439	0,0416	0,0120	0,0201	1	1	0,9997	1
		2	3	0,0647	0,0822	0,0407	0,0041	1	1	0,9973	1

Çizelge 6.2'de çift ara katmalı Levenberg Marquart eğitim algoritması kullanarak YSA'nın çıkış verileri olan yönlülük, ana lob ışımaya büyüklüğü, hüzme genişliği ve frekans değerleri için MAPE ve R^2 hata değerlerinin hesaplanması gösterilmiştir. Bu hesaplamalar için girdi verilerinin eğitim verisi için %70'i, test verileri için ise %30'u kullanılmıştır. Ara katmanlar için farklı sayılarda nöron denemeleri yapılmıştır. Yönlülük için en iyi değer 10 ve 5 nöron sayılı ara katman denemede, ana lob ışımaya büyüklüğünde 5 ve 3 nöron sayılı ara katman,

hüzme genişliği için 15 ve 5 nöron sayılı ara katmanlarda ve frekans için ise 2 ve 3 nöron sayılı ara katmanlı denemelerin en iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Çizelge 6.3. İki ara katmanlı 60 ve 40 yüzdeli hata ortalamaları

Eğitim Verisi Yüzdeleri	Test Verisi Yüzdeleri	N1	N2	MAPE Oranları				R ² Oranları			
				Yönlülük	Ana Lob Işıma Büyüklüğü	Hüzme Genişliği	Frekans	Yönlülük	Ana Lob Işıma Büyüklüğü	Hüzme Genişliği	Frekans
60	40	5	3	0,0381	0,0549	0,0168	0,0088	1	1	0,9995	1
		10	5	0,0226	0,0672	0,0060	0,0036	1	1	0,9999	1
		20	10	0,0223	0,0761	0,0247	0,0076	1	1	0,9987	1
		20	15	0,0721	0,0231	0,0222	0,0121	1	1	0,9990	1
		15	5	0,0147	0,0571	0,0134	0,0056	1	1	0,9996	1
		2	3	0,0195	0,0361	0,0217	0,0139	1	1	0,9991	1

Çizelge 6.3'te bakıldığı zaman genel olarak %60 eğitim, %40 test verisi seçilmesi %70 eğitim ve %30 test verileri çıktıklarına oranla daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmektedir. Ara katman nöron sayıları değiştirilmeden eğitim ve test verilerinde değişiklik yapılmıştır. R² hata hesaplamalarına bakıldığı zaman en iyi sonucun 10 ve 5 nöron sayılı ara katman çiftinde olduğu gözlenmiştir. En kötü sonucun ise 20 ve 10 nöron sayılı ara katman çiftinde olduğu görülmektedir. MAPE hata hesaplamalarına bakıldığı zaman ise yönlülük değeri için en iyi sonucun 15 ve 5 nöron sayılı, en kötü sonucun ise 20 ve 15 nöron sayılı ara katman çiftinde olduğu gözlenmektedir. Ana lob ışına büyüklüğü için 20 ve 15 nöron sayılı ara katmanda en iyi, 20 ve 10 nöron sayılı ara katmanda en kötü sonucu verdiği gözlenmiştir. Hüzme genişliği için 10 ve 15 nöron sayılı ara katmanda en iyi, 20 ve 10 nöron sayılı ara katmanda en kötü sonucu verdiği gözlenmiştir ve son olarak frekans için 5 ve 3 nöron sayılı ara katmanda en iyi, 2 ve 3 nöron sayılı ara katmanda en kötü sonucu verdiği gözlenmiştir.

Çizelge 6.4. İki ara katmanlı 20 ve 80 yüzdeli hata ortalamaları

Eğitim Verisi Yüzdesi	Test Verisi Yüzdesi	N1	N2	MAPE Oranları				R ² Oranları			
				Yönlülük	Ana Lob Işıma Büyüklüğü	Hüzme Genişliği	Frekans	Yönlülük	Ana Lob Işıma Büyüklüğü	Hüzme Genişliği	Frekans
20	80	5	3	0,0231	0,0138	0,0042	0,0103	1	1	1	1
		10	5	0,0136	0,0414	0,0120	0,0151	1	1	0,9997	1
		20	10	0,0141	0,0395	0,0234	0,0123	1	1	0,9991	1
		20	15	0,0215	0,0267	0,0116	0,0087	1	1	0,9996	1
		15	5	0,0086	0,0193	0,0113	0,0064	1	1	0,9997	1
		2	3	0,0264	0,0487	0,0392	0,0058	1	1	0,9973	1

Çizelge 6.4'te diğerlerinde olduğu gibi ara katman nöron denemeleri sabit tutulmuştur. Girdi verilerinin kullanılması gereken eğitim ve test verileri yüzdesi değiştirilmiştir. Eğitim verileri için giriş verilerinin %20'sinin, test verileri için ise %80'inin kullanılmasına karar verilmiştir. MAPE hata hesaplamasında yönlülük için en iyi sonuç 15 ve 5 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonucun 2 ve 3 nöron sayılı katmanda olduğu görülmüştür. Ana lob ışıma büyüklüğü için en iyi değer 5 ve 3 nöron sayılı ara katmanda, en kötü değer ise 2 ve 3 nöron sayılı ara katmandadır. Hüzme genişliği için 5 ve 3 nöron sayılı ara katmanlar en iyi sonuç, 2 ve 3 nöron sayılı ara katmanlar en kötü sonuç olarak seçilmiştir. Frekans için ise 2 ve 3 nöron sayılı ara katmanların en iyi sonuç, 10 ve 15 nöron sayılı ara katmanların ise en kötü sonuç olduğu gözlemlenmiştir. R² hata hesaplamasına bakıldığı zamanen iyi sonucu 5 ve 3 nöron sayısına sahip ara katmanlarda olduğu gözlenmiştir. Çünkü bu parametrenin 1'e yaklaşması beklenmektedir ve bu nöronlarda tüm hata sonuçları 1 olarak görünmektedir. En kötü sonuç ise 2 ve 3 nöron sayılı ara katmanlarda olduğu gözlemlenmiştir.

6.3.2. Tek ara katmanlı eğitim algoritmasına göre hata oranlarının hesaplanması

Çift katmanlı yapay sinir ağı modellemelerinden sonra tek katmanlı modellemeler de denenmiştir. Bu çalışmada da farklı eğitim ve test veri yüzdeleri belirlenerek ama tek ara katmanlı nöronlar seçilerek sistem eğitime çalışılmıştır. Bu denemelerde de yönlülük, ana lob ışımaya büyüklüğü, hüzmeye genişliği ve frekans için ayrı ayrı MAPE ve R^2 hata hesaplamaları yapılmıştır.

Çizelge 6.5. Tek ara katmanlı 70 ve 30 yüzdeli hata ortalamaları

Eğitim Verisi Yüzdesi	Test Verisi Yüzdesi	Nöron Sayısı	MAPE Oranları				R ² Oranları			
			Yönlülük	Ana Lob Işıma Büyüklüğü	Hüzmeye Genişliği	Frekans	Yönlülük	Ana Lob Işıma Büyüklüğü	Hüzmeye Genişliği	Frekans
70	30	2	0,0111	0,0146	0,0308	0,0077	1	1	0,9984	1
		5	0,0177	0,0244	0,0163	0,0065	1	1	0,9994	1
		10	0,0248	0,0257	0,0159	0,0170	1	1	0,9993	1
		15	0,0181	0,0845	0,0404	0,0238	1	1	0,9970	1
		20	0,0284	0,0256	0,0461	0,0085	1	1	0,9962	1
		25	0,0562	0,0358	0,0263	0,0139	1	1	0,9985	1
		30	0,0327	0,0537	0,0782	0,0221	1	1	0,9986	1
		35	0,0496	0,0567	0,0379	0,0271	1	1	0,9972	1

Çizelge 6.5'te tek ara katmana sahip YSA sonuçları incelenmiştir. Bu çalışmada girdi verilerinin %70'i ağı eğitmek için , % 30'u ise test verileri için kullanılmıştır. Ara katmanın nöron sayısı değiştirilerek en iyi sonucu bulmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada 6 farklı ara katman nöron sayısı denenerek yönlülük, ana lob ışımaya büyüklüğü, hüzmeye genişliği ve frekans için ayrı ayrı MAPE ve R^2 hata hesaplamalarının sonuçları incelenmiştir. Ara katman nöron sayısı olarak sırasıyla 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 sayıları kullanılmıştır. Yönlülük için en iyi sonuç 2 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 25

nöron sayılı ara katmanda görülmektedir. Ana lob ışma büyüklüğü için en iyi sonuç 2 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 15 nöron sayılı ara katmanda görülmektedir. Hüzme genişliği için en iyi sonuç 10 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 30 nöron sayılı ara katmanda görülmektedir. Frekans için en iyi sonuç 5 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 35 nöron sayılı ara katmanda görülmektedir. R^2 hata hesaplamasında ise en iyi sonuç 5 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 20 nöron sayılı ara katmanda olmuştur.

Çizelge 6.6. Tek ara katmanlı 60 ve 40 yüzdeleri hata ortalamaları

Eğitim Verisi Yüzdesi	Test Verisi Yüzdesi	Nöron Sayısı	MAPE Oranları				R ² Oranları			
			Yönlülük	Ana Lob Işıma Büyüklüğü	Hüzme Genişliği	Frekans	Yönlülük	Ana Lob Işıma Büyüklüğü	Hüzme Genişliği	Frekans
60	40	2	0,0078	0,0334	0,0163	0,0025	1	1	0,9996	1
		5	0,0199	0,0536	0,0342	0,0195	1	1	0,9979	1
		10	0,0327	0,0880	0,0134	0,0147	1	1	0,9995	1
		15	0,0406	0,0207	0,0170	0,0108	1	1	0,9994	1
		20	0,0246	0,0598	0,0220	0,0104	1	1	0,9989	1
		25	0,0353	0,0305	0,0279	0,0187	1	1	0,9984	1
		30	0,0490	0,0793	0,0314	0,0136	1	1	0,9980	1
		35	0,0496	0,0569	0,0446	0,0152	1	1	0,9955	1

Tek ara katmana sahip YSA'nın girdi ve çıktı verilerinin % 60'ının eğitim verileri, %40'ının ise test verileri için ayrıldığı sistemin MAPE ve R^2 hata hesaplamaları Çizelge 6.6'da verilmiştir. Yönlülük için en iyi sonuç 2 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 35 nöron sayılı ara katmanda görülmektedir. Ana lob ışma büyüklüğü için en iyi sonuç 15 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 10 nöron sayılı ara katmanda görülmektedir. Hüzme genişliği için en iyi sonuç 10 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 35 nöron sayılı ara katmanda görülmektedir. Frekans için en iyi sonuç 2 nöron

sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 10 nöron sayılı ara katmanda görülmektedir. R^2 hata hesaplamasında ise en iyi sonuç 2 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 35 nöron sayılı ara katmanda olmuştur.

Çizelge 6.7. Tek ara katmanlı 20 ve 80 yüzdeleri hata ortalamaları

Eğitim Verisi Yüzdeleri	Test Verisi Yüzdeleri	Nöron Sayısı	MAPE Oranları				R ² Oranları			
			Yönlülük	Ana Lob Işıma Büyüklüğü	Hüzme Genişliği	Frekans	Yönlülük	Ana Lob Işıma Büyüklüğü	Hüzme Genişliği	Frekans
20	80	2	0,0125	0,0131	0,0043	0,0179	1	1	0,9999	1
		5	0,0342	0,0253	0,0255	0,0116	1	1	0,9987	1
		10	0,0208	0,0271	0,0235	0,0097	1	1	0,9988	1
		15	0,0499	0,0549	0,0314	0,0096	1	1	0,9980	1
		20	0,0302	0,0802	0,0514	0,0096	1	1	0,9954	1
		25	0,0323	0,0548	0,0236	0,0153	1	1	0,9985	1
		30	0,0406	0,0910	0,0246	0,0100	1	1	0,9987	1
		35	0,0386	0,0377	0,0358	0,0165	1	1	0,9971	1

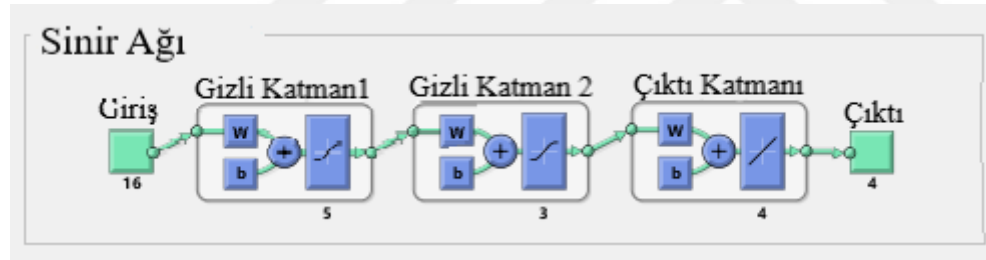
YSA'nın girdi ve çıktı verilerinin %20'sinin eğitim verileri olarak, %80'inin ise test verileri olarak kullanıldığı ağıın MAPE ve R^2 hata parametreleri yönlülük, ana lob ışım büyüklüğü, hüzme genişliği ve frekans için ayrı ayrı Çizelge 6.7'de incelenmiştir. Yönlülük için en iyi sonuç 2 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 15 nöron sayılı ara katmanda görülmektedir. Ana lob ışım büyüklüğü için en iyi sonuç 2 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 30 nöron sayılı ara katmanda görülmektedir. Hüzme genişliği için en iyi sonuç 2 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 20 nöron sayılı ara katmanda görülmektedir. Frekans için en iyi sonuç 15 ve 20 nöron sayılı ara katman için aynı uygunlukta, en kötü sonuç ise 35 nöron sayılı ara katmanda görülmektedir. R^2 hata hesaplamasında ise en iyi sonuç 2 nöron sayılı ara katmanda, en kötü sonuç ise 20 nöron sayılı ara katmanda olmuştur.

En iyi YSA modelinin belirlenmesi

Çift ara katmanlı ve tek ara katmanlı üzerinde çalışılan tüm YSA denemeleri ele alınmıştır. R^2 hata hesaplama parametresi ele alındığı zaman en iyi eğitilen en iyi sonucu veren ağıncı birinci ara katmanı 5 nöron, ikinci ara katmanı ise 3 nöron olan ve eğitim için girdi ve çıktı verilerinin % 20'si, test verileri için ise %80 'inin ayrıldığı görülmektedir. Aşağıda bu sonuçlar Çizelge 6.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8. YSA için en iyi sistem özellikleri

Eğitim Verisi Yüzdesi	Test Verisi Yüzdesi	N1	N2	R^2 Oranları				
				Yönlülük	Ana Lob Büyüklüğü	Işıma	Hüzme Genişliği	Frekans
20	80	5	3	1	1	1	1	1



Şekil 6.105. YSA için seçilen özellikteki model

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 5 GHz frekansta çalışan monopol anten metayüzeyler ile birlikte kullanılarak anten parametrelerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada iki farklı metayüzey tasarlanmıştır. Birinci metayüzey yapısı 10x10cm ölçülerinde alan FR4 malzemesi üzerine T şeklinde, periyodik olarak yerleştirilmiş (20x20) birim hücreden oluşmaktadır. İkinci metayüzeyde de aynı boyutlarda aynı malzemeler kullanarak dairesel şekillerden oluşan 20x20 birim hücre, toplamda 400 hücre bulunmaktadır. FR4 malzemenin alt tabakası ile metal plaka ile kaplıdır. Bu modellerde belirli bir desene bağlı kalarak veya tamamen rastgele seçilen birim hücrelerdeki metal plakaya bağlı via bağlantıları ile rezonatörler temas ettirilerek hedeflenen radyasyon paternini kontrolü gerçekleştirilmiştir ve anten parametrelerinde iyileştirme sağlanmıştır. Bu iyileştirmelerin kontrolünü sağlayabilmek adına iki ayrı model için toplam 150'den fazla analiz gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan yapılardan en uygun olanların üretimi ve ölçümü gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırıldığında sayısal sonuçlar ile ölçüm sonuçlarının uyum içerisinde oldukları görülmüştür.

T model metayüzey yapısı için ilk olarak bilgisayar ortamında birçok tasarımın simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyonlar sonucunda metayüzeyde seçilen birim hücrelerin 'on' ve 'off' durumlarına göre antenin radyasyon paterninde yönlendirme yapabildiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, S11 parametrelerinin büyüklüğünün, antenin bant genişliğinin ve kazancının da kontrol edilebildiği görülmüştür. Tasarımı yapılan tüm simülasyonlar arasından uygun görülen metayüzey yapıları seçilip üretimleri yapılmıştır. Üretimleri yapılan metayüzeylerin laboratuvar ortamında S11 parametreleri ve iki boyutlu radyasyon paternleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları ve simülasyon sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu ölçümler sonucunda bilgisayar ortamında yapılan simülasyonların laboratuvar ortamında yapılan ölçümlerle uyum içerisinde oldukları görülmüştür.

Dairesel model metayüzey yapılarında ise birim hücreler büyük bir daire ve dairenin etrafında FR4 malzemesi delinerek bakır arka plan ile temas halinde olan sekiz tane eşit uzaklıkta daireden oluşmaktadır. Büyük daire ile etrafındaki bazı dairelerin teması sağlanarak T model metayüzeydeki gibi radyasyon paternini yönlendirebilme ve anten parametrelerini iyileştirme amaçlanmıştır. Dairesel model metayüzey polarizasyondan

(yönden) bağımsız olduğu için yansıma katsayısının (S11) çok etkilenmediği görülmüştür. Dairesel model metayüzeyde radyasyon paternlerinin 0° ile 60° arası odaklama yapabildiği gözlenmiştir.

Dairesel şekillerden oluşan ikinci çalışma için yapay sinir ağları yazılımı tasarlanmıştır. Bu çalışmanın amacı yapılan çizimlerin bilgisayar sistemi tarafından yardım almadan minimum hata ile otomatik olarak yapılabilmesidir. Yapay sinir ağı tasarlanırken 16 girdi 4 çıktısı olan veri setleri kullanılmıştır. Veri setleri eğitim ve test verileri olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Çalışma sırasında birçok eğitim ve test verileri denenmiştir ve ek olarak ağın tek ara katman ya da çift ara katmanla daha iyi çalışacağını araştırılması için farklı denemeler yapılmıştır. Tüm bu denemeler sonucunda girdi ve çıktı verilerinin %20'sinin eğitim verileri ve %80'inin ise test verileri olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Bu seçim sonucunda YSA'nın maksimum verim ve minimum hata ile çalıştığı görülmüştür.

Çalışmanın sonucunda T model simülasyon ve üretim verilerinin birbiriyle uyumu gözlenmiştir. Dairesel model için ise simülasyon ve yapay sinir ağlarının çıktıları birbiriyle örtüşmektedir. Yapay sinir ağı çalışmanın başında hedeflendiği gibi simülasyon programlarında yapılan tasarımları otomatik bir şekilde yardım almadan ve minimum hata ile simülasyonlar ile uyumlu iyi sonuçlar vermiştir.

KAYNAKLAR

1. Konakyeri, E. (2010). Metamalzeme kaplı iletken cisimden saçılan alanı en aza indiren parametrik değerlerin matematiksel bir yöntem ile hesaplanması. (*PhD thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*)
2. Smith, D.R., Pendry, J. B., Wiltshire, M.C.K. (2004). Metamaterials and negative refractive index. *Science*, 305, 788-792
3. Papaioannou, M., Plum, E., Zheludev, I.N. (2017). All-Optical pattern recognition and image processing on a metamaterial beam splitter. *ACS photonics*, 4, 217–222
4. Schurig, D., Mock, J.J., Justice, B.J., Cummer, S.A., Pendry, J.B., Starr, A.F., Smith, D.R. (2006). Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies. *Science*, 314, 977-980
5. Wu, B.I., Wang, W., Pacheco, J., Chen, X., Grzegorzcyk, T., Kong, J.A. (2005). A study of using metamaterials as antenna substrate to enhance gain, *Progress in Electromagnetics Research*, 51, 295- 328
6. Çıngı, A. (2018). Mikrodalga uygulamaları için mükemmel metamalzeme sinyal emici tasarımı. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 438-442.
7. Chen, K., Cui, L., Feng, Y., Zhao, J., Jiang, T., Zhu, B. (2017). Coding metasurface for broadband microwave scattering reduction with optical transparency. *Optic Express*, 25(5), 5571-5579.
8. Yang, H., Cao, X., Yang, F., Gao, J., Xu, S., Li, M., Chen, X., Zao, Y., Zheng, Y., Li, S. (2016). A programmable metasurface with dynamic polarization, scattering and focusing control. *Scientific reports*, 6, 35692.
9. Öztürk, M., Sevim, U.K., Akgöl, O., Karaaslan, M., Ünal, E.(2019). An electromagnetic non-destructive approach to determine dispersion and orientation of fiber reinforced concretes. *Measurement*, 138, 356-367.
10. Akgöl, O., Ünal, E., Bağmancı, M., Karaaslan, M., Sevim, U. K., Öztürk, M., Bhadauria, A. (2019). A nondestructive method for determining fiber content and fiber ratio in concretes using a metamaterial sensor based on a v-shaped resonator. *Journal of Electronic Materials*, 48(4), 2469-2481.
11. Wu, H., Liu, S., Wan, X., Zhang, L., Wang, D., Li, L., Cui, T. J. (2017). Controlling energy radiations of electromagnetic waves via frequency coding metamaterials. *Advanced Science*, 4(9), 1700098.

12. Han, B., Han, Z., Qin, J., Wang, Y., Zhao, Z. (2019). A sensitive and selective terahertz sensor for the fingerprint detection of lactose. *Talanta*, 192, 1-5.
13. Tamer, A., Alkurt, F. Ö., Altıntaş, O., Karaaslan, M., Ünal, E., Akgöl, O., Karadağ, F., Sabah, C. (2018). Transmission line integrated metamaterial based liquid sensor. *Journal of The Electrochemical Society*, 165(7), B251-B257.
14. Akgöl, O., Ünal, E., Altıntaş, O., Karaaslan, M., Karadağ, F., Sabah, C. (2018). Design of metasurface polarization converter from linearly polarized signal to circularly polarized signal. *Optik*, 161, 12-19.
15. Akgöl, O., Altıntaş, O., Dalkılıç, E. E., Ünal, E., Karaaslan, M., Sabah, C. (2017). Metamaterial absorber-based multisensor applications using a meander-line resonator. *Optical Engineering*, 56(8), 087.104.
16. Ashyap, A. Y. I., Abidin, Z. Z., Dahlan, S. H., Majid, H. A., Saleh, G. (2018). Metamaterial inspired fabric antenna for wearable applications. *International of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 29(3), e21640.
17. Divakaran, S. K., Krishna, D. D., Naismuddin. (2018). RF energy harvesting systems: an overview and design issues. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 29(1), e21633.
18. Bakır, M., Karaaslan, M., Ünal, E., Karadağ, F., Alkurt, F. Ö., Altıntaş, O., Dalgaç, Ş., Sabah, C. (2018). Microfluidic and fuel adulteration sensing by using chiral metamaterial sensor. *Journal of The Electrochemical Society*, 165(11), B475-B483.
19. Danaeifar, M., Kamyab, M., Jafarholi, A. (2012). Broadband cloaking with transmission-line networks and metamaterial. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 22(6), 663-668.
20. Turpin, J. P., Bossard, J. A., Morgan, K. L., Werner, D. H., Werner, P. L. (2014). Reconfigurable and tunable metamaterials: a review of the theory and applications. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2014.
21. Liu, S., Zhang, H. C., Zhang, L., Yang, Q.L., Xu, Q., Gu, J., Yang, X. Y., Han, J., Cheng, Q., Zhang, W., Cui, T. J. (2017). Full-state controls of terahertz waves using tensor coding metasurfaces. *ACS applied materials & interfaces*, 9(25), 21503-21514.
22. Glybovski, S. B., Tretyakov, S. A., Belov, P. A., Kivshar, Y. S., Simovski, C. R. (2016). Metasurfaces: from microwaves to visible. *Physics reports*, 634, 1-72.

23. Zhang, F., Zhao, Q., Zhang, W., Sun, J., Zhou, J., Lippens, D. (2010). Voltage tunable short wire-pair type of metamaterial in filtrated by nematic liquid crystal. *Applied Physics Letters*, 97(13), 134103.
24. Zhu, B., Feng, Y., Zhao, J., Huang, C., Jiang, T. (2010). Switchable metamaterial reflector/absorber for different polarized electromagnetic waves. *Applied Physics Letters*, 97(5), 051906.
25. Li, Y. B., Li, L. L., Xu, B. B., Wu, W., Wu, R. Y., Wan, X., Cheng, Q., Cui, T. J. (2016). Transmission-type 2-bit programmable metasurface for single-sensor and single-frequency microwave imaging. *Scientific Reports*, 6, 23731.
26. Cui, T. J. (2017). Microwave metamaterials-from passive to digital and programmable controls of electromagnetic waves. *Journal of Optics*, 19(8), 084004.
27. Karvounis, A., Gholipour, B., MacDonald, K. F., Zheludev, N. I. (2016). All-dielectric phase-change reconfigurable metasurface. *Applied Physics Letters*, 109(5), 051103.
28. Zhou, Y., Cao, X., Gao, J., Yang, H., Li, S. (2018). Reconfigurable metasurface for multiple functions: magnitude, polarization and phase modulation. *Optics express*, 26(22), 29451-29459.
29. Huang, C., Zhang, C., Yang, J., Sun, B., Zhao, B., Luo, X. (2017). Reconfigurable metasurface for multifunctional control of electromagnetic waves. *Advanced Optical Materials*, 5(22), 1700485.
30. Zheng, Q., Li, Y., Pang, Y., Wang, J., Chen, H., Qu, S., Feng, M., Zhang, J. (2019). Wideband coding metasurfaces based on low Q resonators. *Optics Communications*, 430, 189-194.
31. Zhang, X. G., Tang, W. X., Jiang, W. X., Bai, G. D., Tang, J., Bai, L., Qui C. W., Cui, T. J. (2018). Light-controllable digital coding metasurfaces. *Advanced Science*, 5(11), 1801028
32. Chen, K., Feng, Y., Yang, Z., Cui, L., Zhao, J., Zhu, B., Jiang, T. (2016). Geometric phase coded metasurface: from polarization dependent directive electromagnetic wave scattering to diffusion-like scattering. *Scientific Reports*, 6, 35968.

33. Cui, T. J., Qi, M. Q., Wan, X., Zhao, J., Cheng, Q. (2014). Coding metamaterials, digital metamaterials and programmable metamaterials. *Light: Science & Applications*, 3(10), e218
34. Yang, H. H., Xu, L. M., Yang, F., Cao, X. Y., Xu, S. H., Gao, J., Li, S. J. (2017). Phase quantization effects of coded metasurface on agile scattering field control. *Microwave and Optical Technology Letters*, 59(3), 738-743
35. Zhu, B., Feng, Y., Zhao, J., Huang, C., Jiang, T. (2010). Switchable metamaterial reflector/absorber for different polarized electromagnetic waves. *Applied Physics Letters*, 97(5), 051906.
36. Liu, F., Ptilakis, A., Mirmoosa, M. S., Tsilipakos, O., Wang, X., Tasolamprou, A. C., Abadal, S., Aparicio, A. C., Alarcon, E., Liaskos, C., Kantartzis, N. V., Kafesaki, M., Economou, E. N., Soukoulis, C. M., Tretyakov, S. (2018). Programmable Metasurfaces: State of the art and Prospects. *2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) (pp. 1-5). IEEE.*
37. Wu, Q., Cheng, Y., Li, X., Wang, H. (2018). Beam synthesis with low-bit reflective coding metamaterial antenna: theoretical and experimental results. *International Journal of Antennas and Propagation.*
38. Li, Y. B., Wan, X., Cai, B. G., Cheng, Q., Cui, T. J. (2014). Frequency-controls of electromagnetic multi-beam scanning by metasurfaces. *Scientific reports*, 4, 6921.
39. Zhao, J., Yang, X., Dai, J. Y., Cheng, Q., Li, X., Qi, N. H., Ke, J. C., Bai, G. D., Liu, S., Jin, S., Alù, A., Cui, T. J. (2018). Programmable time-domain digital coding metasurface for nonlinear harmonic manipulation and new wireless communication systems. *National Science Review.*
40. Ünal, E., Altıntarla, G. (2019). Smart monopole antenna with pattern and frequency reconfiguration characteristics based on programmable metasurface. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, e21805.
41. Fırat, M., Güngör, M. (2004). Askı Madde Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. *Teknik Dergi*, 15(73).
42. Basheer, I. A., Hajmeer, M. (2000). Artificial neural networks: fundamentals, computing, design and application. *Journal of microbiological methods*, 43(1), 3-31.
43. Charalambous, C. (1992). Conjugate gradient algorithm for efficient training of artificial neural networks. *IEE Proceedings G (Circuits, Devices and Systems)*, 139(3), 301-310.

44. Zamanlooy, B., Mirhassani, M. (2013). Efficient VLSI implementation of neural networks with hyperbolic tangent activation function. *IEEE Transactions on Very Large Scale Intergration (VLSI) Systems*, 22(1) ,39-48.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALTINTARLA, Gizem
 Uyuđu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 30.10.1993, Adana
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : -
 e-mail : gizemaltintarla@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	2019
Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği	2016
Lise	Şehit Temel Cingöz Lisesi / Adana	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
-	-	-

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Ünal, E., Altıntarla, G. (2019). Smart monopole antenna with pattern and frequency reconfiguration characteristics based on programmable metasurface. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, e21805.

Hobiler

Dans, Spor

DİZİN

A

Açı genişliği · 15, 17, 19

ağ · 7

Aktivasyon fonksiyonu · 8

algoritma · 1, 6, 73

Ana lob ışırma büyüklüğü · 25, 28, 31, 33, 37, 39, 41,

43, 47, 49, 76, 77, 78, 79, 80

anten · iv, xvi, 1, 4, 5, 11, 12, 44, 82

Ara Katman · 7

B

bant genişliği · 14, 16

Birleştirme fonksiyonu · vii, 8

Ç

çıktı · 6

Çıktı Katmanı · 7

D

dielektrik sabiti · iv

düşey polarize · 5

F

FR4 · 12

G

girdi · 7

Girdi Katmanı · 7

girdiler · 1

I

ışırma yönü · iv

İ

İleri beslemeli yapay sinir ağı · 2

K

kazanç · iv, 12, 69

M

mantar yapılar · iv

manyetik geçirgenliği · iv

MAPE · 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80

Metamalzeme · iv, xvii, 84

metayüzey · iv, xiii, 1, 2, 3, 4, 10, 12, 27, 29, 35, 36, 39,

41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 52, 53, 54, 57, 59, 61,

62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 82

monopol anten · 1

Monopol anten · xi, xvi, 5, 10, 13, 14, 15

N

network · v, 7

Newff · 73, 74

nöron · 75, 76, 77, 78, 79, 80

Nöron · 7

O

omnidirectional · 5

P

patern · 1

R

radyasyon yayılımı · xi

rezonans frekansı · 16

Rubber ducky antenler · vii

S

S11 · iv, xi, xii, xiii, xiv, xv, 1, 10, 13, 14, 16, 19, 20, 21,
22, 24, 25, 27, 30, 31, 33, 35, 36, 38, 39, 41, 42, 43,
47, 48, 50, 51, 53, 55, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 82

Sigmoid fonksiyonu · 8, 9

Sim · 73

simülasyon · xi, 1, 14, 17, 74, 82, 83

sinaps · 1, 6

T

T model · iv, xi, xii, xiii, 1, 10, 12, 16, 17, 18, 19, 21, 22,
23, 24, 25, 26, 27, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39,
40, 41, 42, 43, 44, 82, 83

Tanjant hiperbolik fonksiyonu · 9

Train · 73

V

via · xi, xiii, xiv, 12, 13, 44, 45, 46, 47, 48, 82

W

Whip antenler · vii

Y

yan lobların ışınma büyüklüğü · 25, 28, 31, 34

Yapay sinir ağları · iv, 1, 6, 8, 72

yönlülük · 12, 15, 17, 19, 46

YSA · viii, ix, xi, xvi, xvii, 6, 7, 8, 69, 70, 71, 73, 74, 75,
78, 79, 80, 81, 83

yüzey akım · xi, xii, xiii, xiv, xv, 15, 18, 19, 20, 23, 24,
26, 29, 32, 34, 37, 38, 40, 42, 43, 44, 48, 49, 50, 52,
54, 56, 57, 59, 61, 63, 65, 67, 69



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

