

T.C.
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T-ŞEKİLLİ FREKANS SEÇİCİ YÜZEYLERİN ÇOK BANTLI FİLTRE VE
SOĞURUCU UYGULAMALARI

KÜRŞAD GÜLER

DANIŞMAN: DOÇ. DR. KEMAL DELİHACIOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

EYLÜL 2018

KİLİS

TEZ ONAYI

Doç. Dr. Kemal DELİHACIOĞLU danışmalığında, Kürşad GÜLER tarafından hazırlanan “**T-Şekilli Frekans Seçici Yüzeylerin Çok Bantlı Filtre ve Soğurucu Uygulamaları**” adlı tez çalışması 07/09/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Üyeler	Unvanı, Adı Soyadı (Kurumu)	İmza
Başkan	Prof. Dr. Ömer Faruk FARSAKOĞLU (Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD)	
Üye	Prof. Dr. Uğur Cem HASAR (Gaziantep Üniversitesi / Elektrik ve Elektronik Mühendisliği A.B.D.)	
Üye	Doç. Dr. Kemal DELİHACIOĞLU (Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD)	

Bu tezin kabulü, Fen bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../2018 tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Tez No:

Dr. Öğr. Üyesi Hülya DEDE
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

T-ŞEKİLLİ FREKANS SEÇİCİ YÜZEYLERİN ÇOK BANTLI FİLTRE VE SOĞURUCU UYGULAMALARI

Kürşad GÜLER

Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kemal DELİHACIOĞLU

Yıl: 2018, Sayfa: 98

Bu çalışmada, dielektrik levha üzerinde periyodik yerleştirilen T-şekilli bakır iletkenlerden oluşan periyodik yapıların Frekans Seçici Yüzey (FSY)'lerin filtre ve soğurucu tasarımları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. T-şekilli FSY'lerin saçılma karakteristikleri Computer Simulation Technology Microwave Studio (CST MWS) simülasyon programı kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçların doğruluğu; yapıların deneysel olarak Vektör Network Analizör (VNA) cihazı ile test edilmesiyle de ispat edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre şekil geometrisini simetrik olarak değiştirdiğimiz zaman sonuç değişimi de benzer şekilde değişmektedir. Böylece ihtiyacımız olan bant filtrelerini çalışma frekansını ayarlayarak yapabiliriz. Bu çalışmadan hareketle yüksek frekans uygulama alanlarında özellikle askeri savunma sanayisinde kullanılan anti-radar sistemlerini tasarlamak daha kolay hale gelirken; bunun dışında kablosuz haberleşme sistemlerinde, sistemin çalışmasını etkileyecek parazit sinyallerin elenerek sistemin daha sağlıklı çalışması sağlanabilir.

Anahtar Kelimeler: T-şekilli, yansıma, iletim, soğurma, filtre, frekans seçici yüzey

ABSTRACT

MSc. Thesis

T-SHAPED FREQUENCY SELECTIVE SURFACES OF MULTI-BAND FILTER AND ABSORBING APPLICATIONS

Kürşad GÜLER

Kilis 7 Aralık University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Electronic Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kemal DELİHACIOĞLU

Year: 2018, Page: 98

In this study, the filter and absorber designs of Frequency Selective Surface (FSS) comprised of periodic structures of T-shaped copper plates is investigated. The scattering characteristics of the T-shaped FSS are obtained by using the Computer Simulation Technology Microwave Studio (CST MWS) simulation program. The correctness of the results; It has also been proven by testing the structures experimentally with the Vector Network Analyzer (VNA) device. Thus, with reference to obtained results, the change in symmetrical shape geometry results in a linearly shift in scattering coefficients. So the interested filters can be carried out by setting the frequency of operation. Especially it can be used in simple designing of anti-radar system used in military defense industry. On the other hand, it provides more profitable running system to eliminate unwanted signals like parasites in wireless communication systems.

Keywords: T-shaped, reflection, transmission, absorption, filter, frequency selective surface

TEŐEKKÖR

Bu tez çalıőması sűresince benden yardımlarını ve desteęini hiç esirgemeyen tez danıőmanım Doç. Dr. Kemal DELİHACIOęLU hocama teőekkűrű bir borç bilirim.

Kűrőad GŪLER

Kilis, Eylűl 2018



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
RESİMLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Önemi ve Amacı.....	1
1.2. Önceki Çalışmalar.....	2
1.3. Materyal ve Metot.....	4
2. FSY YAPILARININ TASARIMI	6
2.1. Deneysel Uygulama Aşamaları	6
2.2. Tasarımların Simüle Edilmesi	10
2.3. T1-FSY Yapısı.....	10
2.3.1. T1-FSY Yapısının Geometrisi	10
2.3.2. T1-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları.....	10
2.3.3. T1-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve Yüzey Akım	16
2.3.4. T1-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği.....	16
2.3.5. T1-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması.....	18
2.4. T2-FSY Yapısı.....	20
2.4.1. T2-FSY Yapısının Geometrisi	20
2.4.2. T2-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları.....	20
2.4.3. T2-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve Yüzey Akım	26

2.4.4.	T2-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği.....	26
2.4.5.	T2-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması.....	29
2.5.	T3-FSY Yapısı.....	30
2.5.1.	T3-FSY Yapısının Geometrisi	30
2.5.2.	T3-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları.....	30
2.5.3.	T3-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve Yüzey Akım	36
2.5.4.	T3-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği.....	37
2.5.5.	T3-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması.....	39
2.6.	T4-FSY Yapısı.....	40
2.6.1.	T4-FSY Yapısının Geometrisi	40
2.6.2.	T4-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları.....	40
2.6.3.	T4-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve Yüzey Akım	46
2.6.4.	T4-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği.....	47
2.6.5.	T4-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması.....	49
2.7.	T5-FSY Yapısı.....	50
2.7.1.	T5-FSY Yapısının Geometrisi	50
2.7.2.	T5-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları.....	50
2.7.3.	T5-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve Yüzey Akım	56
2.7.4.	T5-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği.....	57
2.7.5.	T5-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması.....	59
2.8.	T6-FSY Yapısı.....	60
2.8.1.	T6-FSY Yapısının Geometrisi	60
2.8.2.	T6-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları.....	60

2.8.3.	T6-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve Yüzey Akım	66
2.8.4.	T6-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği.....	67
2.8.5.	T6-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması.....	69
2.9.	T7-FSY Yapısı.....	70
2.9.1.	T7-FSY Yapısının Geometrisi	70
2.9.2.	T7-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları.....	70
2.9.3.	T7-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve Yüzey Akım	76
2.9.4.	T7-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği.....	77
2.9.5.	T7-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması.....	79
2.10.	Elektrik Alan, Manyetik Alan ve Yüzey Akımları	80
2.11.	Elektromanyetik Dalgaların Soğurulması.....	81
2.12.	Deneysel ve Simülasyon Sonuçlarının Kıyaslanması.....	82
2.12.1.	Deneysel Çalışmalar	82
2.12.2.	Sonuçların Kıyaslanması	83
3.	H-ŞEKİLLİ FREKANS SEÇİCİ YÜZEY İLE FİLTRE VE SOĞURUCU TASARIMI	87
3.1.	Giriş	87
3.2.	Şeklin Tasarımı	88
3.3.	Şeklin Simüle Edilmesi.....	90
3.4.	Sonuç	92
4.	BULGULAR.....	93
5.	GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR	93
6.	SONUÇ VE TARTIŞMA	93
7.	KAYNAKLAR	95
8.	ÖZGEÇMİŞ	98

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

μm	Mikrometre
mm	Milimetre
dB	Desibel (1/10 Bell)
GHz	Gigahertz
MHz	Megahertz
ϵ_r	Dielektrik katsayısı

Kısaltmalar

FSY	Frekans Seçici Yüzey
TE	Transverse of Electric (Enine Elektrik Dalga)
TM	Transverse of Magnetic (Enine Manyetik Dalga)
S Parametre	Scattering Parametre (Saçılma Parametresi)
PTFE	Politetrafloroetilen
Df	Dissipation factor (Yayılm faktörü)
PCB	Printed Circuit Board (Baskı Devre Kartı)
CNC	Computer Numeric Control (Nümerik Bilgisayar Kontrolü)
WLAN	Wireless Local Area Network (Kablosuz Yerel Alan ağı)
CST MWS	Computer Simulation Technology Microwave Studio (Bilgisayar Simülasyon Teknolojisi Mikrodalga Stüdyo)
SCI	Science Citation Index (Bilim Alıntı Endeksi)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışma Planlama Diyagramı	5
Şekil 2.1. T-şekilli FSY kesit alanı	8
Şekil 2.2. Mikrodalga Bandı	8
Şekil 2.3. Hazırlanan yapıların VNA cihazındaki ölçümlerin basit şeması.....	9
Şekil 2.4. T1-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı.....	10
Şekil 2.5. T1-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TE Polarizasyonu	12
Şekil 2.6. T1-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TM Polarizasyonu	13
Şekil 2.7. T1-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu	14
Şekil 2.8. T1-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu	15
Şekil 2.9. T1-FSY Elektrik alan çizgileri.....	16
Şekil 2.10. T1-FSY Manyetik alan çizgileri	16
Şekil 2.11. T1-FSY Yüzey akım çizgileri.....	16
Şekil 2.12. T1-FSY Yapısının soğurma karakteristiği.....	17
Şekil 2.13. T1-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması.....	19
Şekil 2.14. T2-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı.....	20
Şekil 2.15. T2-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TE Polarizasyonu	22
Şekil 2.16. T2-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TM Polarizasyonu	23
Şekil 2.17. T2-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu	24
Şekil 2.18. T2-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu	25
Şekil 2.19. T2-FSY Elektrik alan çizgileri.....	26
Şekil 2.20. T2-FSY Manyetik alan çizgileri	26
Şekil 2.21. T2-FSY Yüzey akım çizgileri.....	26
Şekil 2.22. T2-FSY Yapısının soğurma karakteristiği.....	28
Şekil 2.23. T2-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması.....	29
Şekil 2.24. T3-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı.....	30
Şekil 2.25. T3-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TE Polarizasyonu	32

Şekil 2.26. T3-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TM Polarizasyonu	33
Şekil 2.27. T3-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu	34
Şekil 2.28. T3-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu	35
Şekil 2.29. T3-FSY Elektrik alan çizgileri.....	36
Şekil 2.30. T3-FSY Manyetik alan çizgileri	36
Şekil 2.31. T3-FSY Yüzey akım çizgileri.....	36
Şekil 2.32. T3-FSY Yapısının soğurma karakteristiği.....	38
Şekil 2.33. T3-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması.....	39
Şekil 2.34. T4-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı.....	40
Şekil 2.35. T4-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TE Polarizasyonu	42
Şekil 2.36. T4-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TM Polarizasyonu	43
Şekil 2.37. T4-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu	44
Şekil 2.38. T4-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu	45
Şekil 2.39. T4-FSY Elektrik alan çizgileri.....	46
Şekil 2.40. T4-FSY Manyetik alan çizgileri	46
Şekil 2.41. T4-FSY Yüzey akım çizgileri.....	46
Şekil 2.42. T4-FSY Yapısının soğurma karakteristiği.....	48
Şekil 2.43. T4-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması.....	49
Şekil 2.44. T5-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı.....	50
Şekil 2.45. T5-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TE Polarizasyonu	52
Şekil 2.46. T5-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TM Polarizasyonu	53
Şekil 2.47. T5-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu	54
Şekil 2.48. T5-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu	55
Şekil 2.49. T5-FSY Elektrik alan çizgileri.....	56
Şekil 2.50. T5-FSY Manyetik alan çizgileri	56
Şekil 2.51. T5-FSY Yüzey akım çizgileri.....	56
Şekil 2.52. T5-FSY Yapısının soğurma karakteristiği.....	58

Şekil 2.53. T5-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması.....	59
Şekil 2.54. T6-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı.....	60
Şekil 2.55. T6-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TE Polarizasyonu	62
Şekil 2.56. T6-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TM Polarizasyonu	63
Şekil 2.57. T6-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu	64
Şekil 2.58. T6-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu	65
Şekil 2.59. T6-FSY Elektrik alan çizgileri.....	66
Şekil 2.60. T6-FSY Manyetik alan çizgileri.....	66
Şekil 2.61. T6-FSY Yüzey akım çizgileri.....	66
Şekil 2.62. T6-FSY Yapısının soğurma karakteristiği.....	68
Şekil 2.63. T6-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması.....	69
Şekil 2.64. T7-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı.....	70
Şekil 2.65. T7-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TE Polarizasyonu	72
Şekil 2.66. T7-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TM Polarizasyonu	73
Şekil 2.67. T7-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu	74
Şekil 2.68. T7-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu	75
Şekil 2.69. T7-FSY Elektrik alan çizgileri.....	76
Şekil 2.70. T7-FSY Manyetik alan çizgileri.....	76
Şekil 2.71. T7-FSY Yüzey akım çizgileri.....	76
Şekil 2.72. T7-FSY Yapısının soğurma karakteristiği.....	78
Şekil 2.73. T7-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması.....	79
Şekil 2.74. T-şekilli FSY soğurucu kesit alanı	81
Şekil 2.75. T-Şekilli FSY yapılarının iletim katsayılarının TE-TM polarizasyonunda birbirleriyle kıyaslanması.....	84
Şekil 2.76. T-Şekilli FSY yapılarına ait soğurma karakteristiklerinin simülasyon ve deneysel olarak kıyaslanması.....	85
Şekil 2.77. T-Şekilli FSY yapılarına ait soğurma karakteristiklerinin parametrik olarak kıyaslanması.....	86

Şekil 3.1. Periyodik H-Şekli ve birim hücre	88
Şekil 3.2. H-Şekilli yapının yandan kesiti (a) FSS uygulaması (b) Soğurucu uygulaması	89
Şekil 3.3. Farklı x değerlerinde S11 parametresinin değişimi	90
Şekil 3.4. Farklı x değerlerinde S21 parametresinin değişimi	90
Şekil 3.5. H-Şekilli yapının soğurma frekansları.....	91
Şekil 3.6. Yüzey akımları	92



RESİMLER DİZİNİ

Resim 2.1. Deneysel Ayarlamalar: (a) Vektör Network Analizör kalibrasyonu (b) Uygun dalga kılavuzunun seçilmesi (c) T-şekilli yapılarının ayarlanması (d) T-şekilli yapıların test edilmesi..... 7

Resim 2.2. T-FSY Deneysel yapısı: (a) T1-FSY Deney Plakası (b) T2-FSY Deney Plakası (c) T3-FSY Deney Plakası (d) T4-FSY Deney Plakası (e) T5-FSY Deney Plakası (f) T6-FSY Deney Plakası (g) T6-FSY Deney Plakası..... 82



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Mikrodalga Harf Bandı Tanımları	9
Tablo 2.2. T1-FSY yapısındaki g parametresinin değişimine göre rezonans frekansları	11
Tablo 2.3. T1-FSY yapısının soğurma frekansları	17
Tablo 2.4. T2-FSY yapısındaki x parametresinin değişimine göre rezonans frekansları	21
Tablo 2.5. T2-FSY yapısının soğurma frekansları	27
Tablo 2.6. T3-FSY yapısındaki y parametresinin değişimine göre rezonans frekansları	31
Tablo 2.7. T3-FSY yapısının soğurma frekansları	37
Tablo 2.8. T4-FSY yapısındaki k parametresinin değişimine göre rezonans frekansları	41
Tablo 2.9. T4-FSY yapısının soğurma frekansları	47
Tablo 2.10. T5-FSY yapısındaki k parametresinin değişimine göre rezonans frekansları	51
Tablo 2.11. T5-FSY yapısının soğurma frekansları	57
Tablo 2.12. T6-FSY yapısındaki m parametresinin değişimine göre rezonans frekansları	61
Tablo 2.13. T6-FSY yapısının soğurma frekansları	67
Tablo 2.14. T7-FSY yapısındaki m parametresinin değişimine göre rezonans frekansları	71
Tablo 2.15. T7-FSY yapısının soğurma frekansları	77

1. GİRİŞ

1.1. Araştırmanın Önemi ve Amacı

Periyodik yapılar temel anlamda iki şekilde uyarılır. Pasif dizide gelen düzlemsel bir dalga ile, aktif dizide her elemana bağlanmış birer üreteç ile uyarılma gerçekleştirilir. Kullanım amacına göre belirli bir frekans bandını soğuran veya yansıtan pasif dizilere Frekans Seçici Yüzey (FSY) denir. Aynı zamanda dielektrik ortam üzerine yerleştirilmiş periyodik metal yama ve açıklık dizileri, elektromanyetik dalgalara karşı frekans seçici yüzey özelliği gösterir. FSY yapılar, yansıma ve iletim karakteristiklerini gelen elektromanyetik dalganın frekansına bağlı olarak değiştirirler. Bu özellikleri sayesinde FSY yapıları, istenilen frekanstaki dalgaları geçiren ve durdurulması istenen dalgaları geçirmeyen, elektromanyetik dalgalar için filtre gibi çalışırlar.

FSY özellikle haberleşmede, mikrodalga entegre devrelerde ve antenlerde kullanılmaktadır. FSY'nin yansıma ve iletim karakteristiği; kullanılan malzemelerin cinsine, katman kalınlığına, düzlemsel dalganın geliş açısına ve polarizasyonuna, katmanlar üzerine yerleştirilen metalik yamaların boyutları, geometrisi ile periyodik yerleşimi ve simetri ekseninin konumuna göre değişmektedir. Katman yapısında, örneğin; ferromanyetik malzemeler kullanılarak yapının iletim ve yansıma karakteristiği, kullanım sırasında da değiştirilebilmektedir.

FSY'de yansıma ve iletim katsayıları frekansa göre değişmekte ve bir mikrodalga frekansında tamamen yansıtıcı özellik gösterirken, başka bir frekansta tamamen geçirgen özellik gösterebilmektedir. Periyodik metal iletkenlerden oluşan FSY'ler, Elektromanyetik filtre ya da polarizasyon dönüştürücü gibi davranmaktadır. FSY'ler başta anten ve mikrodalga alanlarında olmak üzere çok bantlı mikrodalga antenlerde, hibrid radomlarda, yansıtıcı antenlerde, bant durduran ya da bant geçiren filtre tasarımlarında, medikal uygulamalarda vb. çok sayıda uygulama alanları mevcuttur

Bu bulgular literatürce sabittir. Çalışma kapsamında daha önce yapılmamış T şekilli metal elemanlar kullanılarak bir frekans seçici yüzey uygulaması yapılarak, T şekilli metal elemanların büyüklükleri ve konumları değiştirilerek frekans seçici yüzey karakteristiği ayarlanmıştır. Bu çalışmanın ana amacı özgün, kolay fabrikasyon özellikli ve yüksek hassasiyet özelliklerine sahiptir.

FSY ile oluşturulan periyodik yapının band durduran filtre ve soğurucu özellikleri hem simülasyon hem de deneysel olarak gösterilmiştir. Uygulama olarak bu yapı bize özellikle elektronik harp başta olmak üzere birçok askeri alanda radar ara kesitlerinin minimuma indirilerek ya fark edilemeyecek kadar küçük ya da hiç fark edilmeyen yapıları mümkün kılmaktadır. Görünmezlik (stealth) teknolojisi olarak adlandırabileceğimiz bu teknikler gerek büyük boyutlu zırhlı araçlara gerekse tekstil ürünü şeklinde tasarlanıp bireysel uygulamalarda anti-radar uygulamalarını bir adım daha kolaylaştırmaktadır. Bir diğer uygulama alanı olarak kablosuz haberleşme sistemlerinde, sistemin çalışmasını etkileyecek parazit sinyallerin elenerek sistemin daha verimli çalışması sağlanabilir.

1.2. Önceki Çalışmalar

Frekans Seçici Yüzeyle ilgili literatürde aşağıda belirtilen çalışmalar yapılmıştır. Tekli, ikili ve dördü metal elementlerden oluşan U şekilli yapıların deneysel ve nümerik olarak soğurucu ve sensor uygulamaları ve sensor yapısındaki uygulamalarda 800 MHz bant genişliği farklı malzemelerin algılandığını göstermiştir. Böyle bir uygulama gıda ve tarım endüstrisinde çalışmayı uygun kılmaktadır [1]. Ultra geniş bant ve çok bantlı yeniden yapılandırılabilen frekans seçici yüzey uygulaması olarak 10x10 mm ve 1.6mm ölçülere sahip FR4 malzeme substrat olarak kullanılmıştır. Gömülü diyotların uygun şekilde yerleştirilmesi ve hepsinin aynı anda iletimdeki durumları ve kesimdeki durumlarının UWB frekanslarını ve WiMAX, WLAN ve Ku-bantlarındaki filtrelenmelerini açıklamaktadır [2]. Frekans seçici yüzeyde üç katman ultra ince soğurucu radar yapısının geniş bant tasarımı ve üretimi ile ilgili çalışma, EW ve parça karbonil demir tozu kullanılarak üretilen silikon kauçuk manyetik dizi alt ve üst katmanında kullanılmıştır ve 2-18 GHz arası frekanslarda ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucu Soğurucu radar yapısı 10 dB ve 4,8 GHz ile 18 GHz arasında 13,2 GHz bant genişliğine sahip bandı soğurduğu yapının kalınlığının artırılmasıyla C-bandı, X-bandı ve Ku-bandında iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir [3]. Kare döngü frekans seçici yüzey, topraklanmış dielektrik substrat yapısı kullanılarak geniş bant aralığına sahip mikrodalga soğurucu çalışması, topraklanmış substratın giriş empedansının paralel devre kombinasyonu ve kare döngü frekans seçici yüzeyin kompleks empedansı kullanılarak geniş frekans aralığında ki eşleşme ile sağlanmıştır. Kare döngü frekans seçici yüzeye ait indüktans (L) ve kapasitans (C) eşdeğer devre modelinden hesaplanmıştır ve bu değerler

yapının geometrisine bağlıdır. Eşdeğer L-C devresinin rezonans frekansındaki reaktans ve suseptansından indüktans ve kapasitansı hesaplanabilir. Bununla birlikte giriş empadansı düşük frekanslarda indüktif, yüksek frekanslarda kapasitif özellik göstermektedir. Bu iki indüktansın eşleşmesinden kontrollü bir frekans seçici yüzey elde edilebilir [4]. Geniş bant anten ileti dizisi tasarımının duyarsız kutuplu frekans seçici yüzey olarak kullanılması, iki geniş bandın istenilen faz tepkisi ve genliğe karşı iletim performansları değerlendirilmiştir. İki küçük geniş bant ileti dizisi anteni açıklığı (20cm x 20cm) radyasyon karakteristiklerini birbiriyle kıyaslamak için tasarlanmıştır. İletim kutuplu kapalı döngü frekans seçici yüzey uygulamalı çalışmada, simülasyonlarda ilk ve ikinci şekil için açıklığın maksimum verimi (%38,4 ile %36,7 arası), -1dB ve -2dB bant genişliği kazancında (%13,5 ile %11,8 arası) ve (%16,8 ile %19,75 arası) sonuçlar elde edilmiştir. Ölçümlerde ise bu sonuçlar sırasıyla %34,6 ve -1dB ve -2dB bant genişliği kazancında (%10,2 ile %14,83 arası) olarak elde edilmiştir [5]. Kapalı döngü iletim kutuplu frekans seçici yüzey modellemesi ve analizinde iki çift ortogonal kare halka alt ve üst katman olarak birbirinden ayrılarak 4 PCB via dizisi ile bağlantıları yapılmıştır ve frekans seçici yüzey hücreleri bu şekilde oluşturulmuştur. Eşdeğer devre modeli fiziksel yapının nasıl davranması gerektiği hakkında fikir vermektedir. İletim kutbu frekans seçici yüzeylerde keskin frekans seçimini arttırmak için kullanılabilir. Ölçülen sonuçlar ile simülasyon sonuçları birbiriyle tutarlı olduğu görülmüştür [6]. VHF bandında ultra küçültülmüş frekans seçici yüzeylerin uygulanmasında iç içe dipolden oluşan ultra küçültülmüş frekans seçici yüzey elemanı dielektrik substrat üzerine baskı ile yapılmıştır. Simulasyon sonuçlarından $0,0016\lambda \times 0,0016\lambda$ ölçülerinde hücre büyüklüğü ve $0,0008\lambda$ frekans seçici yüzey kalınlığı olacak şekilde küçültülmüştür. Ultra minyatürize boyutlu olması sebebiyle frekans seçici yüzey sabit açıda hem TE hem de TM kutuplaşmada mükemmel sonuç sergiler. Ayrıca geniş bant performansı normal şartlar altında %73,5 bant genişliğinde elde edilmiştir [7]. Mikrodalga soğurucular için rezistif yük baskısı yapan inkjet yazıcı; rezistif yüklü, arkasına metal plaka yerleştirilmiş ve radar geri saçılımını önleyen frekans seçici yüzey elemanını oluşturmak için kullanılmıştır. Yüzey direncinin $1,2-200 \Omega/\text{kare}$ aralığında seçmek için nano gümüş (Ag) parçacıklar taşıyan çözeltili ile nokta yoğunluğu ve hacmi ayarlanarak baskı yapılabilir [8]. Çift bantlı açıdan bağımsız yakın aralıklı frekans tepkili frekans seçici yüzey ikili rezonans sağlayan parçanın dallanmasıyla çarpık yapılı çapraz geometri benzetimli tek katmanlı birim

hücrelerden oluşmaktadır. Frekans seçici yüzey yapısı S bant uygulamaları için 2,54GHz ve 3,54GHz aralığında bant durduran filtre gibi özellik göstermektedir. Aynı zamanda açılabilir stabilite konusunda da son derece kararlı davranmaktadır. Çalışmada simülasyon sonuçları deneysel sonuçlar ile kıyaslanmaktadır [9]. Işın anahtarlama uygulaması için silindirik slotlu frekans seçici yüzey uygulamasında anten sistemi çok yönlü tek kutuplu antenlerden oluşmaktadır ve bu yapı anahtarlama slot dizisinde yeni bir teknik sağlanmıştır. Yapı, her bir 30°'lik silindir parçası için 12 sütun ve 8 slottan oluşmaktadır. Yönlendirme yapabilmek için ışın anten üzerindeki diyotlar iletimde ya da kesimde durumlarına getirilerek slot sayısı anten radyasyon örneklerine göre ayarlanır. Üretilen prototip dar-ışın ve geniş-ışın çalışma modları olmak üzere WLAN bandında 2,45GHz merkezli frekansta çalışır. Simülasyon ve ölçümler birbiriyle uyumlu şekilde karşılaştırılacak sonuçlar ortaya koymuştur [10].

1.3. Materyal ve Metot

Frekans Seçici Yüzeyin filtre ve soğurucu tasarımları periyodik yapılardan oluşmaktadır. T-şekilli bakır elemanlar lamine Neltec NX-9250 substrat plaketer üzerine periyodik olarak dizilmektedir. T-şekilli FSY elemanlarının yansıma, iletim ve soğurma gibi saçılma katsayıları simülasyon üzerinde incelenmiştir. Böylece, elde edilen sonuçlara referansla, simetrik şekil geometrisindeki değişim, saçılma katsayılarındaki kaymalar kıyaslanmıştır. Bu sistem tasarımı bize, elektrik ve manyetik alanların nasıl etkileneceğini ve ayrıca T-şekilli tasarım gibi laminantlara dik olarak gelen dalgaların soğurumunu gösterir. Bu nedenle, ilgili filtreler, çalışma frekansını ayarlayarak gerçekleştirilebilir. Özellikle askeri savunma sanayinde kullanılan anti-radar sisteminin basit tasarımında kullanılabilir. Öte yandan, kablosuz iletişim sistemlerinde parazitler gibi istenmeyen sinyalleri ortadan kaldırmak için daha karlı bir çalışma sistemi sağlar.

Ayrıca T şekilli elemanlar öncelikli olarak CST Microwave Studio Programı kullanılarak tasarlanıp, gerekli optimizasyon işlemleri program üzerinde yapıldıktan sonra, en uygun yapılar seçilmiştir. Daha sonraki çalışmalarda Neltec NX-9250 ile elde edilen sonuçlardan en uygun olanı imalat için hazırlanmıştır. İmalat işlemi üç eksen gravür CNC makinası üzerinde bakır plakanın istenilen geometrideki şekillerin üzerine kazınması ile oluşturulmuştur. İmalat işleminden sonra test işlemi gerçekleştirilmiştir. Nümerik sonuçların deneysel olarak doğrulanması, İskenderun Teknik Üniversitesi, Elektrik

Elektronik Mühendisliği bölümünde yer alan Agilent Technologies PNA-L N5234A Vektör Network Analizörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.1’de yapılan çalışmanın planlaması ve iş akışı görülmektedir.



Şekil 1.1. Çalışma Planlama Diyagramı

Adım 1. T şekilli FSY Yapılarının CST MWS' de tasarımı: T şekilli FSY yapılarının tasarımı için CST MWS programı kullanılarak uygun frekans bandında FSY tasarımı yapılmıştır. CST MWS’ de T şekilli FSY yapılarının boyut ve konumları değiştirilerek frekans bandı ayarlanmıştır.

Adım 2. En uygun tasarım elde edildikten sonra S_{11} , S_{21} , elektrik alan, manyetik alan vs. gibi FSY karakteristiklerinin simülasyon sonuçları çıkarılmıştır. Optimum sonuç için simülasyon programı üzerinde genetik algoritmalar kullanılmıştır. Aynı çalışmalar tasarlanan tüm yapılar için uygulanmıştır.

Adım 3. Simülasyon çalışmaları yapılan Adım 2.’de elde edilen bulgular hedeflenen performans değerleri ve mevcut bulgular ile karşılaştırılıp değerlendirme yapılmıştır. Adım 2. ile koordineli optimizasyon çalışmalarının değerlendirilmesi ve optimizasyon yapılması gerçekleştirilmiştir.

Adım 4. Bu adıma başlandığında Adım 1. 2. ve 3 de tamamlanmış olacağı için üretilecek FSY’lerin tasarım ve simülasyon çalışmaları da bitmiştir. Artık bu adımda simülasyon sonuçları ile hedeflenen performans değerlerine ulaşmış FSY üretimleri

gerçekleştirilmiştir. Üretimleri gerçekleştirilen FSY'lerin Adım 5.' e geçmeden önce karakteristik değerlerinin ölçümlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde yer alan Vektör network analizörü kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Adım 5. Bu adım çalışmanın son aşamasıdır. Üretilmiş olan FSY yapılarının simülasyon ve deneysel tüm bulguları elde edilmiştir. Bu sonuçlar karşılaştırılarak ve deneysel-simülasyon sonuçlarının örtüşme oranı belirlenmiştir. Bu da FSY'lerin performansının belirlenmesinde etkin rolü üstlenmiştir.

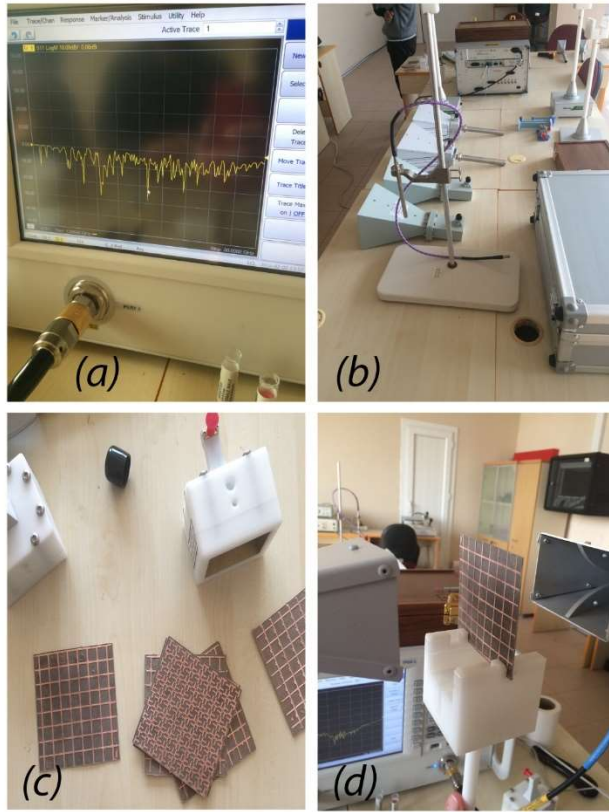
2. FSY YAPILARININ TASARIMI

Bu çalışmada verilen bütün tasarımlar aynı özelliklere sahiptir. Lamine edilmiş ve Neltec NX-9250 malzeme (N9000 PTFE Serisi-Politetrafloroetilen) olarak adlandırılan temel T-şekilli bakır elemanlı tasarımlar, kritik mikrodalga bileşenleri, antenler, güç amplifikatörleri ve alt montajlar için tasarlanmıştır. Üstün mekanik ve elektrik performansı, N9000 PTFE laminant sistemini en düşük kayıp, yüksek frekanslı uygulamalar için tercih edilen malzeme haline getirir. Anten ve yüksek güç tasarımlarında azaltılmış pasif intermodülasyonu mümkün kılar. Diğer PTFE laminatlara göre %25'e kadar daha iyi -155 dBc'den daha düşük iki ton pasif intermodülasyon performansı sunar, bu da mevcut diğer PTFE malzemelerinden genellikle 8-20 dB daha düşüktür. 10 GHz frekans referansı ve 0,0017 kayıp tanjantı (Df-yayımlı faktörü) ile $\epsilon_r = 2.5$ (ϵ_r - dielektrik katsayısı) şeklindedir ve diğer frekanslarda da bu değer değişmediği varsayılmıştır. Df parametresi mümkün olduğunca düşük seçilmiştir, çünkü rezonans frekanslarının mümkün olduğunca yüksek sonuçlar vermesi planlanmıştır. Uygulama alanları; antenler, kablosuz iletişim, güç amplifikatörleri, çift bantlı yüksek güç pasif devreleri, otomotiv uygulamaları, dijital / mikrodalga hibrid çok katmanlı devre tasarımları, milimetrik dalga malzemeleri, uydu iletişimi, mikrodalga bağlantıları vb.

2.1. Deneysel Uygulama Aşamaları

Bu çalışmada, periyodik olarak yerleştirilmiş, değişik boyutlarda T şekilli metalik elemanlar, farklı şekillerde konumlandırılarak özgün bir tasarım elde edilmiş, bu özgün tasarımın frekans seçici yüzey uygulaması yapılmıştır. T şekilli elemanların özgün

tasarımı ve nümerik sonuçların alınması için CST Microwave Studio Programı kullanılmıştır. Aynı program üzerinde optimizasyon yapılarak en uygun geometriler seçilmiştir. Frekans seçici yüzeylerde substrat malzemenin kalınlığı ve dielektrik katsayısı büyük bir önem arz etmektedir. Bunun için Neltec NX-9250 plakette ebay.com üzerinden temin edilerek imalat aşamasına geçilmiştir. İmalat aşaması, Kilis Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi, Bilişim Teknolojileri Alanında bulunan LPKF E33 CNC baskı devre imalat cihazı, kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İmalat aşamasından sonra deneysel sonuçların elde edilmesi için İskenderun Teknik Üniversitesinde yer alan Agilent Technologies PNA-L N5234A Vektör Network Analizörü kullanılarak, deneysel ve nümerik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Nümerik ve ölçüm sonuçlarının uyuşmaması durumunda tasarım ve imalat süreçleri gözden geçirilerek olası hatalar tespit edilip, bu hatalar uygun düzeltici yeni tasarımlar ile giderilmiştir. Vektör Network Analizörü anahtarlamayı (time-gating) otomatik olarak gerçekleştirmektedir.



Resim 2.1. Deneysel Ayarlamalar: (a) Vektör Network Analizör kalibrasyonu (b) Uygun dalga kılavuzunun seçilmesi (c) T-şekilli yapılarının ayarlanması (d) T-şekilli yapıların test edilmesi

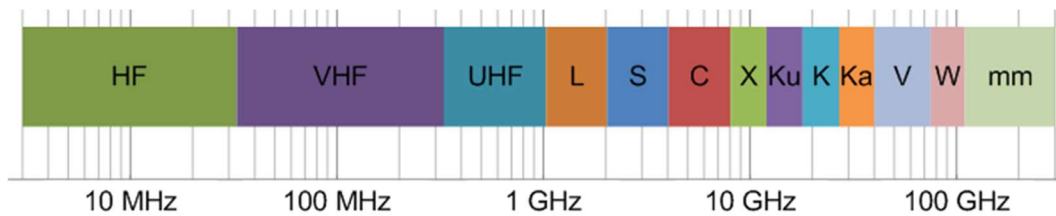
Bu bölümde, T-şekilli FSY yapılarının simülasyon ve ölçülen iletim katsayıları hem enine elektrik (TE) hem de enine manyetik (TM) dalga polarizasyonları için sunulmuştur. T-şekilli FSY yapılarının tümü 10,2 mm x 10,2 mm boyutlarında üretilmiştir.



Şekil 2.1. T-şekilli FSY kesit alanı

0.5mm kalınlığında NX-9250 ve 0.035mm kalınlığında bakır tabakadan oluşan yapının kesit alanı Şekil 2.1.'de gösterildiği gibidir ve çentikler CNC tarafından oluşturulduğunda, yapı kesit yüzeydeki gibi görünmektedir.

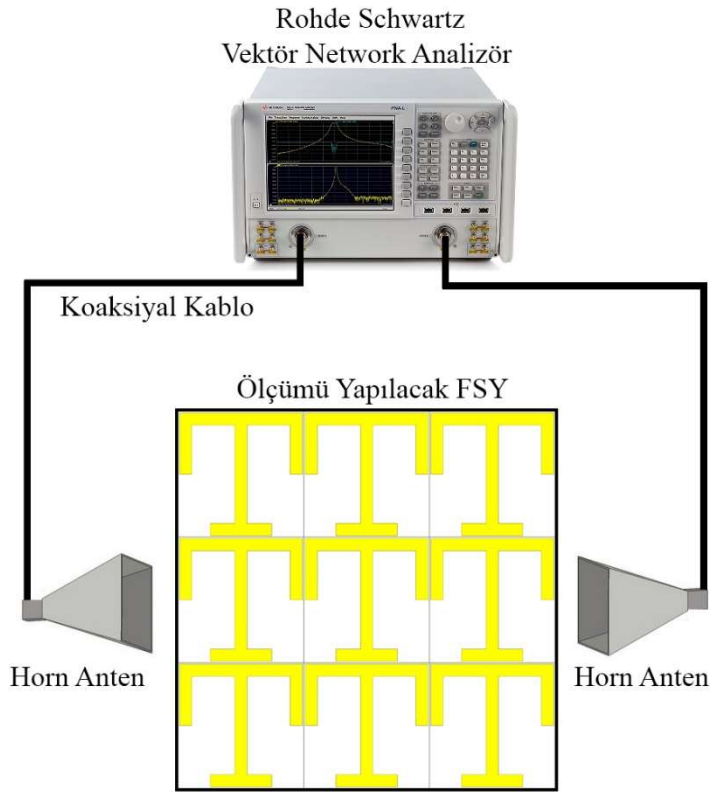
Ölçümler için, üretilen T-şekilli FSY yapıları, ölçüleri 22.86 mm x 10.16 mm olan WR90, 15.79 mm x 7.89 mm boyutlarında WR62 ve 12.95 mm x 6.47 boyutlarında WR51 dalga kılavuzlarının ön yüzüne yerleştirilmiştir. Şekil 2.4.'te gösterildiği gibi iki horn anten arasına deney boardu yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Ölçümler Agilent Technologies PNA-L N5234A vektör network analizörü cihazı, çift çıkıntılı geniş bantlı horn anteni BBHA 9120, X281A koaksiyel dalga kılavuzu adaptörü, WR90, WR62 ve WR51 dalga kılavuzları ile gerçekleştirilmiştir. WR90 dalga kılavuzu çalışma frekansı 8.2 GHz ila 12.4 GHz arasında, WR62 dalga kılavuzu çalışma frekansı 12.4 GHz ila 18.0 GHz arasında ve WR51 dalga kılavuzu çalışma frekansı 15.0 GHz ila 22.0 GHz arasındadır. Simülasyon sonuçları ve ölçümlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda bulunan frekans bantları Şekil 2.2'de ve bu bantlara karşılık gelen uygulama alanları Tablo 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Mikrodalga Bandı

Tablo 2.1. Mikrodalga Harf Bandı Tanımları

Mikrodalga Harf Bandı Tanımları		
Band	Frekans Aralığı	Uygulama Alanı
L	1 to 2 GHz	Satellite, navigation (GPS, etc.), cellular phones
S	2 to 4 GHz	Satellite, SiriusXM radio, unlicensed (Wi-Fi, Bluetooth, etc.), cellular phones
C	4 to 8 GHz	Satellite, microwave relay
X	8 to 12 GHz	Radar
K _u	12 to 18 GHz	Satellite TV, police radar
K	18 to 26.5 GHz	Microwave backhaul
K _a	26.5 to 40 GHz	Microwave backhaul
Q	30 to 50 GHz	Microwave backhaul
U	40 to 60 GHz	Experimental, radar
V	50 to 75 GHz	New WLAN, 802.11ad/WiGig
E	60 to 90 GHz	Microwave backhaul
W	75 to 110 GHz	Automotive radar
F	90 to 140 GHz	Experimental, radar
D	110 to 170 GHz	Experimental, radar



Şekil 2.3. Hazırlanan yapıların VNA cihazındaki ölçümlerin basit şeması

2.2. Tasarımların Simüle Edilmesi

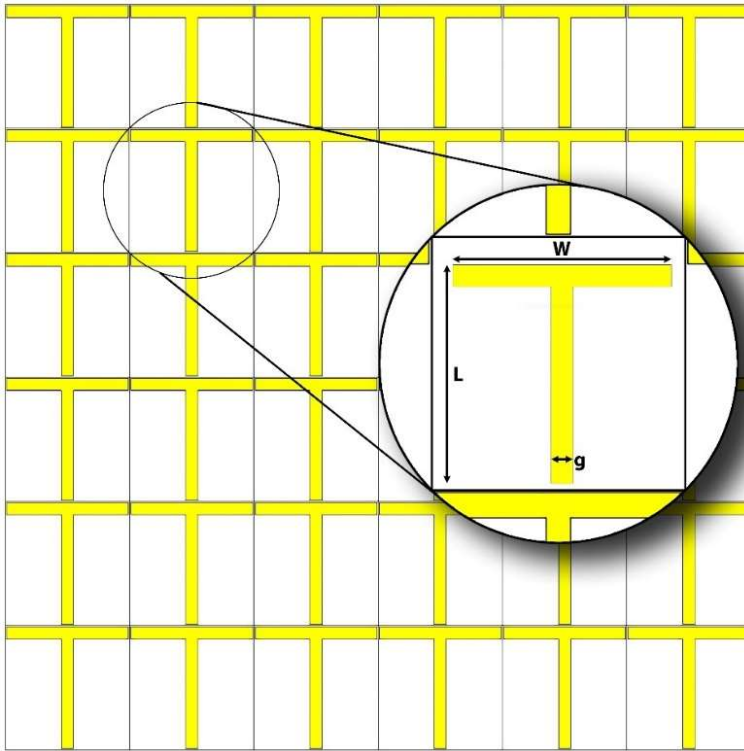
Yapılan çalışmalarda şekillerin kolay ifade edilebilmesi için Tx-FSY şeklinde bir işaretleme kullanılmıştır. (T1-FSY simülasyonu, T2-FSY şekli, vb.)

2.3. T1-FSY Yapısı

T-FSY yapısı birbirine dik olacak şekilde birleşen yatay ve dikey bakır lamlardan tasarlanmıştır.

2.3.1. T1-FSY Yapısının Geometrisi

T1-FSY için parametreler: $W = 10$ mm, $L = 10$ mm ve g mm cinsinden değişken parametredir. Şekil 2.4.'te temel FSY yapısının bilgisayar simülasyon çizimi ve ölçüleri mevcuttur.



Şekil 2.4. T1-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı

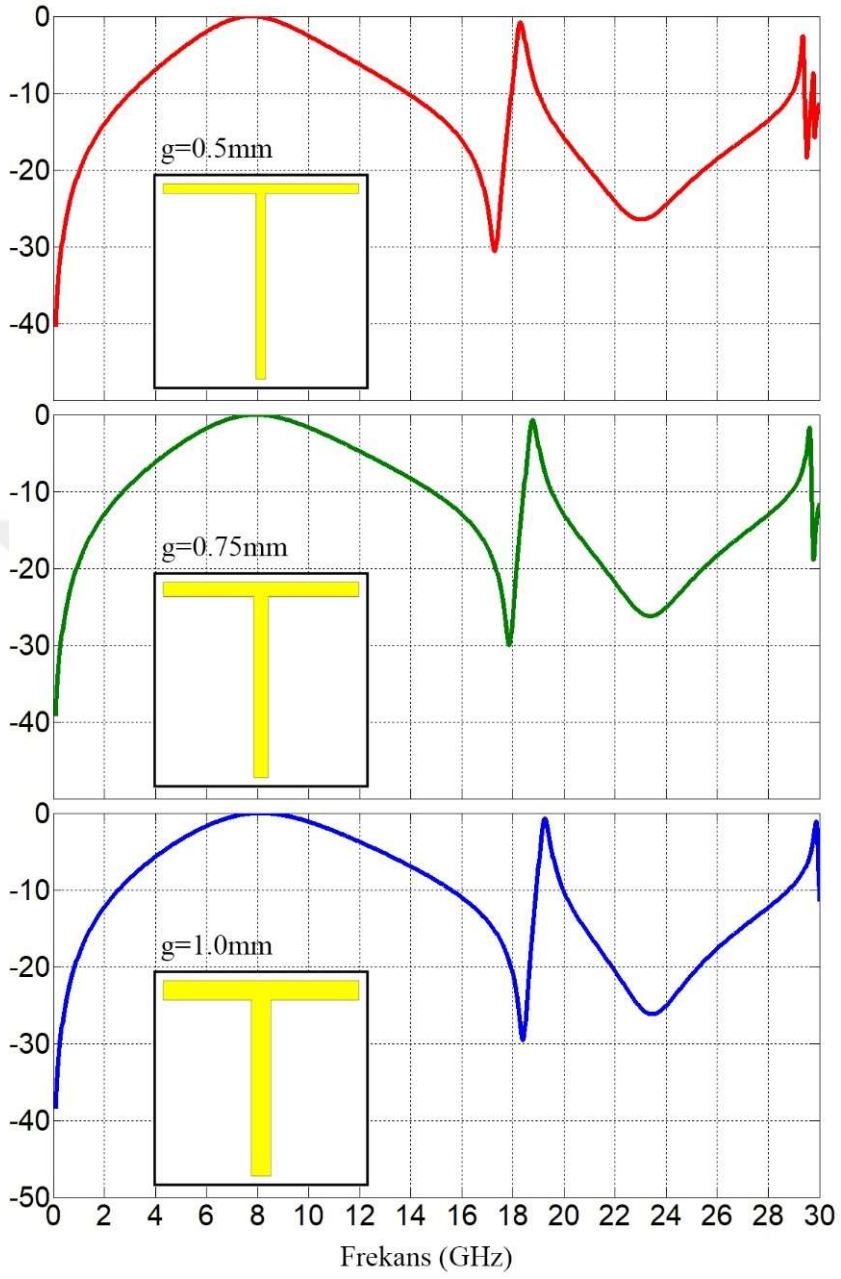
2.3.2. T1-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları

Tablo 2.2.'de yapının geometrisine karşılık gelen rezonans frekansları gösterilmiştir. Şekiller yapı itibari ile büyüdükçe rezonans frekanslarının da yapmış olduğu kaymalar

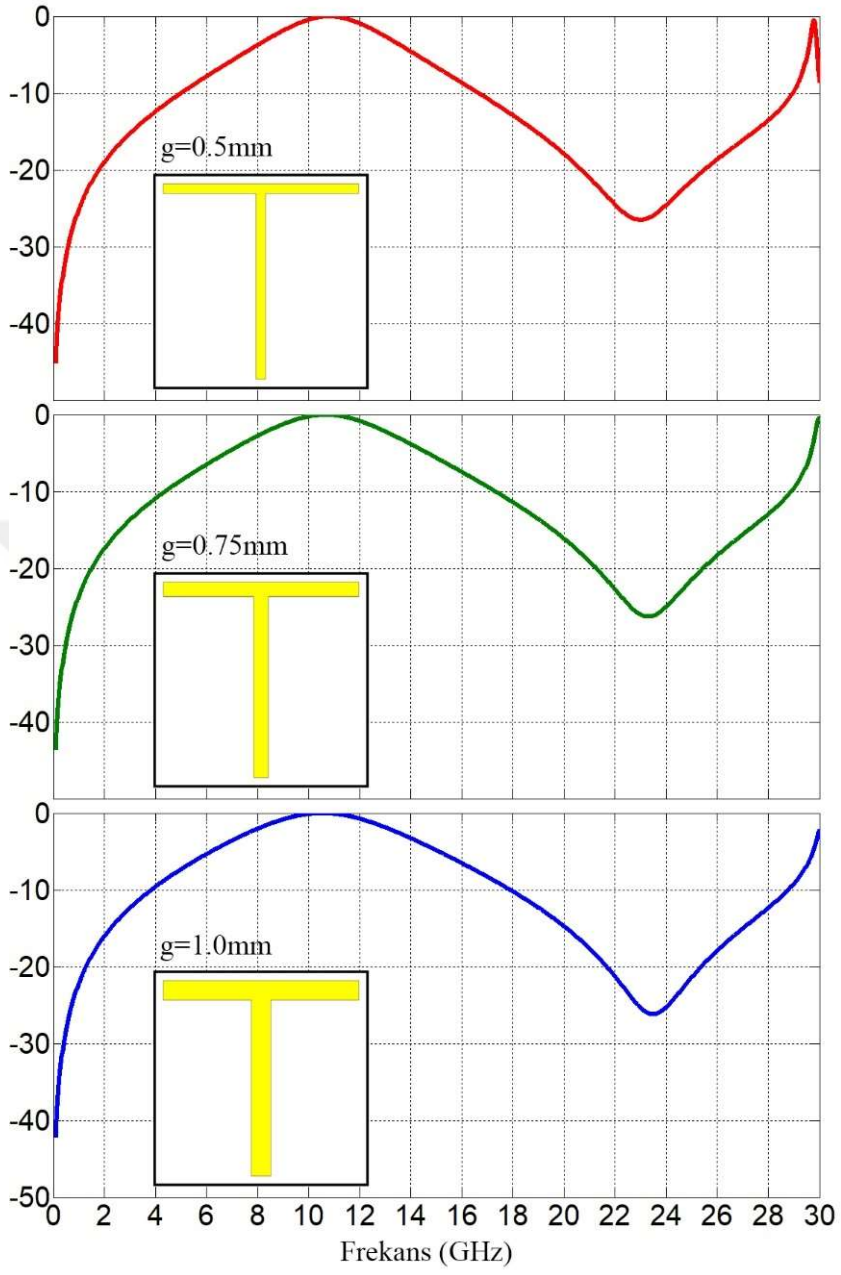
Şekil 2.5.-2.8. arasında görülmektedir. Geometrinin değişimine karşılık rezonans frekanslarında da kayma oluşturmaktadır.

Tablo 2.2. T1-FSY yapısındaki g parametresinin değişimine göre rezonans frekansları

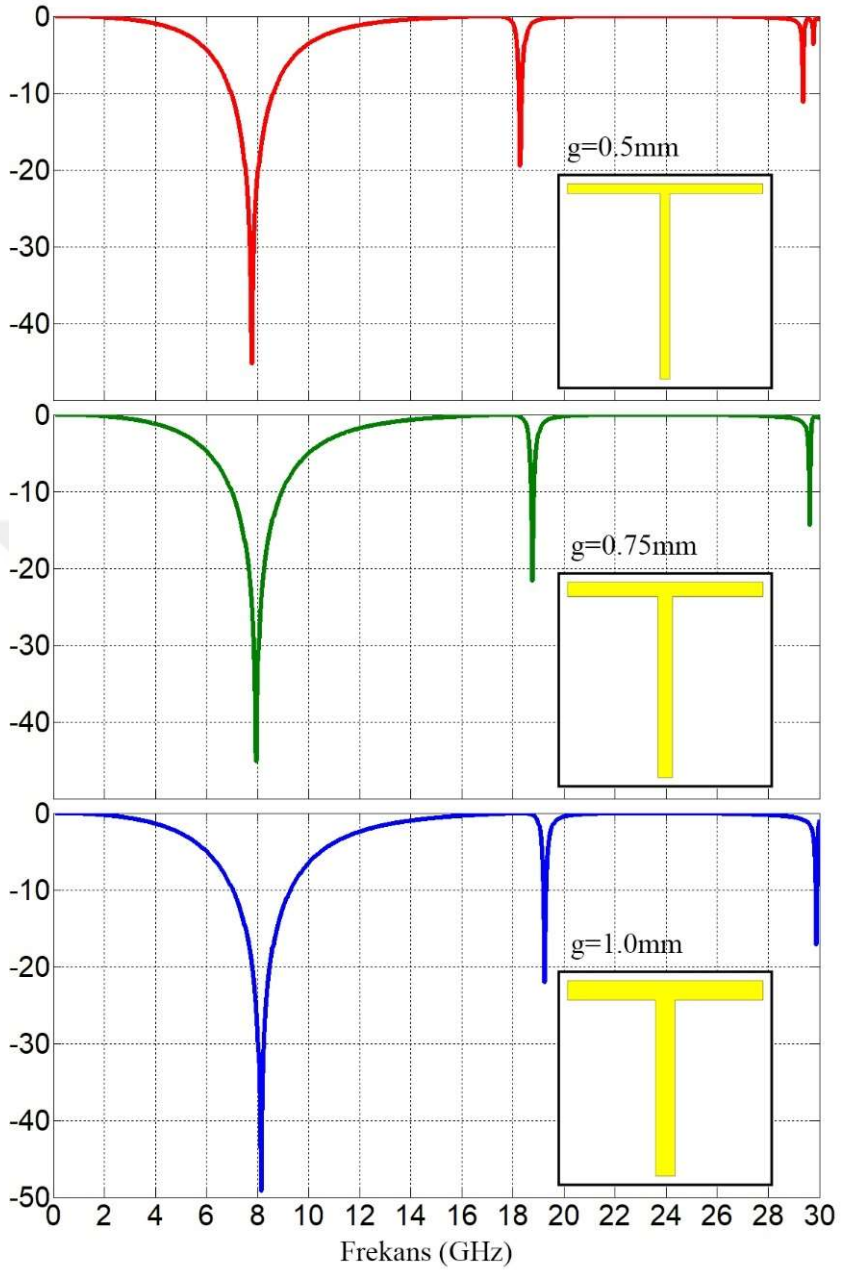
	Test Edilen Parametre	Rezonans Frekansı
TE	g=0.5mm	7,78 GHz / 18,28 GHz / 29,37 GHz
	g=0.75mm	7,96 GHz / 18,76 GHz / 29,61 GHz
	g=1mm	8,14 GHz / 19,24 GHz / 29,88 GHz
TM	g=0.5mm	10,80 GHz / 29,80 GHz
	g=0.75mm	10,68 GHz / >30,00 GHz
	g=1mm	10,56 GHz



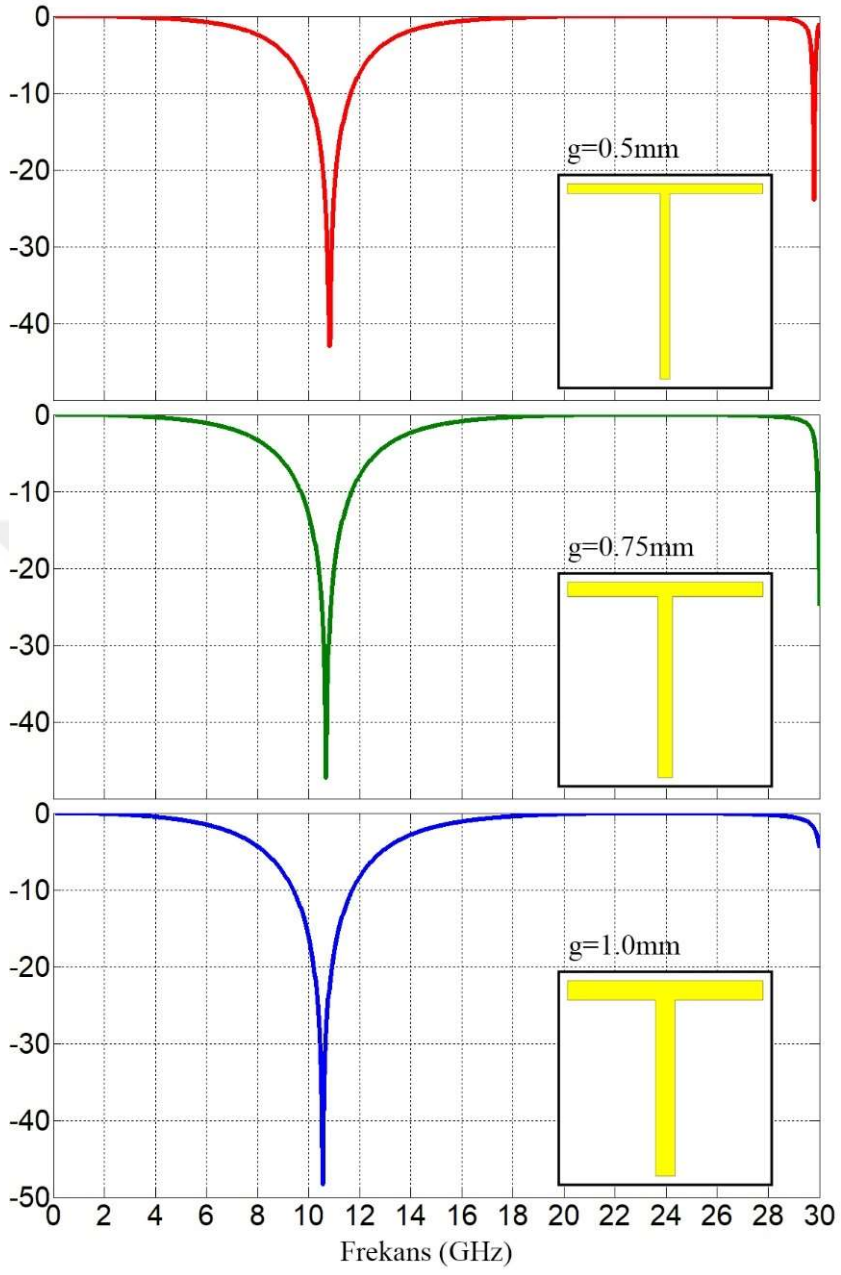
Şekil 2.5. T1-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TE Polarizasyonu



Şekil 2.6. T1-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TM Polarizasyonu

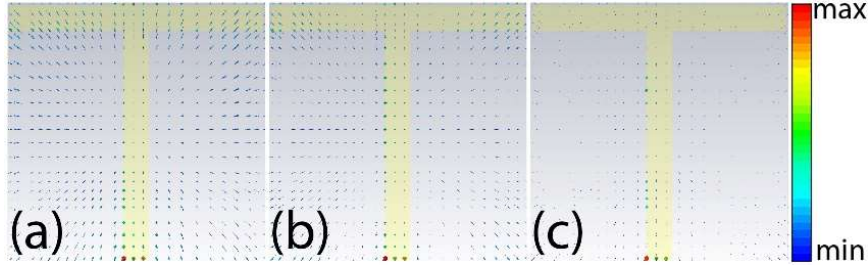


Şekil 2.7. T1-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu

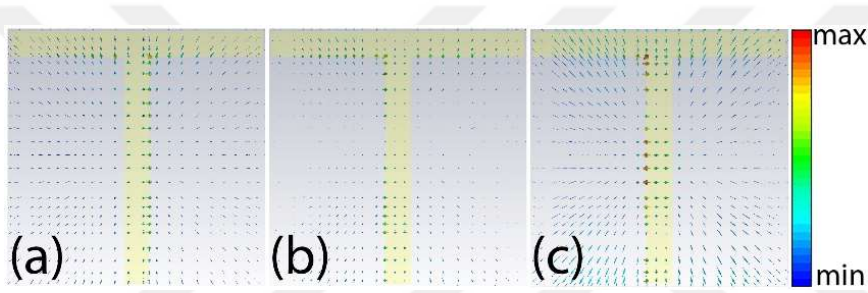


Şekil 2.8. T1-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu

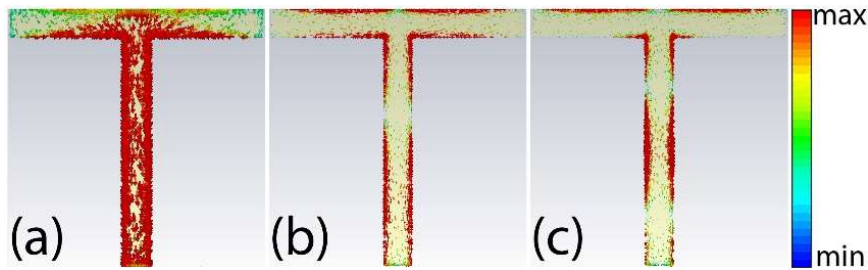
2.3.3. T1-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve Yüzey Akım



Şekil 2.9. T1-FSY Elektrik alan çizgileri



Şekil 2.10. T1-FSY Manyetik alan çizgileri



Şekil 2.11. T1-FSY Yüzey akım çizgileri

Şekil 2.9. ve Şekil 2.10.'da elektrik ve manyetik alan çizgilerinin rezonans frekanslarındaki yoğunluklar görülmektedir. Şekil 2.11.'de yüzey akım çizgilerinin dağılımı ve bu dağılımında özellikle dikey şerit üzerinde artış gösterdiği görülmektedir.

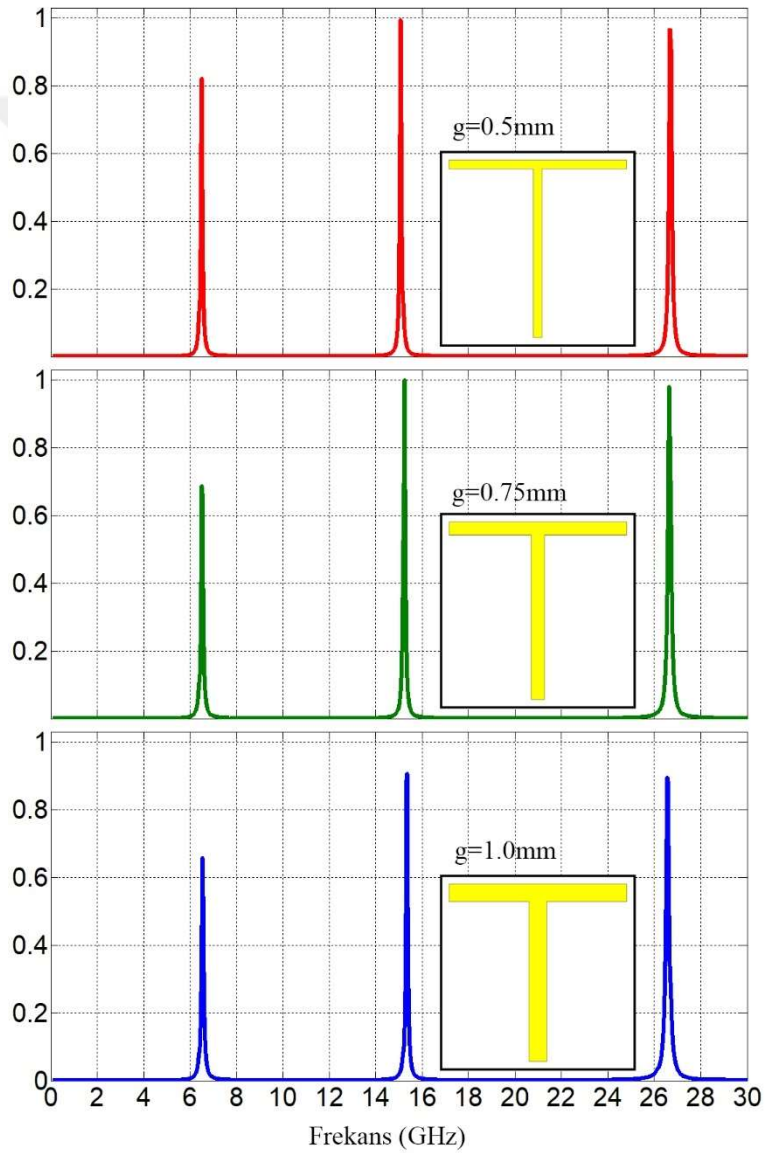
2.3.4. T1-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği

T1-FSY yapısının soğurma frekansları Tablo 2.3'de gösterildiği gibidir. g parametresinin değişiminin gösterimi Şekil 2.12'dedir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli özellik ikinci rezonans frekansında soğurma değeri %99 seviyesindedir. Bu değere karşılık gelen

g parametresi 0,5mm ve 0,75mm'dir. Bu seviye; çalışmadaki tüm yapılar içerisinde ve bu malzemeye tasarlanacak diğer yapılar içerisinde en yüksek değerdir.

Tablo 2.3. T1-FSY yapısının soğurma frekansları

Test Edilen Parametre	Soğurma Frekansı
g=0.5mm	6,50 GHz / 15,08 GHz / 26,68 GHz
g=0.75mm	7,96 GHz / 18,76 GHz / 29,61 GHz
g=1mm	8,14 GHz / 19,24 GHz / 29,88 GHz



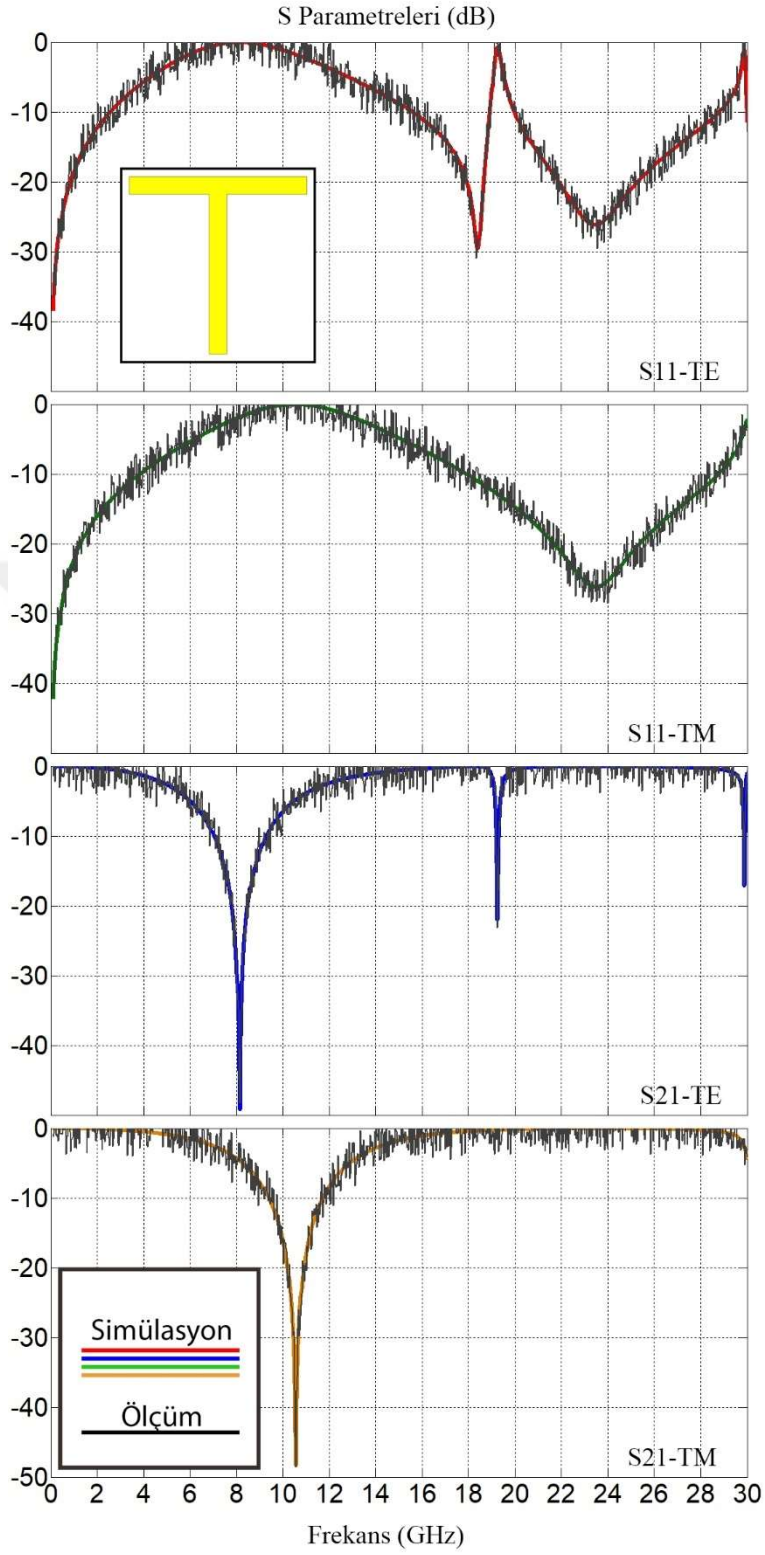
Şekil 2.12. T1-FSY Yapısının soğurma karakteristiği

2.3.5. T1-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması

Bilgisayar simülasyonunda ve test cihazları ile ölçülen verilerin üst üste karşılaştırılarak kıyaslanması Şekil 2.13.'de gösterilmiştir. Bu işlem MATLAB programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadaki bütün deney boardlarının testleri aynı gün ve aynı ortamda yapılmıştır. Burada dikkat edilecek nokta deneysel sonuçlarda çok fazla parazit sinyalinin görüldüğüdür. Bu parazitler bu çalışmadaki diğer grafiklerde de görülmektedir. Bu istenmeyen sinyallerin nedenleri basitçe, test cihazlarının bulunduğu ortamın izolasyonunun yetersiz olması, cep telefonu sinyallerinin test ortamında fazlasıyla bulunması, kablosuz internet ve telsizlerden yayılan sinyaller vs.

Fakat simülasyon sonuçları ile deney sonuçları üst üste kıyaslandığı zaman rezonans frekanslarının ana hat üzerinde olduğu ve grafiklerin simülasyonla benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar bu sistemin X bandı için kullanımının uygun olduğunu göstermektedir.



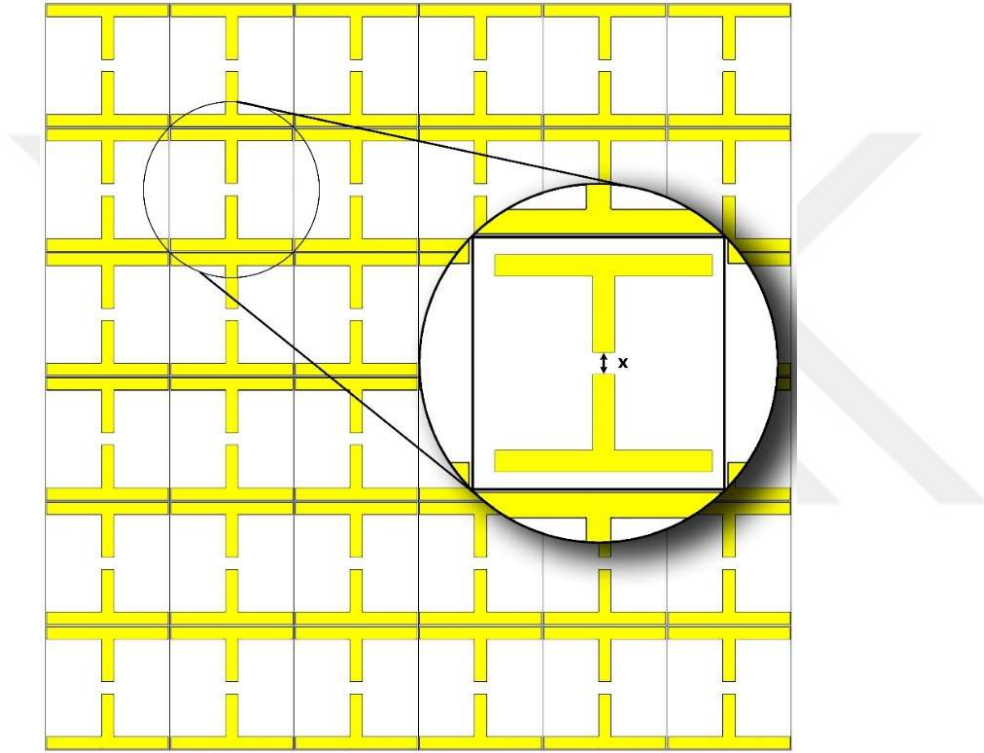
Şekil 2.13. T1-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması

2.4. T2-FSY Yapısı

T2-FSY yapısı temel T şeklinin x eksenine göre simetriğinin alınması ile tasarlanmıştır ve kıyaslama parametresi dikey şerit yapının açıklığının değiştirilmesi ile test edilmiştir.

2.4.1. T2-FSY Yapısının Geometrisi

T2-FSY için parametreler: $W = 10$ mm, $L = 10$ mm ve x mm cinsinden değişken parametredir. Şekil 2.14.'te x değişkeni gösterildiği gibi aradaki açıklığı ifade etmektedir.



Şekil 2.14. T2-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı

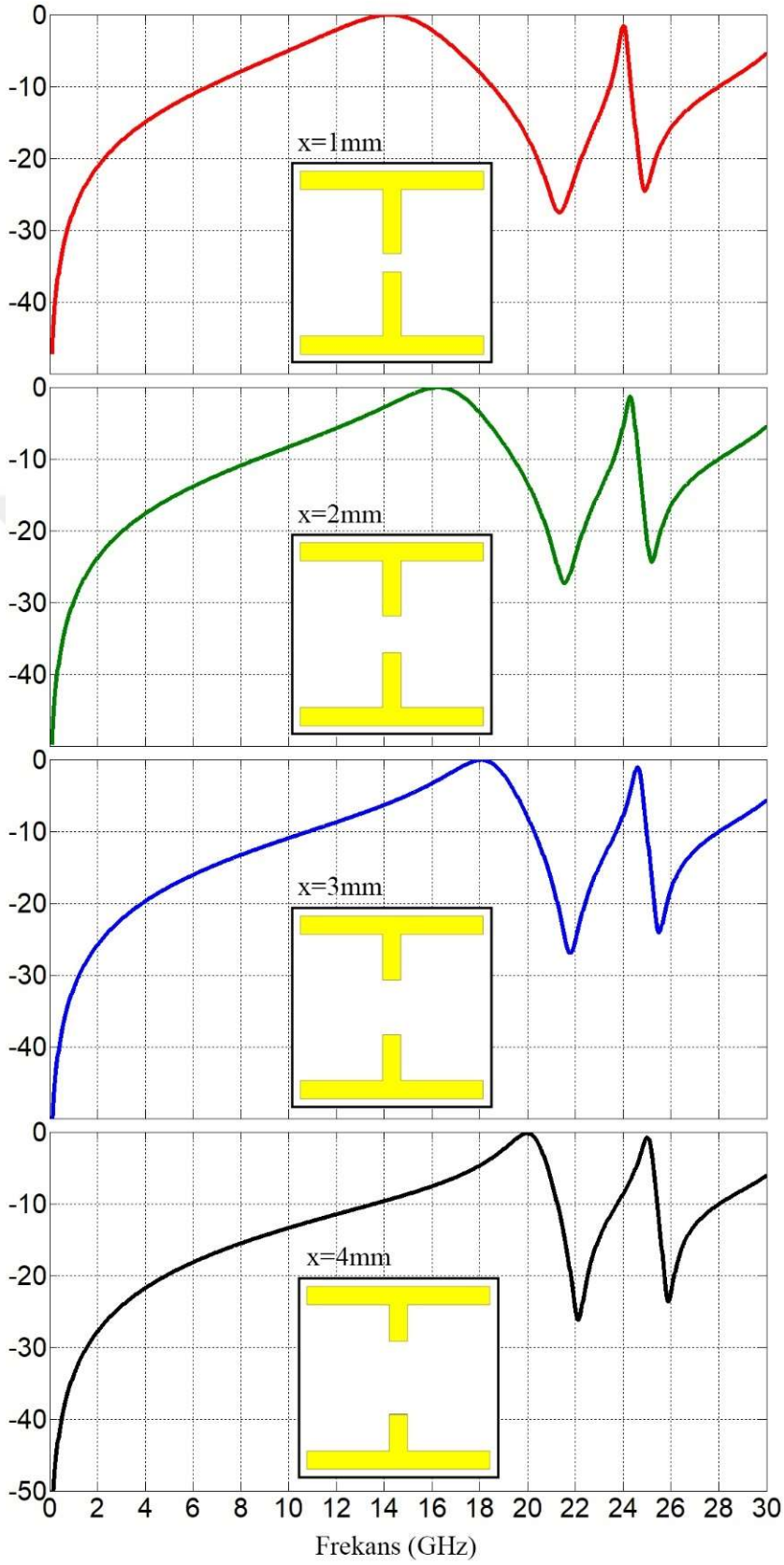
2.4.2. T2-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları

x parametresindeki değişim; TE rezonans frekansın da ortalama 1,9 GHz sağa doğru kayma yaptırırken TM için herhangi bir değişiklik görülmektedir. Bunun da sebebi olarak yapının sadece TE polarizasyonu doğrultusunda değişim gösterdiği ve yatay ekseninde geometride herhangi bir değişim parametresinin bulunmadığıdır. Tablo 2.4.'te x parametre değişiminin rezonans frekansları gösterilmiştir.

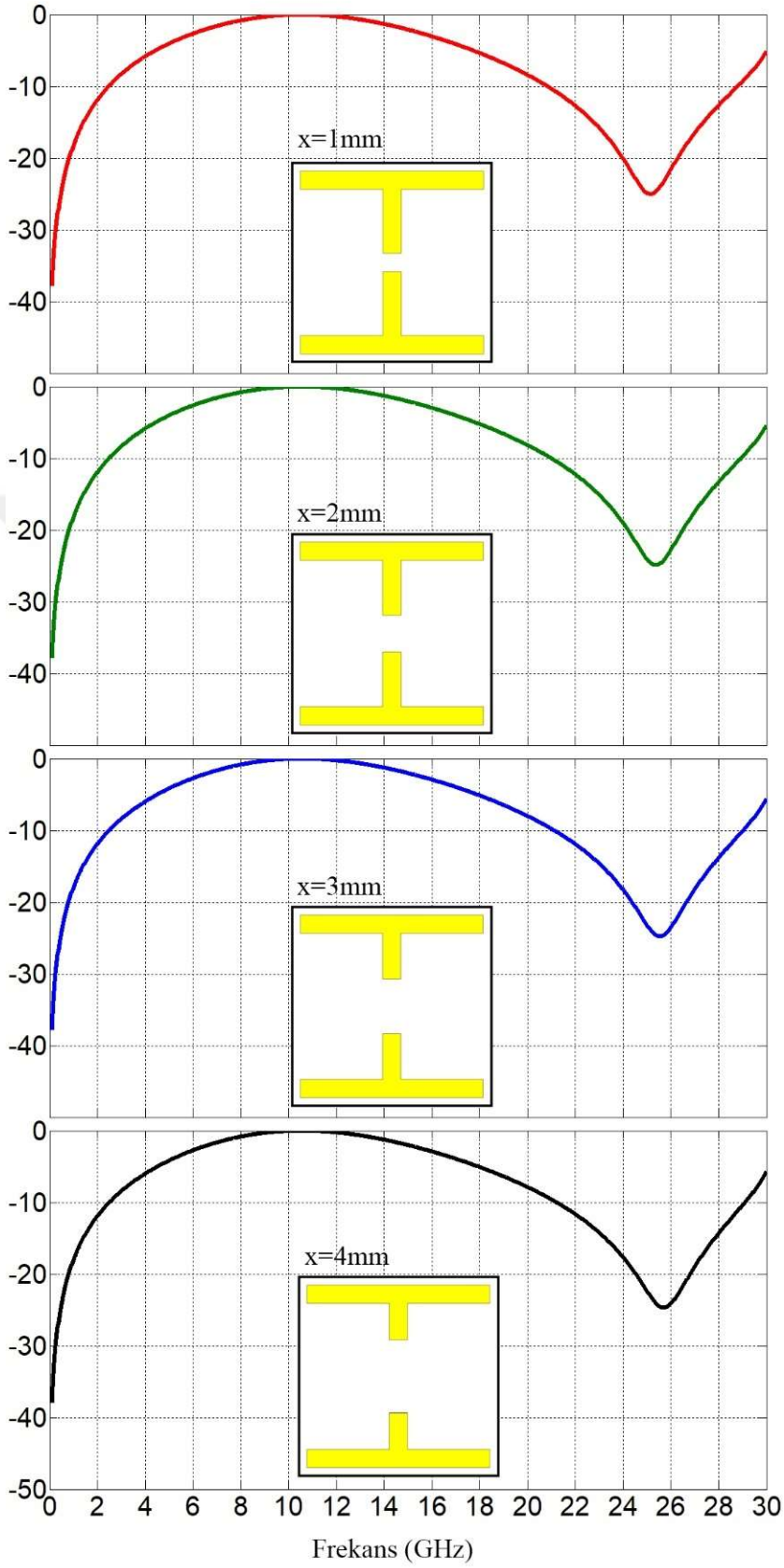
Tablo 2.4. T2-FSY yapısındaki x parametresinin değişimine göre rezonans frekansları

	Test Edilen Parametre	Rezonans Frekansı
TE	x=1 mm	14,24 GHz / 24,02 GHz
	x=2 mm	16,27 GHz / 24,29 GHz
	x=3 mm	18,07 GHz / 24,62 GHz
	x=4 mm	20,01 GHz / 25,00 GHz
TM	x=1 mm	10,53 GHz
	x=2 mm	10,56 GHz
	x=3 mm	10,56 GHz
	x=4 mm	10,56 GHz

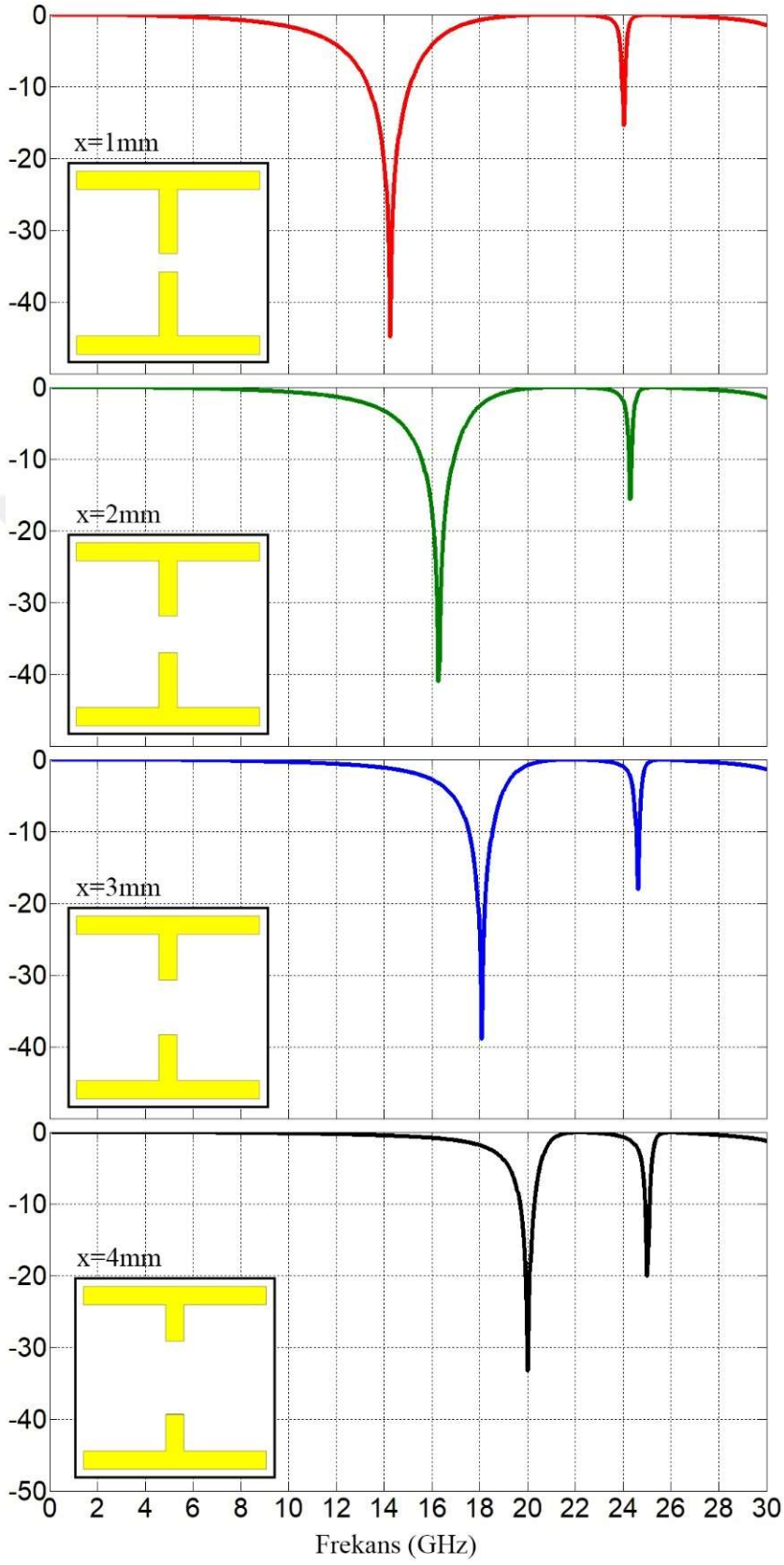
Şekil 2.17’de x parametresinin artmasıyla genliğin giderek azaldığı görülmektedir. Fakat Şekil 2.18’de görüldüğü gibi frekansta herhangi bir kayma ya da genlikte bir azalma görülmektedir. Şekil 2.15. ve Şekil 2.16.’da bulunan rezonans frekansları Şekil 2.17. ve Şekil 2.18. ile aynıdır.



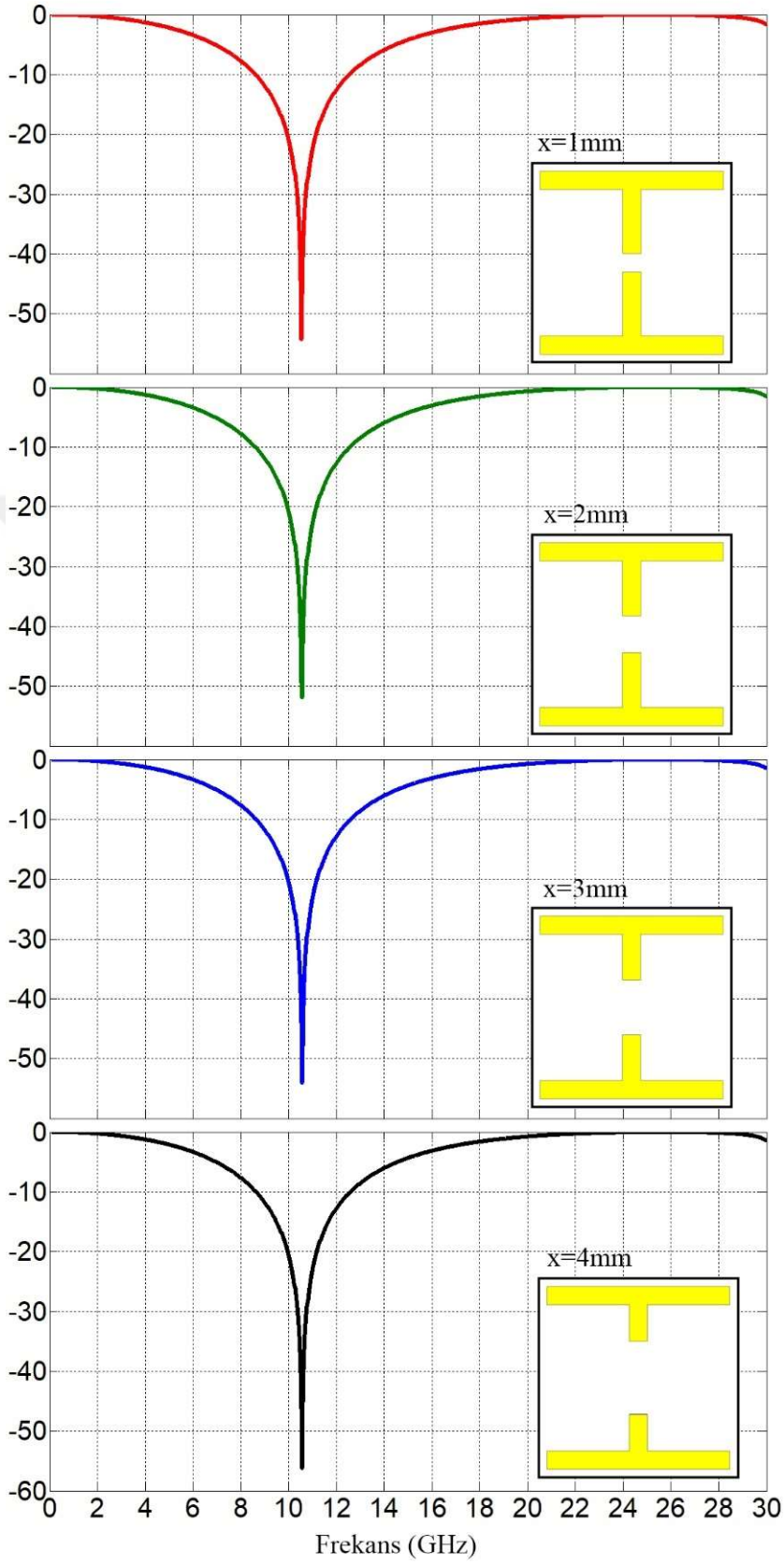
Şekil 2.15. T2-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TE Polarizasyonu



Şekil 2.16. T2-FSY yapısına ait S₁₁ Parametresi TM Polarizasyonu

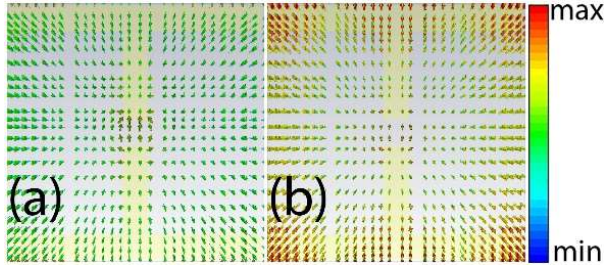


Şekil 2.17. T2-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu

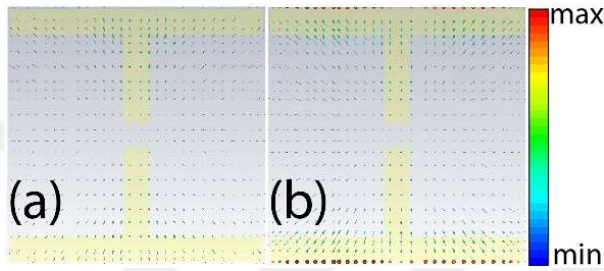


Şekil 2.18. T2-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu

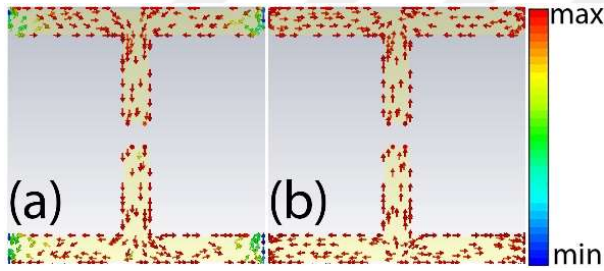
2.4.3. T2-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve Yüzey Akım



Şekil 2.19. T2-FSY Elektrik alan çizgileri



Şekil 2.20. T2-FSY Manyetik alan çizgileri



Şekil 2.21. T2-FSY Yüzey akım çizgileri

Şekil 2.19. ve Şekil 2.20.'de elektrik ve manyetik alan çizgilerinin rezonans frekanslarındaki yoğunluklar görülmektedir. Şekil 2.21.'de yüzey akım çizgilerinin dağılımı ve bu dağılımında özellikle yatay şerit üzerinde artış gösterdiği görülmektedir.

2.4.4. T2-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği

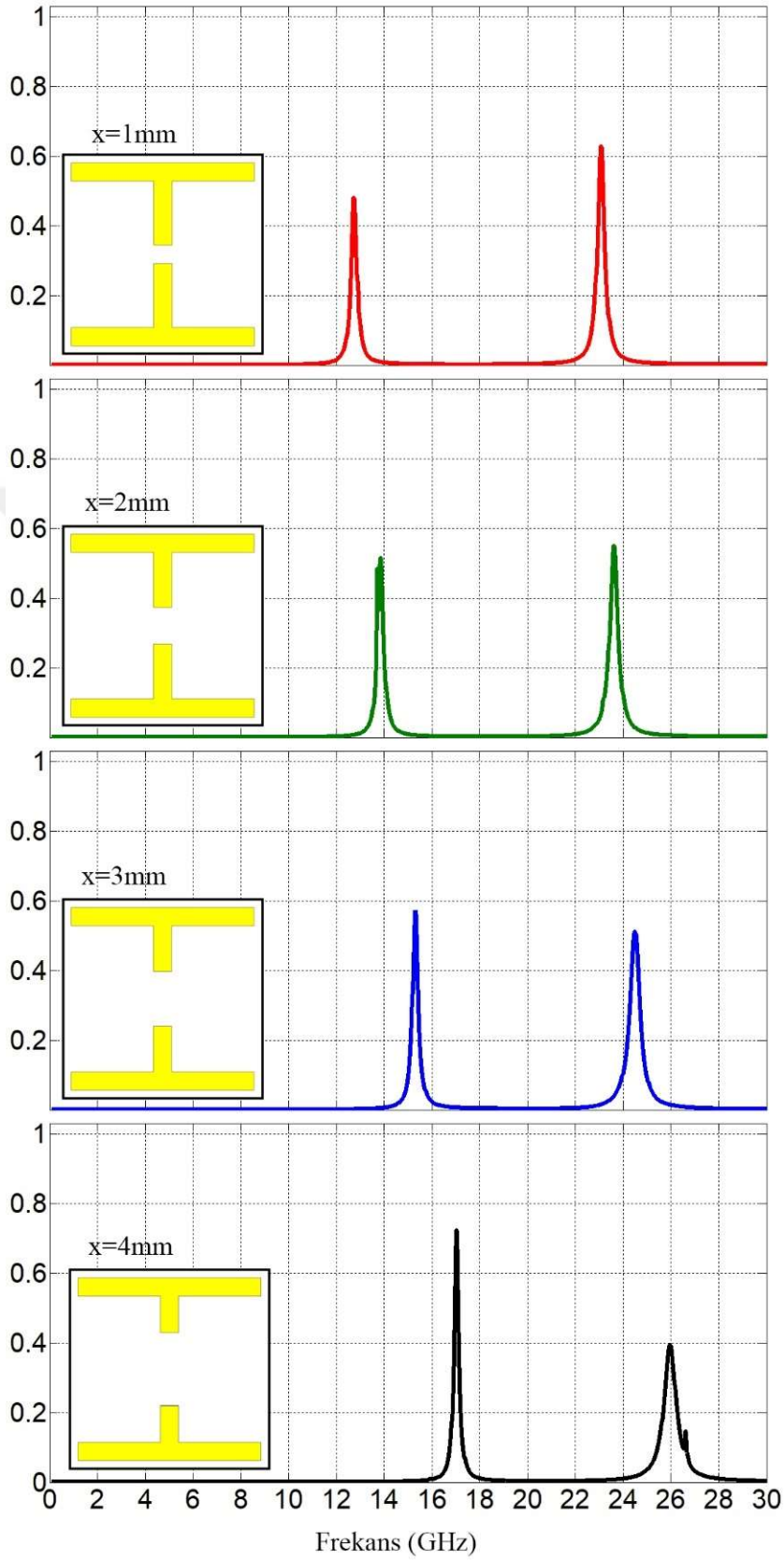
Şekil 2.22'den hareketle elde edilen sonuçlar içerisinde $x=4\text{mm}$ parametresi kendi içerisinde en yüksek değere sahip ve %76 gibi bir seviyededir. Bu değerlere karşılık gelen rezonans frekansları da Tablo 2.5.'te gösterildiği gibidir.

Bu sonuçlardan hareketle sistem yatay doğrultuda değil de dikey doğrultuda simetrik olarak tasarlınsaydı, TE rezonans frekanslarında herhangi bir değişim görülmezken TM polarizasyonunda genlikte ve frekansta aynı değişimler görülecektir.

Tablo 2.5. T2-FSY yapısının soğurma frekansları

Test Edilen Parametre	Soğurma Frekansı
x=1 mm	12,72 GHz / 23,06GHz
x=2 mm	13,85 GHz / 23,60 GHz
x=3 mm	15,29 GHz / 24,50 GHz
x=4 mm	17,02 GHz / 25,96 GHz

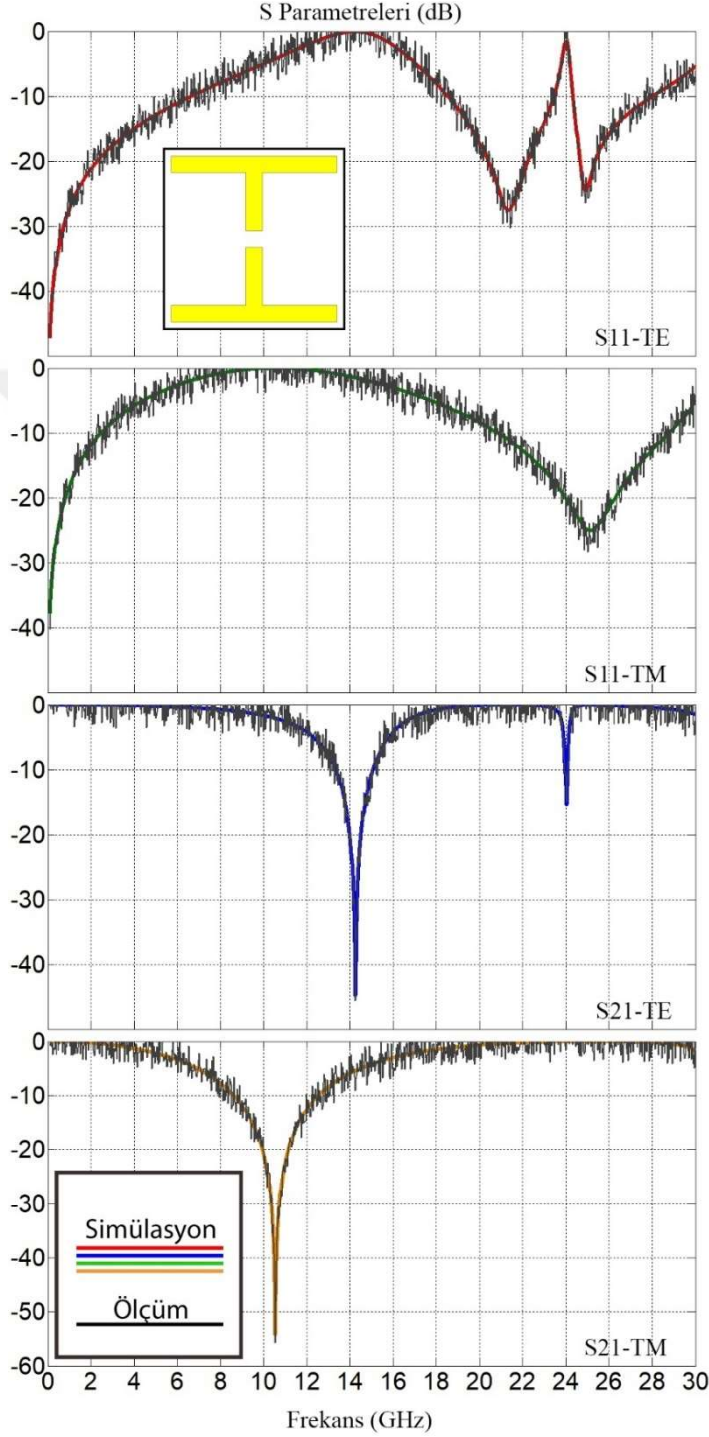




Şekil 2.22. T2-FSY Yapısının soğurma karakteristiği

2.4.5. T2-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması

Yapılan test ölçümlerinde parazitlerin ± 3 dB civarında salınım yaptığı Şekil 2.23.'de de görülmektedir.



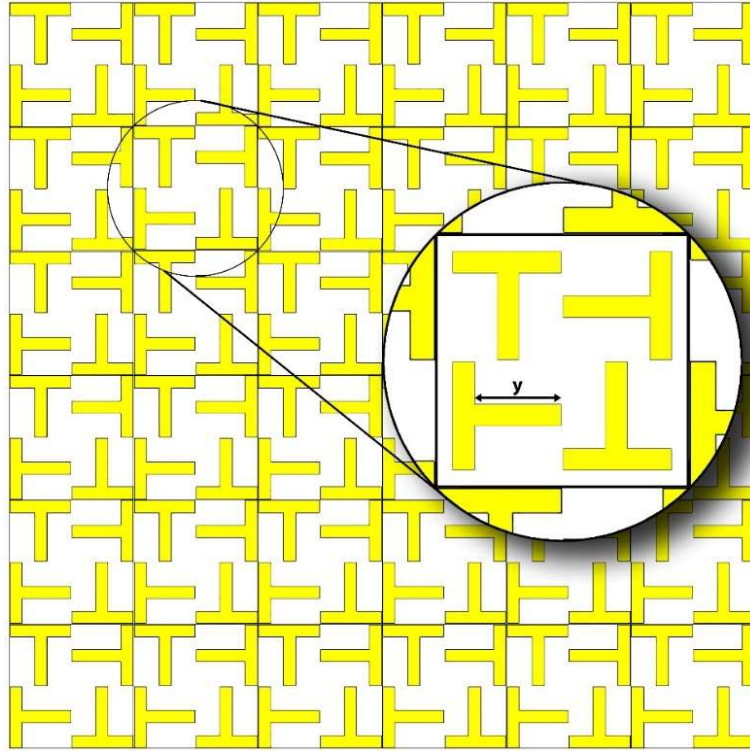
Şekil 2.23. T2-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması

2.5. T3-FSY Yapısı

T3-FSY yapısında dikkat edilecek nokta dış board ölçüleri sabit tutularak aynı ölçüler içerisine dört adet şeklin yerleştirilmesiyle tasarlanmıştır.

2.5.1. T3-FSY Yapısının Geometrisi

T3-FSY için parametreler: $W = 5$ mm, $L = 5$ mm ve y mm cinsinden değişken parametredir. Şekil 2.24’de y değişken parametresi “T” şekillerinin alt kısımlarını ifade etmektedir ve şekil temel T şeklinin saat yönü doğrultusunda 90° döndürülmesiyle tasarlanmıştır. Dış board ölçüleri sabit tutularak, birim hücre içerisine dört adet şekil yerleştirilmiştir.



Şekil 2.24. T3-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı

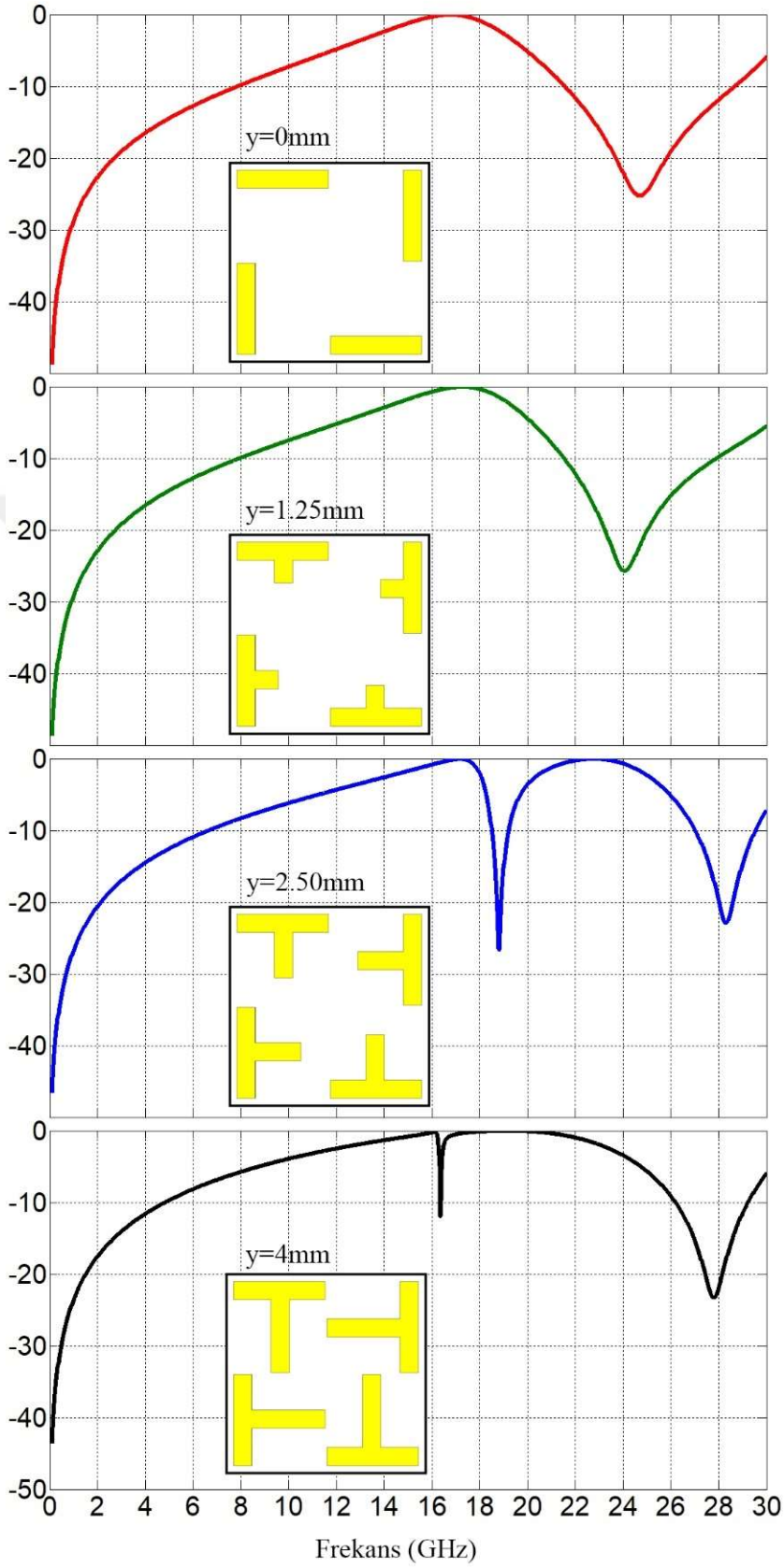
2.5.2. T3-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları

Dönel yapı bu tasarımda yatay ve dikey şeritler $y=x$ eksenine göre simetriktir. Tablo 2.6.’dan TE ve TM rezonans frekanslarına bakıldığı zaman çok küçük bir frekans değişikliği ile aynı olduğu görülmektedir. S_{11} , S_{21} parametrelerinin gösterildiği Şekil 2.25.-2.28. üst üste çakıştığı görülmektedir.

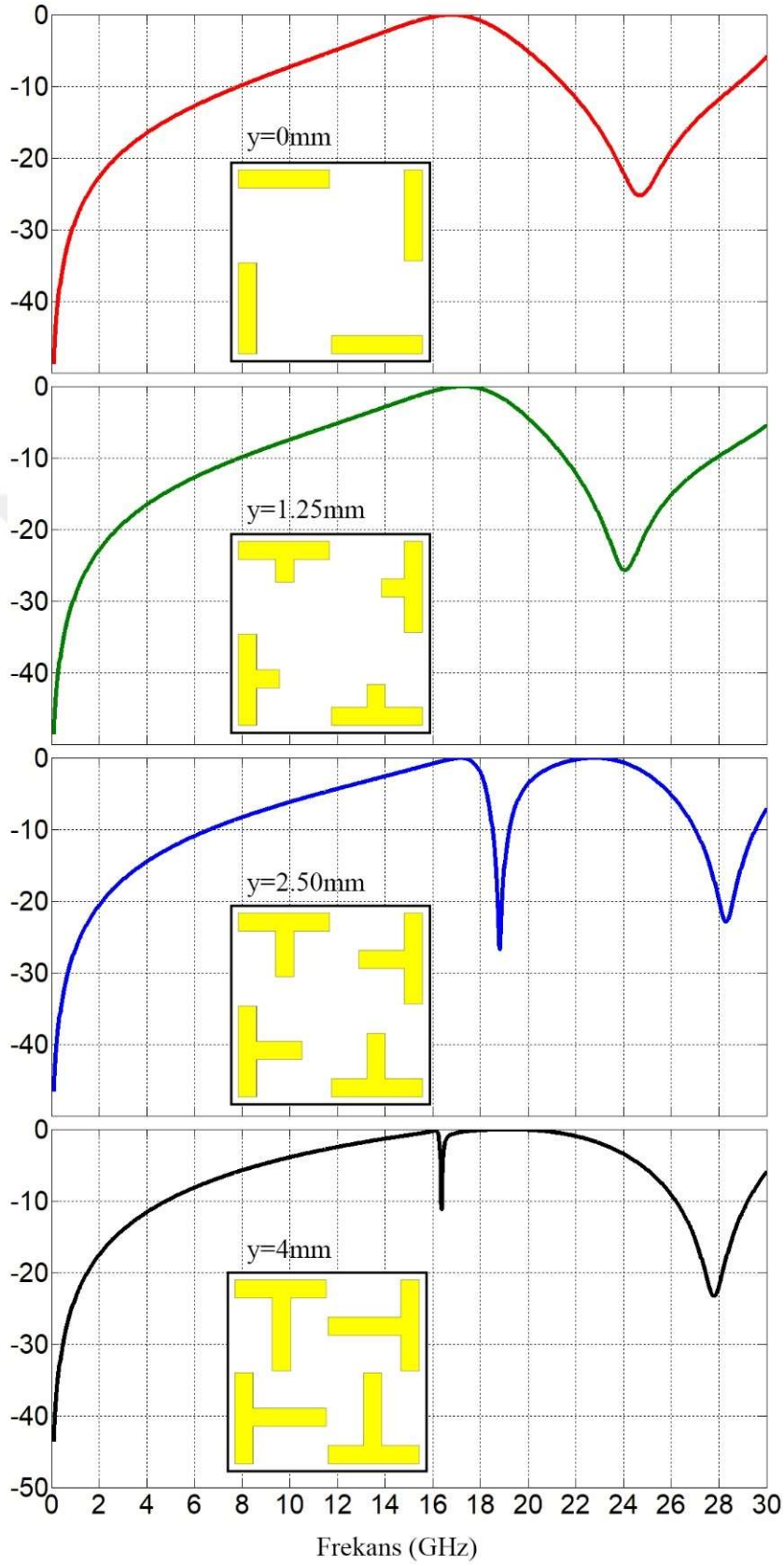
Tablo 2.6. T3-FSY yapısındaki y parametresinin değişimine göre rezonans frekansları

	Test Edilen Parametre	Rezonans Frekansı
TE	y=0 mm	16,78 GHz
	y=1,25 mm	17,32 GHz
	y=2,50 mm	17,20 GHz / 22,79 GHz
	y=4 mm	16,18 GHz / 19,17 GHz
TM	y=0 mm	16,81 GHz
	y=1,25 mm	17,29 GHz
	y=2,50 mm	17,20 GHz / 22,79 GHz
	y=4 mm	16,18 GHz / 19,17 GHz

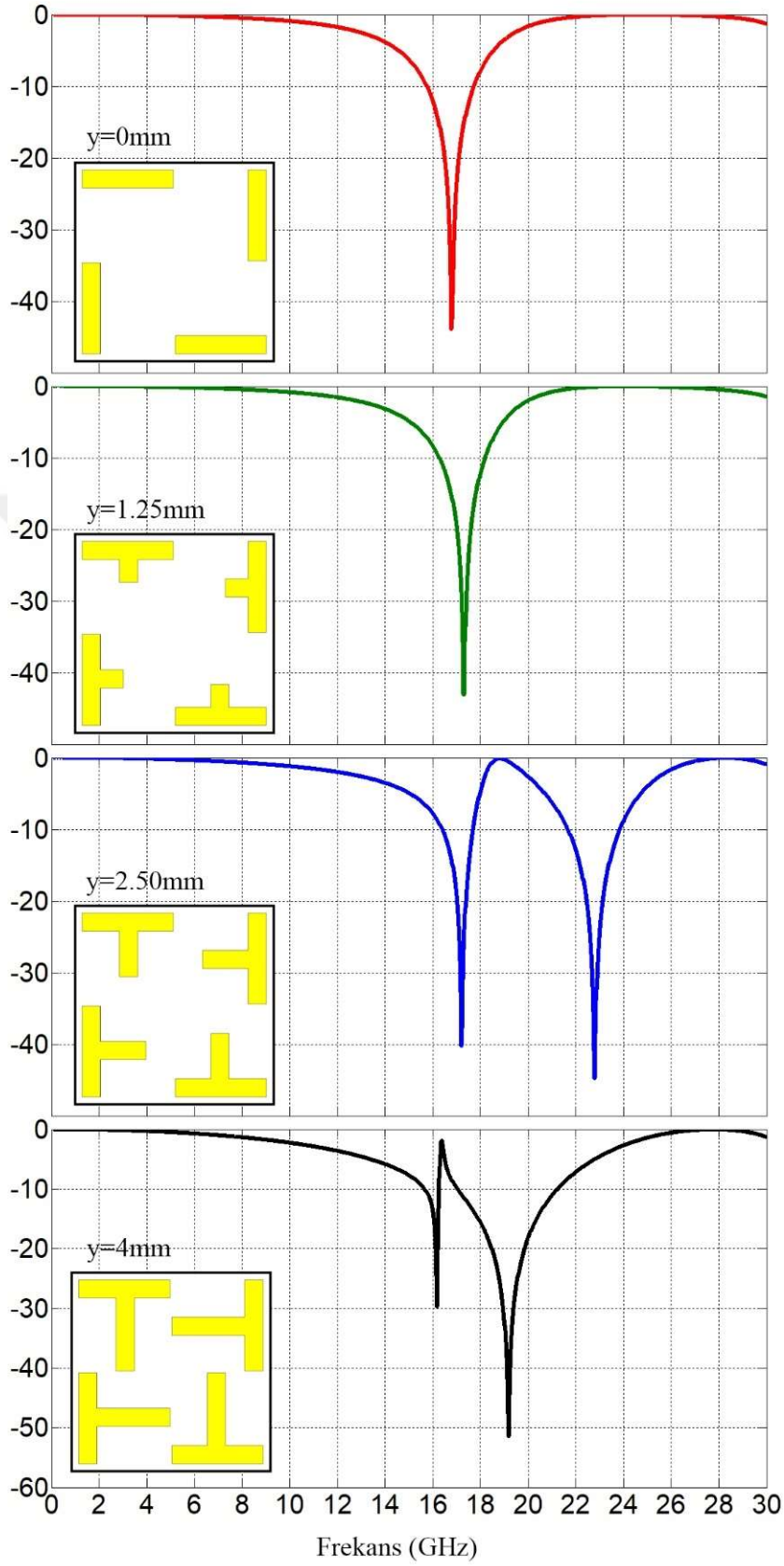




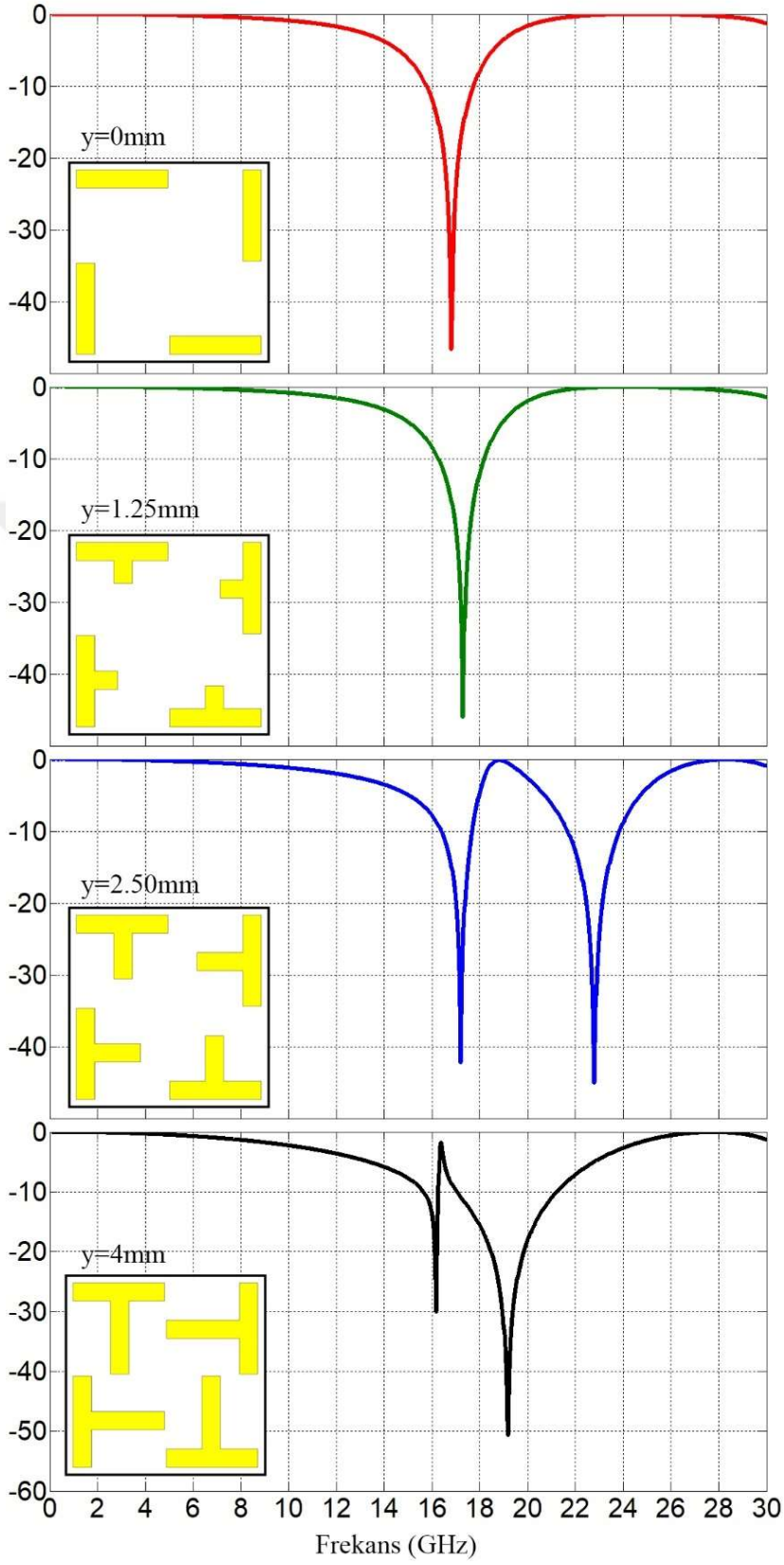
Şekil 2.25. T3-FSY yapısına ait S11 Parametresi TE Polarizasyonu



Şekil 2.26. T3-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TM Polarizasyonu

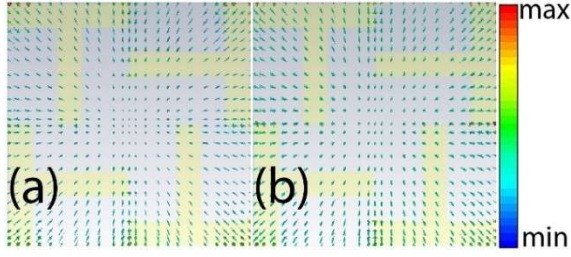


Şekil 2.27. T3-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu

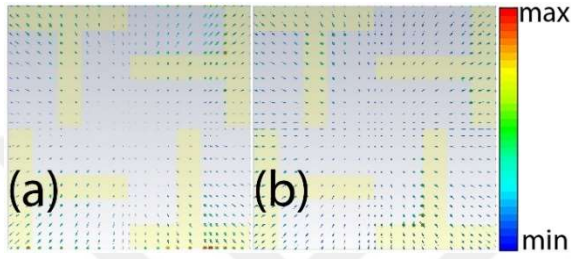


Şekil 2.28. T3-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu

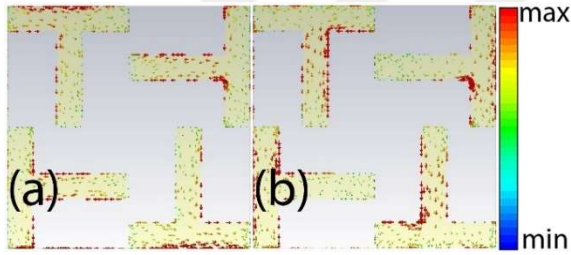
2.5.3. T3-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve Yüzey Akım



Şekil 2.29. T3-FSY Elektrik alan çizgileri



Şekil 2.30. T3-FSY Manyetik alan çizgileri



Şekil 2.31. T3-FSY Yüzey akım çizgileri

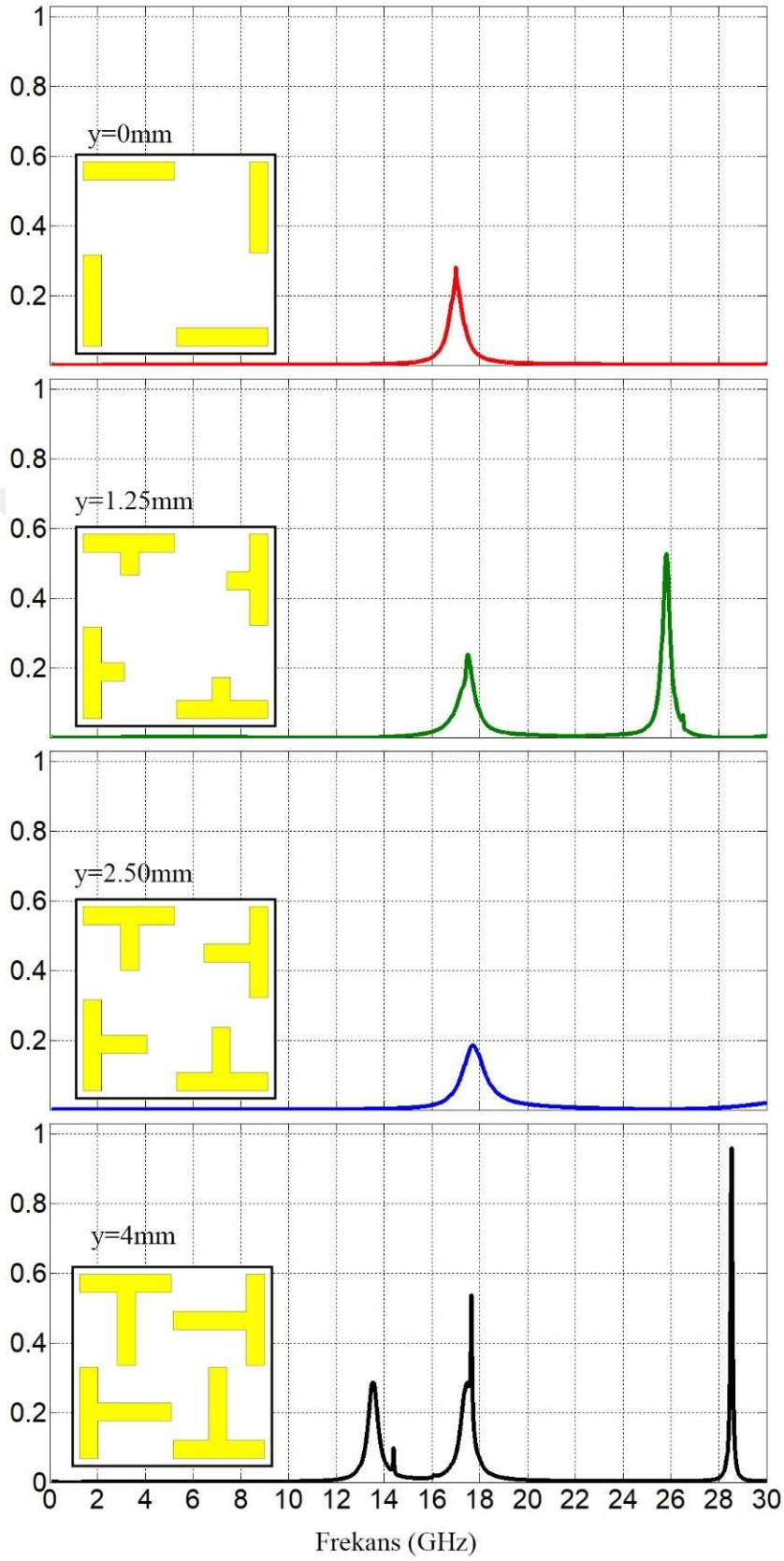
Şekil 2.29.'da elektrik alan çizgilerinin yoğunluğu dikey ekseninde artış gösterirken, Şekil 2.30'da manyetik alan çizgilerinin de yatay ve dikey doğrultuda olduğu görülmektedir. Şekil 2.31.(a)'da yüzey akım çizgileri şekillerin sol tarafında yoğunlaşırken, Şekil 2.31.(b)'de yoğunluk şeklin sağ tarafında artmaktadır.

2.5.4. T3-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği

T3-FSY yapısı için en uygun değer $y=4\text{mm}$ parametresindeki üçüncü rezonans frekansında görülmektedir ve seviyesi %98 civarındadır. Tablo 2.7.'den soğurma frekansları ve Şekil 2.32.'den bu frekanslara karşılık gelen katsayılar görülmektedir.

Tablo 2.7. T3-FSY yapısının soğurma frekansları

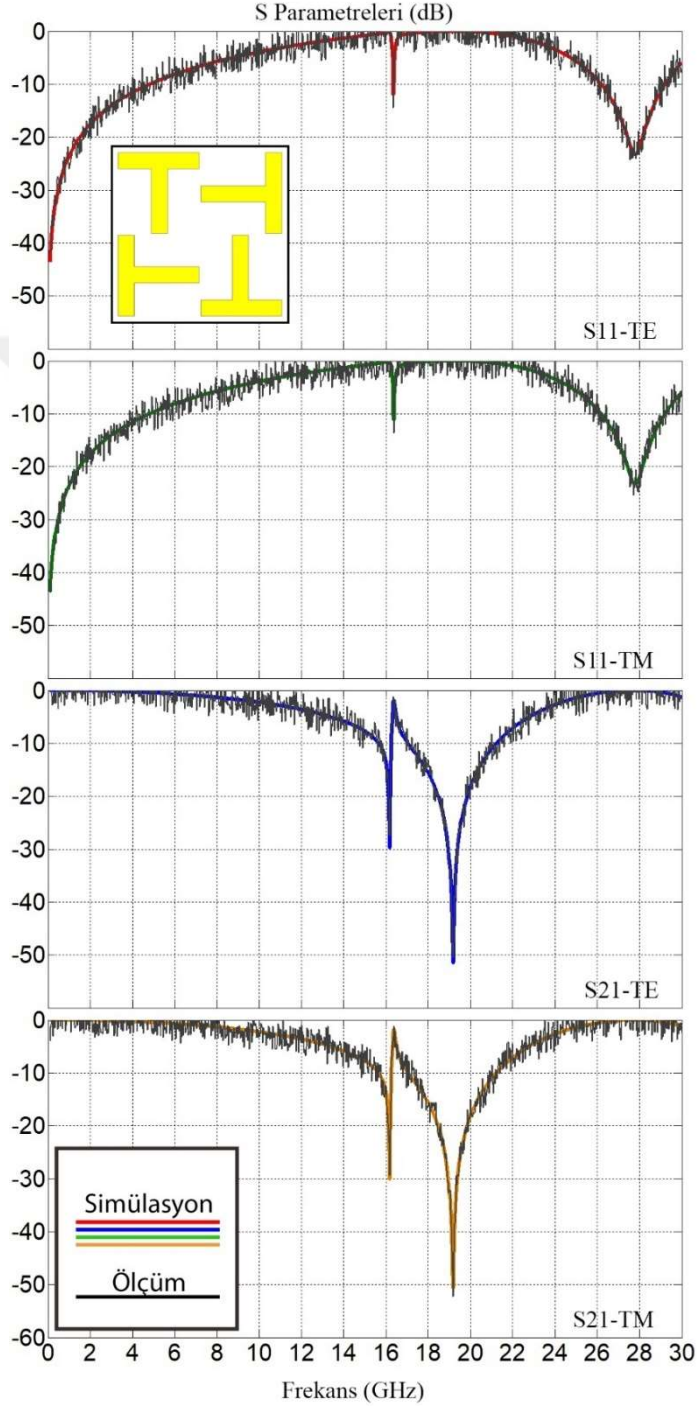
Test Edilen Parametre	Soğurma Frekansı
$y=0\text{ mm}$	16,99 GHz
$y=1,25\text{ mm}$	17,50 GHz / 25,81 GHz
$y=2,50\text{ mm}$	17,71 GHz
$y=4\text{ mm}$	13,52 GHz / 17,65 GHz / 28,53 GHz



Şekil 2.32. T3-FSY Yapısının soğurma karakteristiği

2.5.5. T3-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması

S_{11} ve S_{21} parametrelerinin test sonrasında elde edilen değerlerinin simülasyon sonuçları ile kıyaslanması Şekil 2.33.'dedir.



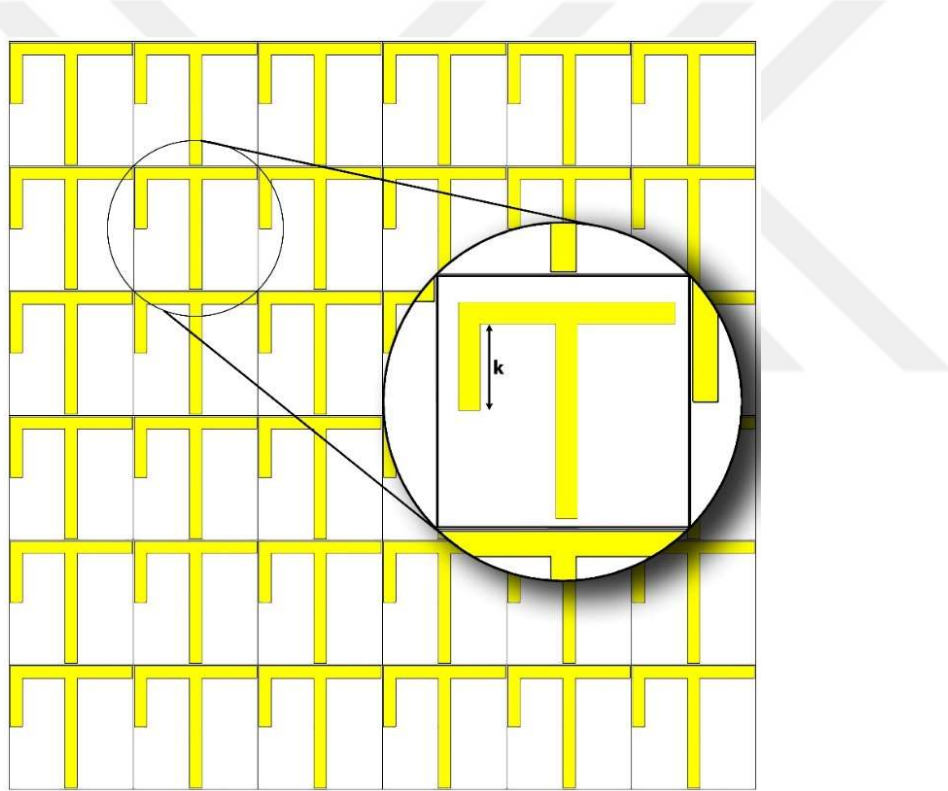
Şekil 2.33. T3-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması

2.6. T4-FSY Yapısı

T4-FSY yapısı asimetrik olarak tasarlanmıştır. Dikey yönde sol tarafa yerleştirilen bakır lam şeklin y eksenini doğrultusunda simetrisini bozmaktadır.

2.6.1. T4-FSY Yapısının Geometrisi

T4-FSY için parametreler: $W = 10$ mm, $L = 10$ mm ve k mm cinsinden değişken parametredir. Şekil 2.34.'den görüleceği üzere temel yapı T şeklinin sol tarafına dikey eksende şerit eklenerek yeni bir tasarım elde edilmiştir. Bu tasarımın diğerlerinden farklı yönü k değişken parametresi şeklin simetrisini bozmaktadır ve bu değişimin sonuca yansımaları incelemektedir.



Şekil 2.34. T4-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı

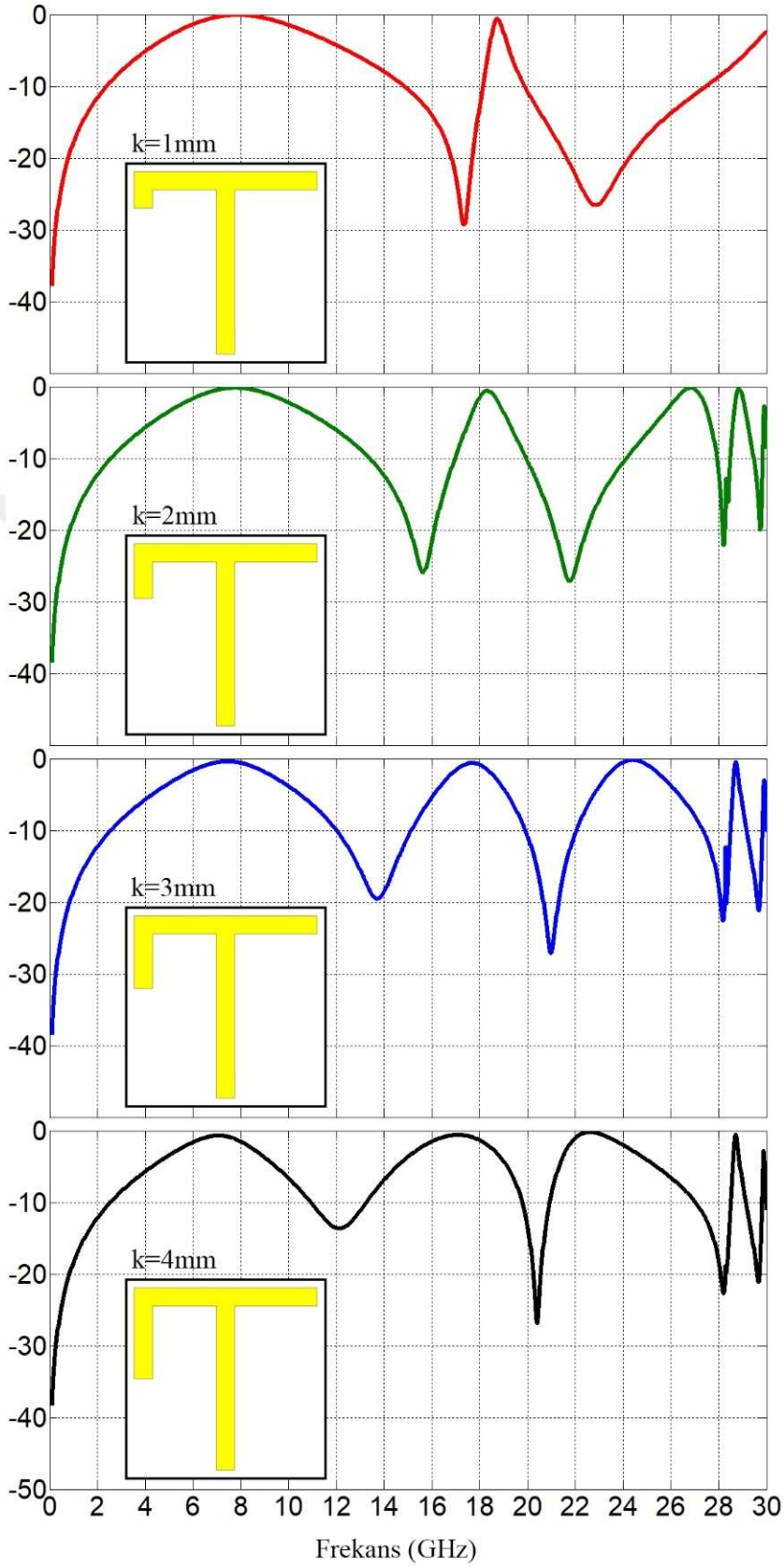
2.6.2. T4-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları

k parametresindeki artış şeklin simetrisini bozarken, sistemin eşdeğer sığasını da değiştirmektedir. Bu değişim rezonans frekans sayısını da değiştirmektedir. Tablo 2.8.'den rezonans frekanslarına bakıldığında TM polarizasyonu için sadece tek rezonans frekansı olduğu görülmektedir. Bunun sebebi yatay doğrultuda tasarıma herhangi bir

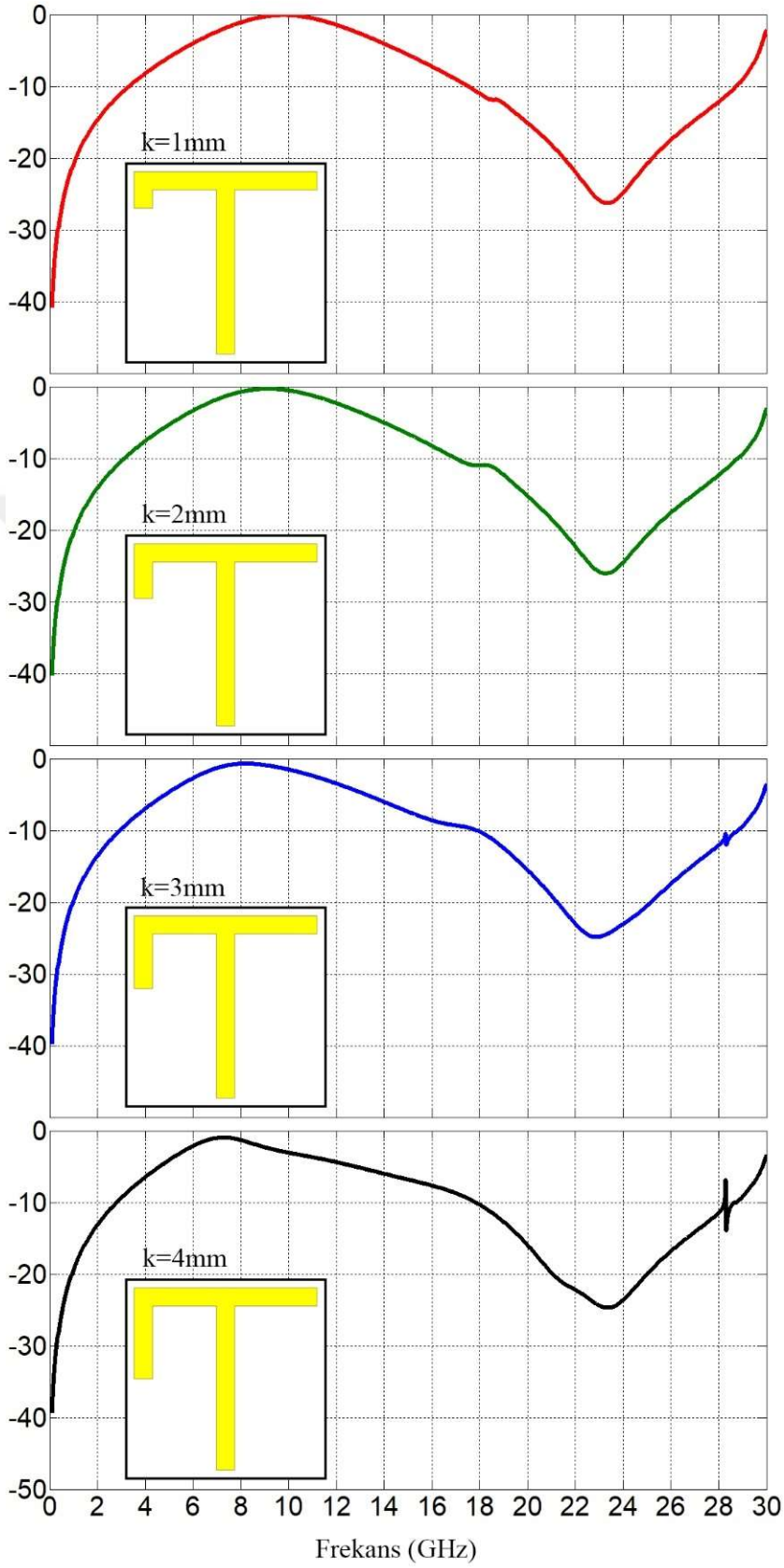
iletken şerit eklenmemesidir. Yine eşdeğer devreye bağlantılı olarak k parametresinin artışı rezonans frekansındaki genliğin azalmasına neden olmaktadır. TE polarizasyonu için başlangıçta iki rezonans frekansı bulunan sistemin k=4 noktasında beş farklı noktada rezonans frekansı olduğu Şekil 2.37.'de görülmektedir. Şekil 2.35. ve Şekil 2.36. TE ve TM polarizasyonları için S_{11} parametre değişimlerini göstermektedir.

Tablo 2.8. T4-FSY yapısındaki k parametresinin değişimine göre rezonans frekansları

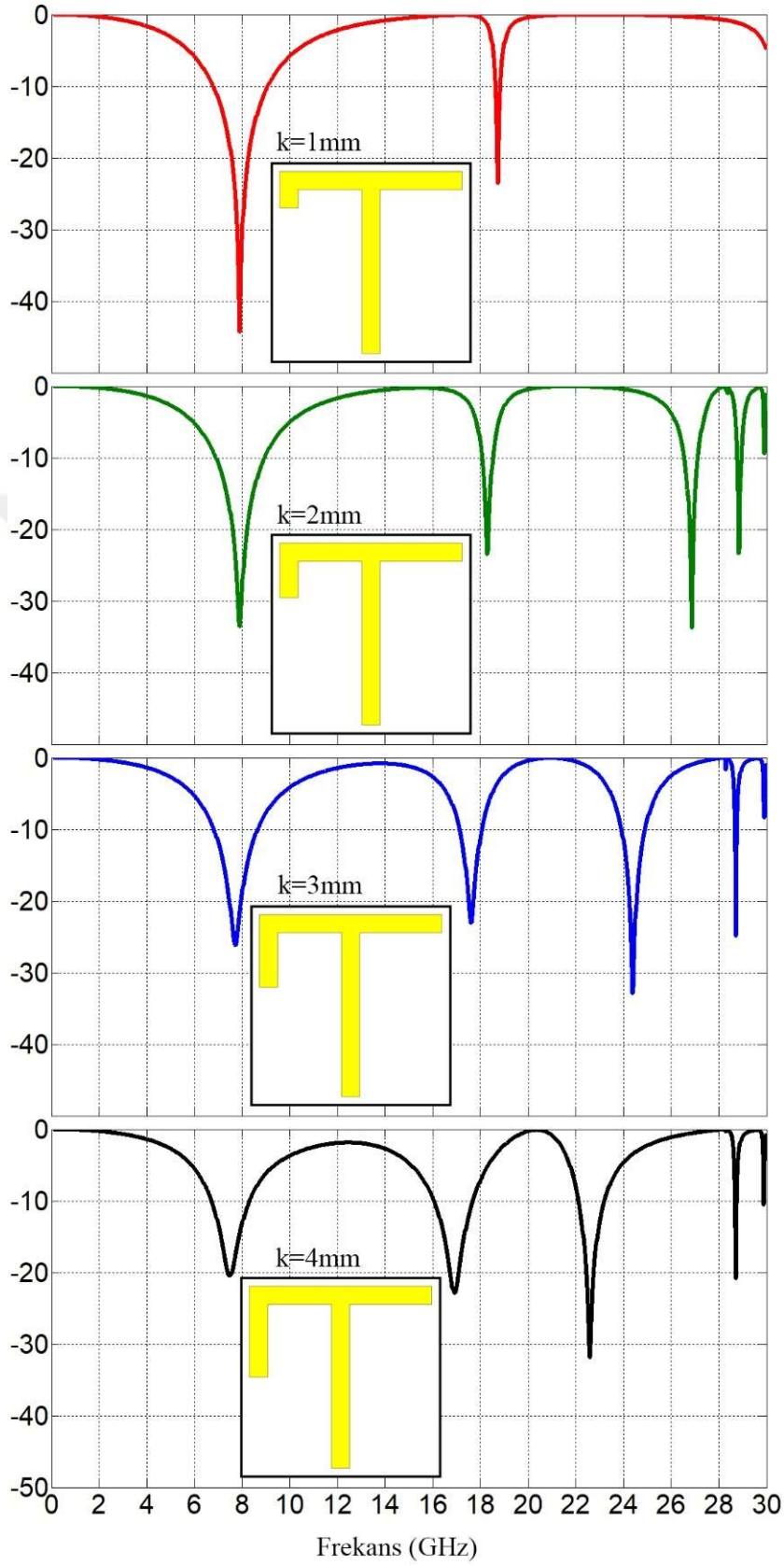
	Test Edilen Parametre	Rezonans Frekansı
TE	k=1 mm	7,90 GHz / 18,73 GHz
	k=2 mm	7,90 GHz / 18,28 GHz / 26,86 GHz / 28,83 GHz / 29,91 GHz
	k=3 mm	7,72 GHz / 17,59 GHz / 24,38 GHz / 28,71 GHz / 29,91 GHz
	k=4 mm	7,48 GHz / 16,90 GHz / 22,58 GHz / 28,71 GHz / 29,88 GHz
TM	k=1 mm	9,82 GHz
	k=2 mm	9,28 GHz
	k=3 mm	8,68 GHz
	k=4 mm	7,90 GHz



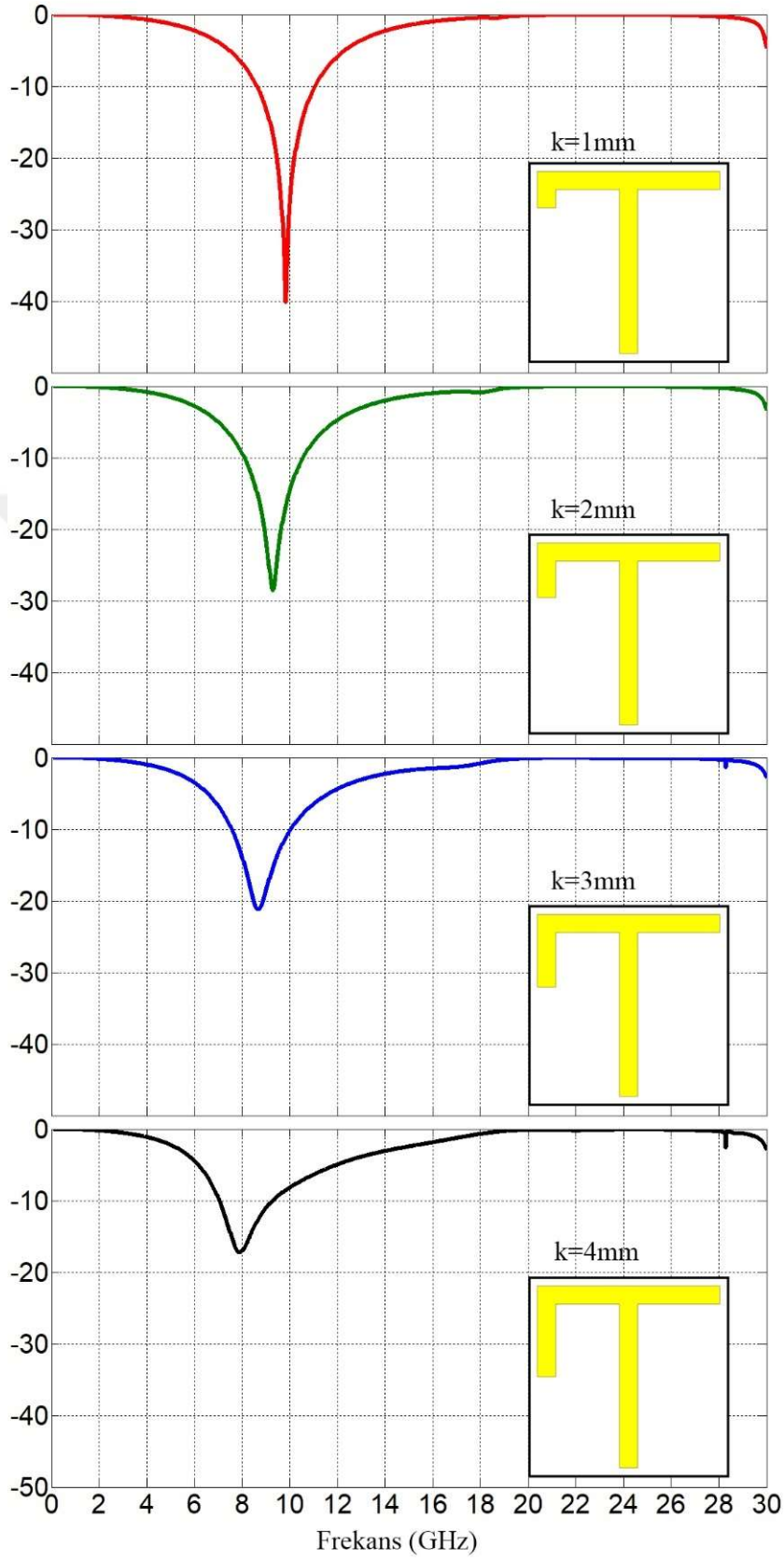
Şekil 2.35. T4-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TE Polarizasyonu



Şekil 2.36. T4-FSY yapısına ait S11 Parametresi TM Polarizasyonu

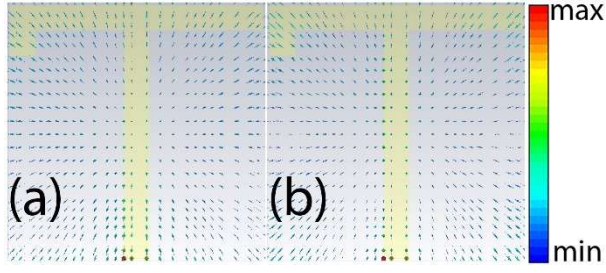


Şekil 2.37. T4-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu

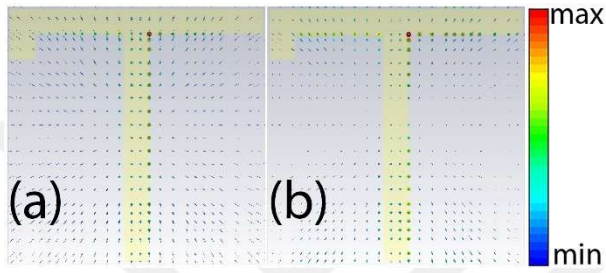


Şekil 2.38. T4-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu

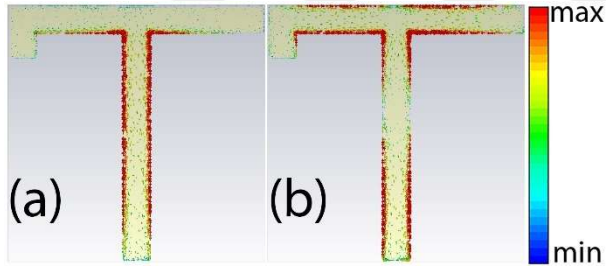
2.6.3. T4-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve Yüzey Akım



Şekil 2.39. T4-FSY Elektrik alan çizgileri



Şekil 2.40. T4-FSY Manyetik alan çizgileri



Şekil 2.41. T4-FSY Yüzey akım çizgileri

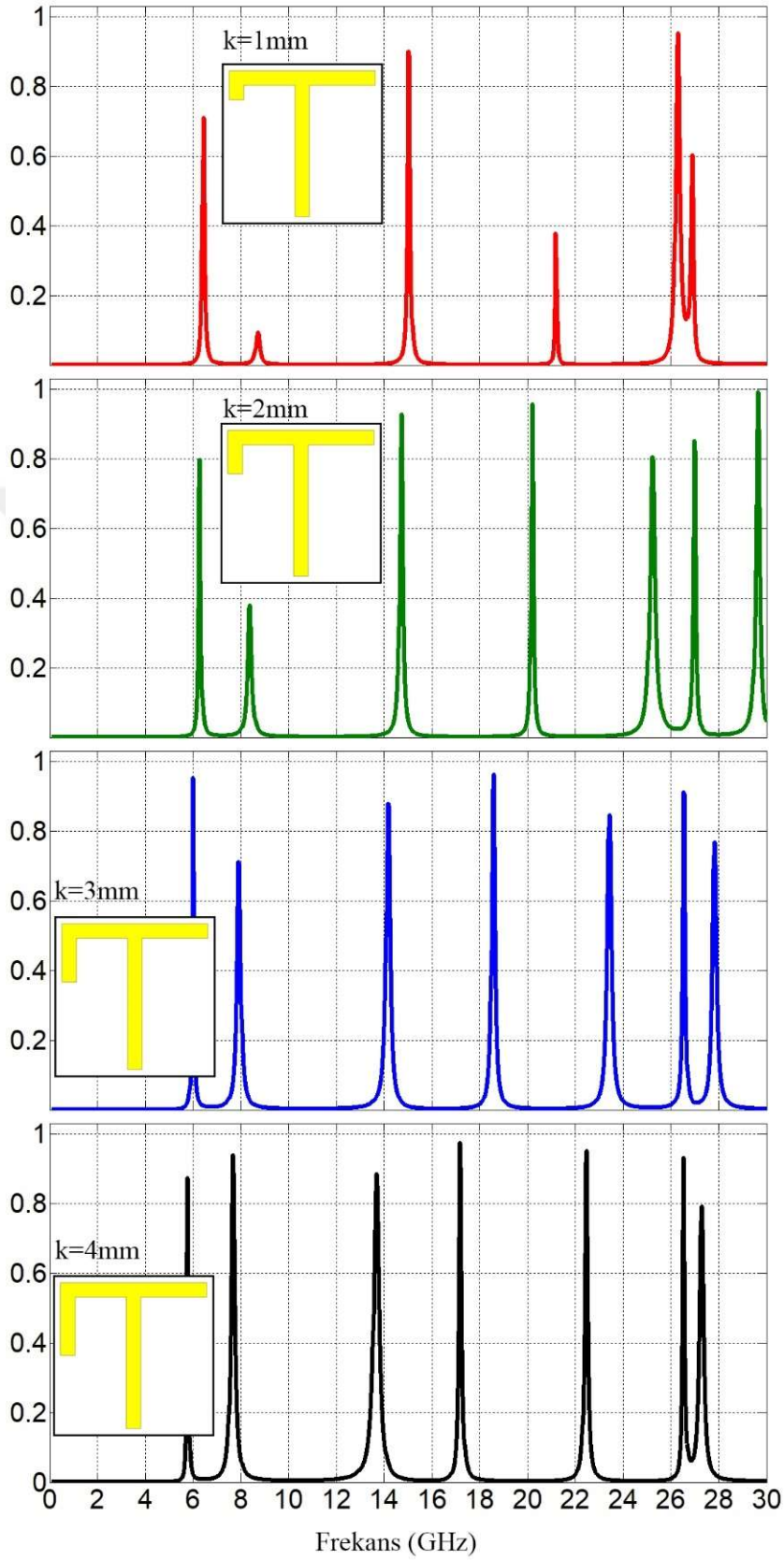
Şekil 2.39. ve Şekil 2.40.'da elektrik ve manyetik alan çizgilerinin rezonans frekanslarındaki yoğunluklar görülmektedir. Şekil 2.41.(a)'da yüzey akım çizgilerinin dağılımı dikey şerit üzerindeyken, Şekil 2.41.(b)'de yatay kollara doğru dağılmaktadır. Elektrik alan çizgileri, manyetik alan çizgileri ve yüzey akım çizgileri dağılım simülasyonları için sadece deneysel ortamda test edilen boardlar için elde edilen değerler kullanılmıştır.

2.6.4. T4-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği

Şeklin simetrisi bozulduğunda soğurma değerleri ve soğurma frekansları da giderek artmaktadır. Bu oran $k=4\text{mm}$ değerinde en yüksek seviyelerdedir. Soğurma frekansları Tablo 2.9.'da gösterilmiştir ve bu soğurma frekanslarına karşılık gelen genliklerde Şekil 2.42.'de gösterildiği gibidir.

Tablo 2.9. T4-FSY yapısının soğurma frekansları

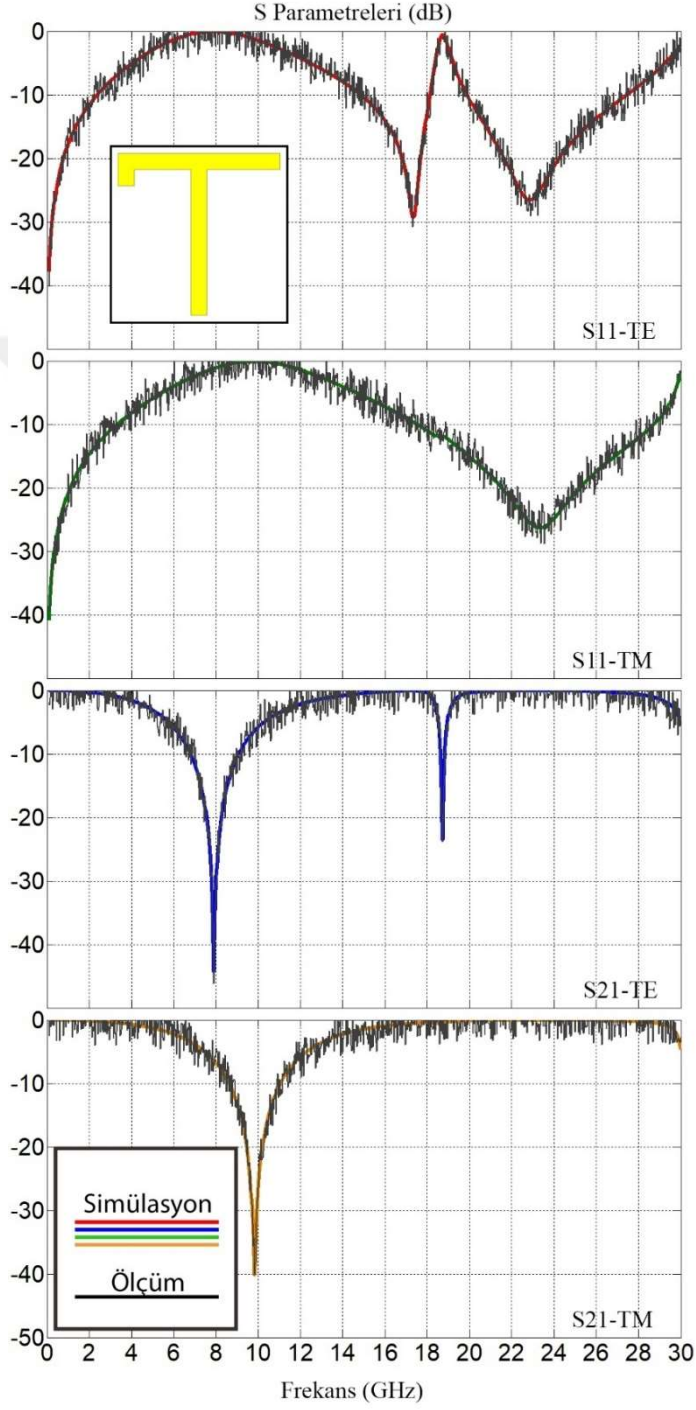
Test Edilen Parametre	Soğurma Frekansı
$k=1\text{ mm}$	6,44 GHz / 8,71 GHz / 15,02 GHz / 21,18 GHz / 26,29 GHz / 26,29 GHz
$k=2\text{ mm}$	6,29 GHz / 8,38 GHz / 14,72 GHz / 20,19 GHz / 25,22 GHz / 26398 GHz / 29,64 GHz
$k=3\text{ mm}$	5,99 GHz / 7,90 GHz / 14,15 GHz / 18,58 GHz / 23,42 GHz / 26,53 GHz / 27,82 GHz
$k=4\text{ mm}$	5,78 GHz / 7,66 GHz / 13,67 GHz / 17,17 GHz / 22,46 GHz / 26,53 GHz / 27,28 GHz



Şekil 2.42. T4-FSY Yapısının soğurma karakteristiği

2.6.5. T4-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması

S_{11} ve S_{21} parametrelerinin test sonrasında elde edilen değerlerinin simülasyon sonuçları ile kıyaslanması Şekil 2.43.'tedir.



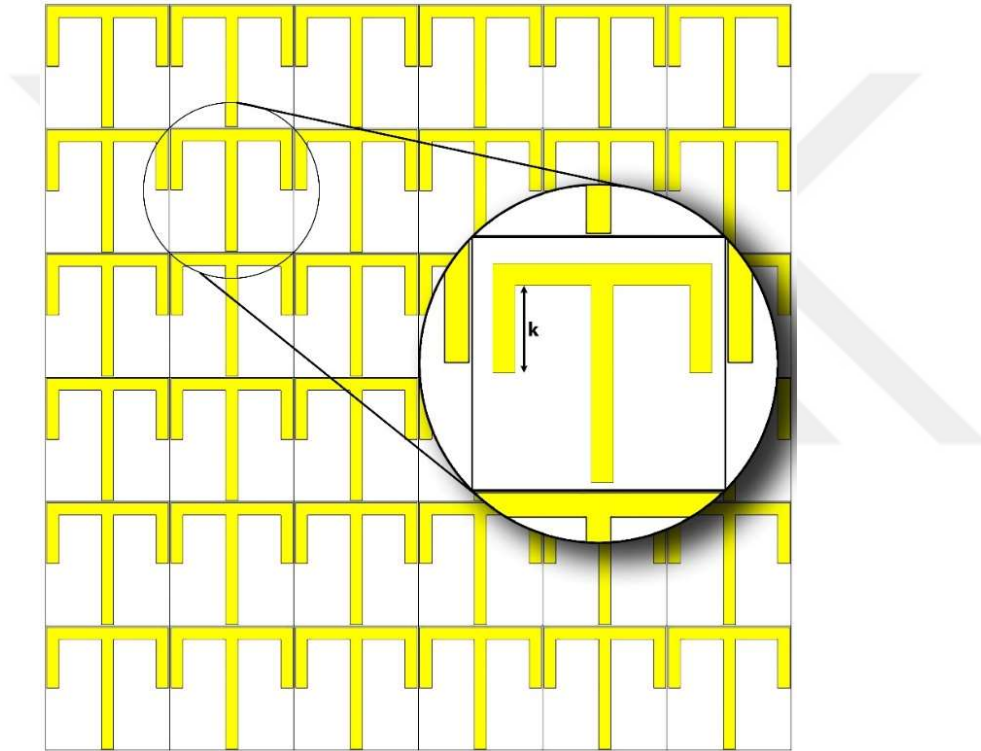
Şekil 2.43. T4-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması

2.7. T5-FSY Yapısı

T5-FSY yapısı, T4-FSY yapısına ek olarak sağ tarafa dikey ekseninde bakır lam yerleştirilmesiyle y eksenine göre simetrik tasarlanmıştır.

2.7.1. T5-FSY Yapısının Geometrisi

T5-FSY için parametreler: $W = 10$ mm, $L = 10$ mm ve k mm cinsinden değişken parametredir. Şekil 2.44.'de gösterilen FSY yapısı Şekil 2.34.'te gösterilen tasarımın benzeri olarak dikey ekseninde sağ ve sol tarafa şeritler eklenmesiyle tasarlanmıştır.



Şekil 2.44. T5-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı

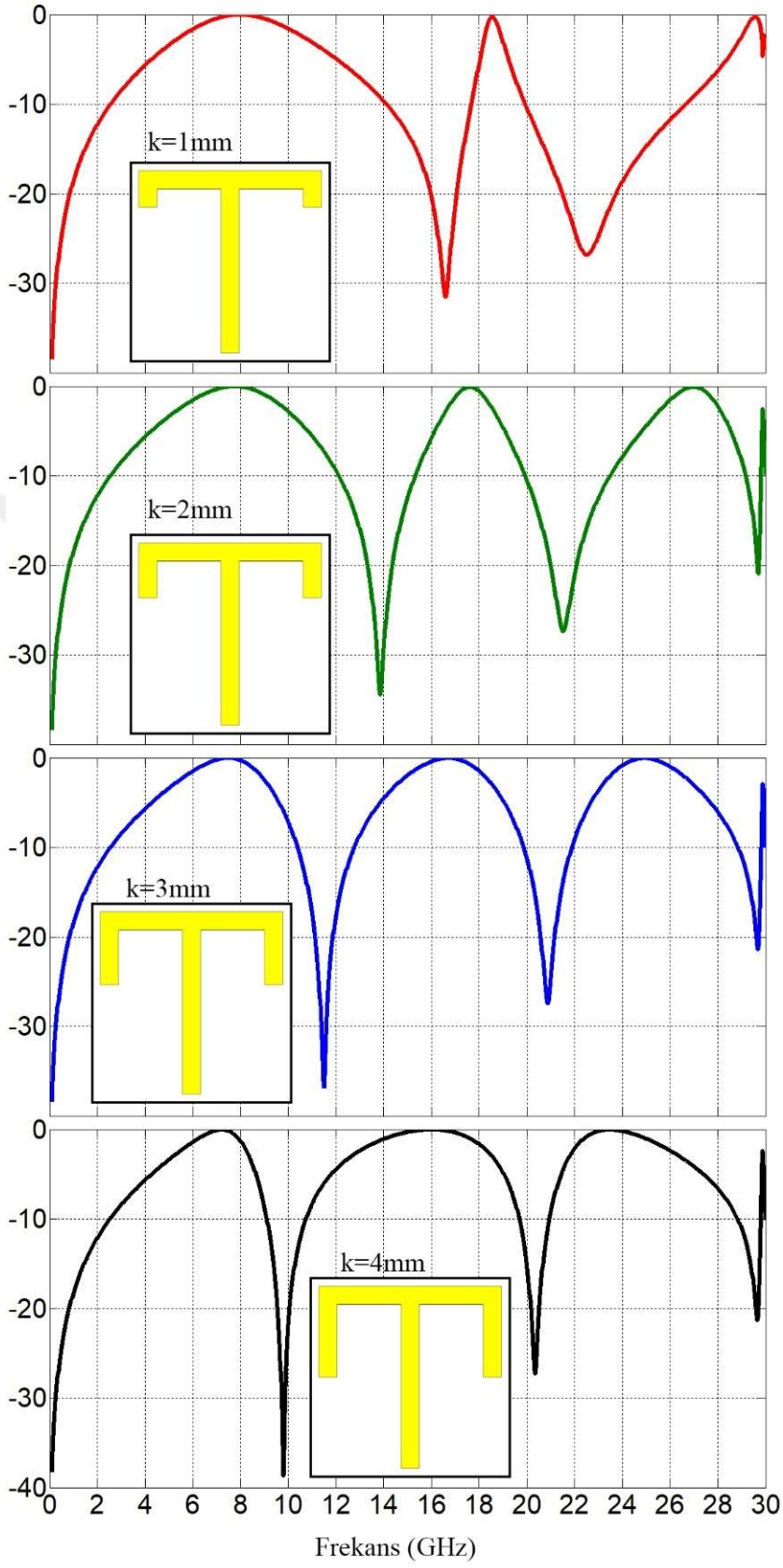
2.7.2. T5-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları

Genel olarak tasarıma bakıldığı zaman düşey doğrultuda üç adet şerit olduğu görülmekte ve bu sebeple TE polarizasyonunda da üç rezonans frekansı ağırlık göstermektedir. Dördüncü oluşan frekans sistemin yatay ekseninde bulunan şeridin genişliğinden dolayı oluşmaktadır. Yine aynı şekilde TM polarizasyon frekansı da bu sebeple 5-9 GHz arasında ve tek olarak öne çıktığı görülmektedir. Tasarıma ait rezonans frekansları Tablo 2.10.'da gösterildiği gibidir.

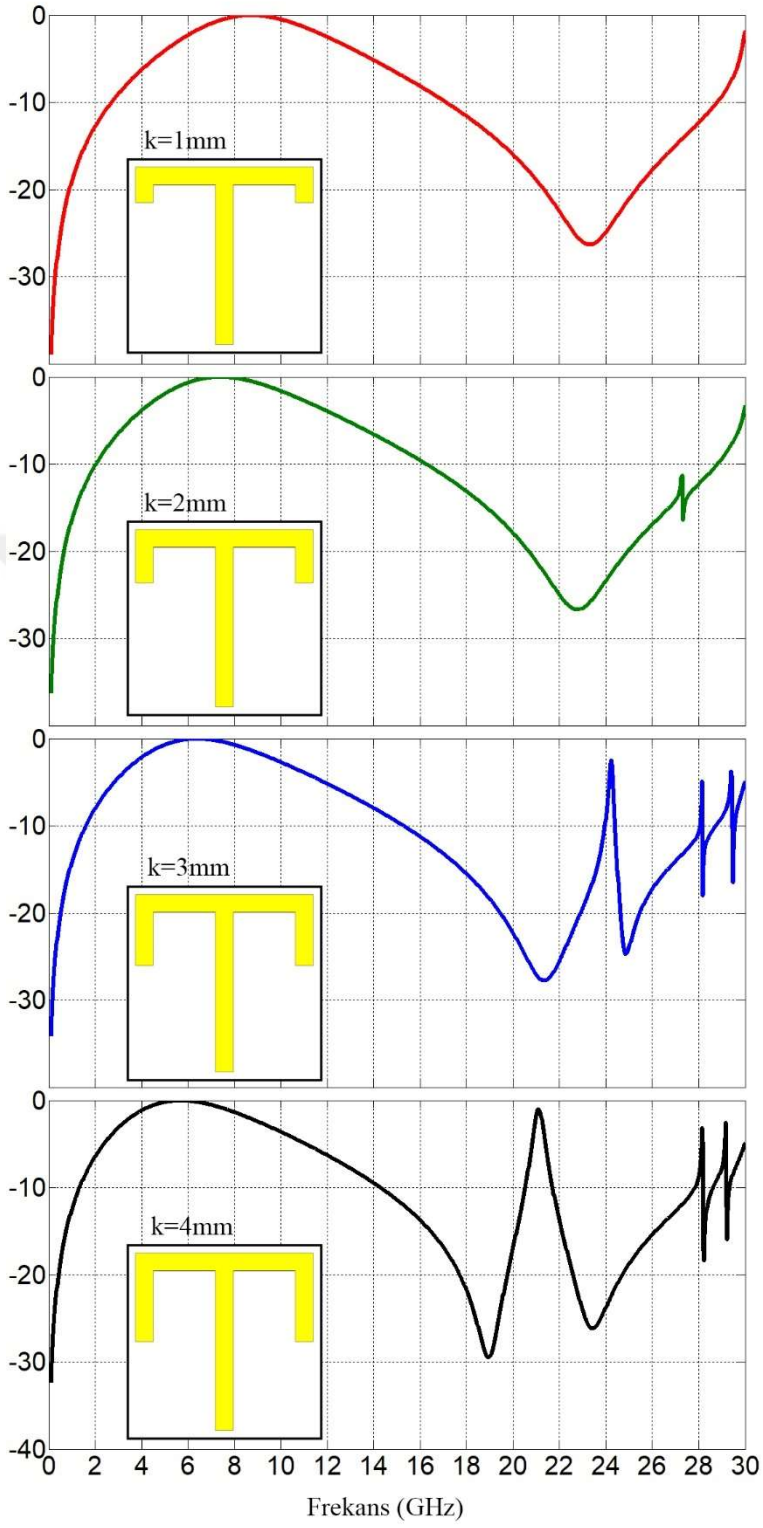
Tablo 2.10. T5-FSY yapısındaki k parametresinin değişimine göre rezonans frekansları

	Test Edilen Parametre	Rezonans Frekansı
TE	k=1 mm	7,99 GHz / 18,55 GHz / 29,58 GHz
	k=2 mm	7,75 GHz / 17,62 GHz / 27,01 GHz / 29,88 GHz
	k=3 mm	7,51 GHz / 16,72 GHz / 24,91 GHz / 29,88 GHz
	k=4 mm	7,24 GHz / 16,04 GHz / 23,48 GHz / 29,88 GHz
TM	k=1 mm	8,74 GHz
	k=2 mm	7,39 GHz
	k=3 mm	6,38 GHz / 24,23 GHz
	k=4 mm	5,69 GHz / 21,09 GHz

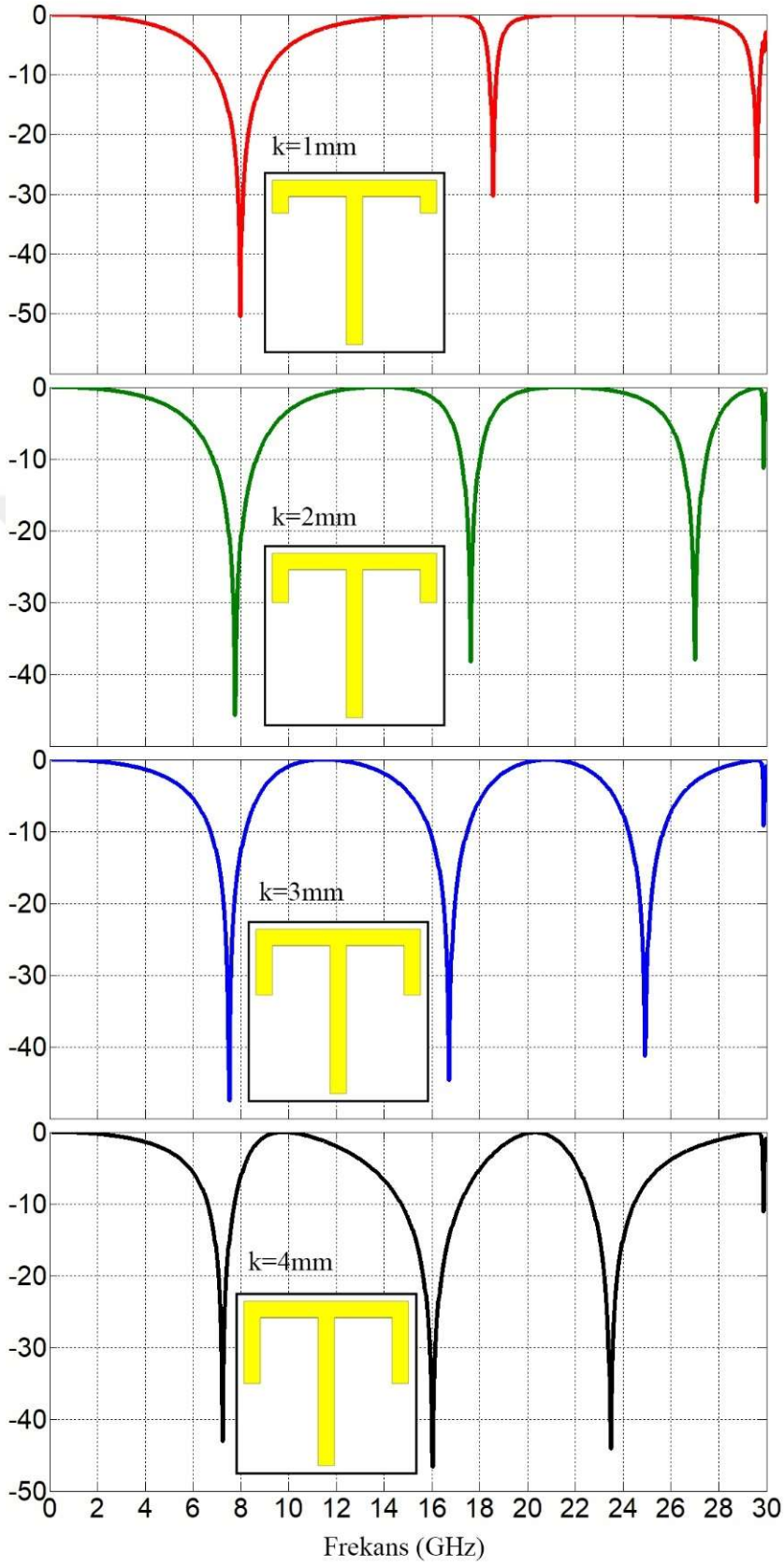
k parametresindeki artış doğrultusunda; TE polarizasyon için ilk rezonans frekansları ortalama 250 MHz gibi bir değerle sola doğru kayma göstermektedirler. Bu değerler Şekil 2.47.'de gösterildiği gibidir. TM polarizasyonu için de rezonans frekansları sola doğru bir kayma göstermektedir. Bu gösterim de Şekil 2.48.'deki gibidir. Şekil 2.45. ve Şekil 2.46. TE ve TM polarizasyonları için S_{11} parametre değişimlerini göstermektedir.



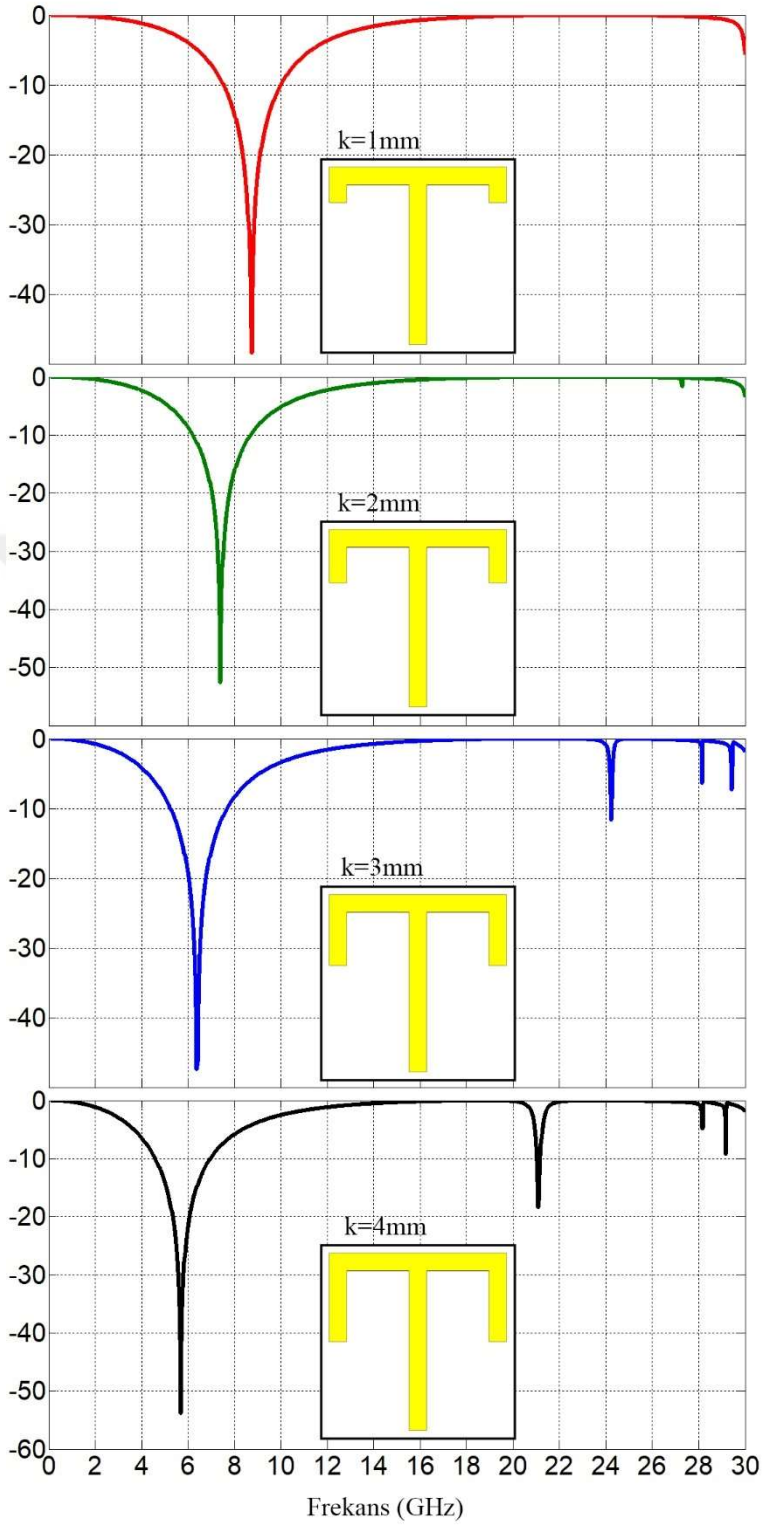
Şekil 2.45. T5-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TE Polarizasyonu



Şekil 2.46. T5-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TM Polarizasyonu

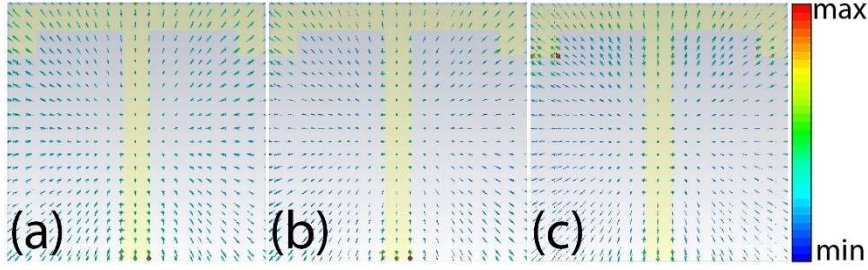


Şekil 2.47. T5-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu

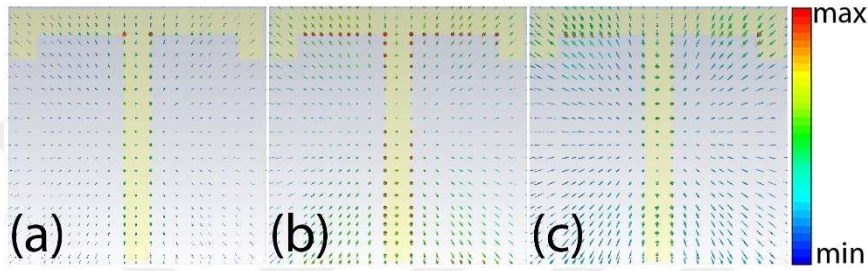


Şekil 2.48. T5-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu

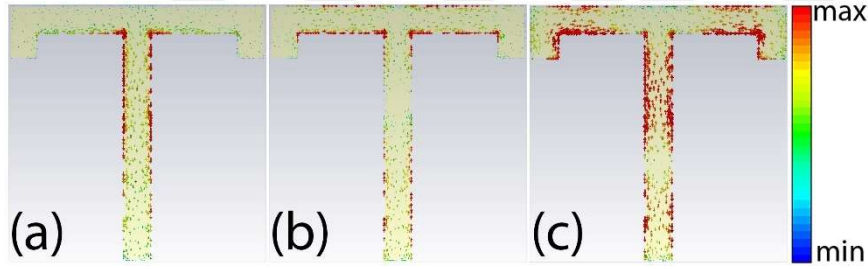
2.7.3. T5-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve Yüzey Akım



Şekil 2.49. T5-FSY Elektrik alan çizgileri



Şekil 2.50. T5-FSY Manyetik alan çizgileri



Şekil 2.51. T5-FSY Yüzey akım çizgileri

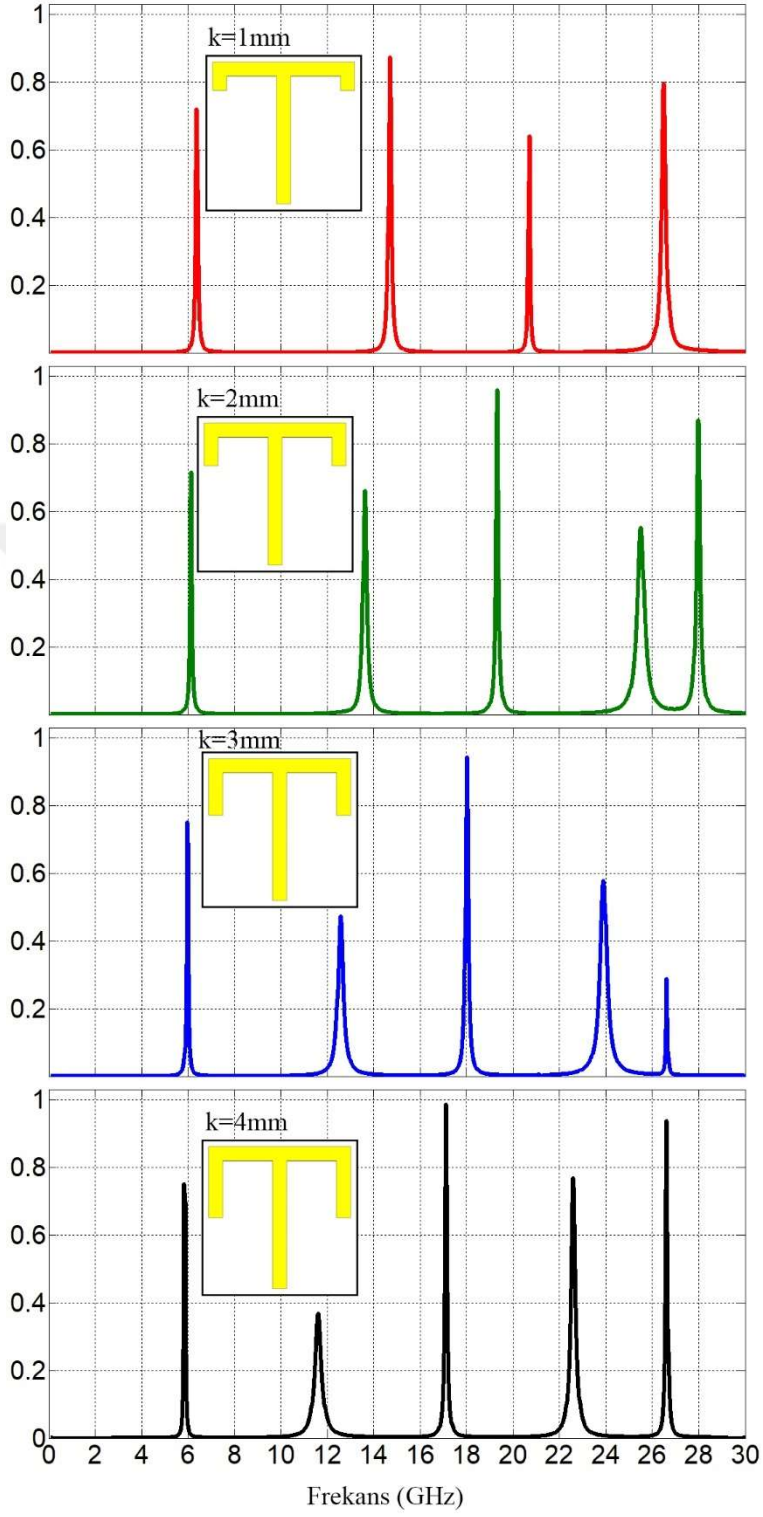
Şekil 2.49. ve Şekil 2.50.'de elektrik ve manyetik alan çizgilerinin rezonans frekanslarındaki yoğunluklar görülmektedir. Şekil 2.51.'de yüzey akım çizgilerinin dağılımı ve bu dağılımında özellikle dikey şerit üzerinde artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 2.51.(a)'da yüzey akım yoğunluğu dikey şerit üzerindeyken, Şekil 2.51.(b)'de yüzey akım yoğunluğu yatay şerit üzerinde artmaktadır. Şekil 2.51.(c)'de ise yüzey akım yoğunluğu özellikle şeklin üst kısmında, yatay ve dikey kollarda diğer frekanslara göre artış göstermektedir.

2.7.4. T5-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği

Tablo 2.11.'de tasarıma ait soğurma frekansları ve Çizelge 2.40.'da da bu frekanslara ait soğurma genlikleri görülmektedir. $k=4$ parametre değeri için 17GHz frekanslarında soğurma %99 seviyesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 2.11. T5-FSY yapısının soğurma frekansları

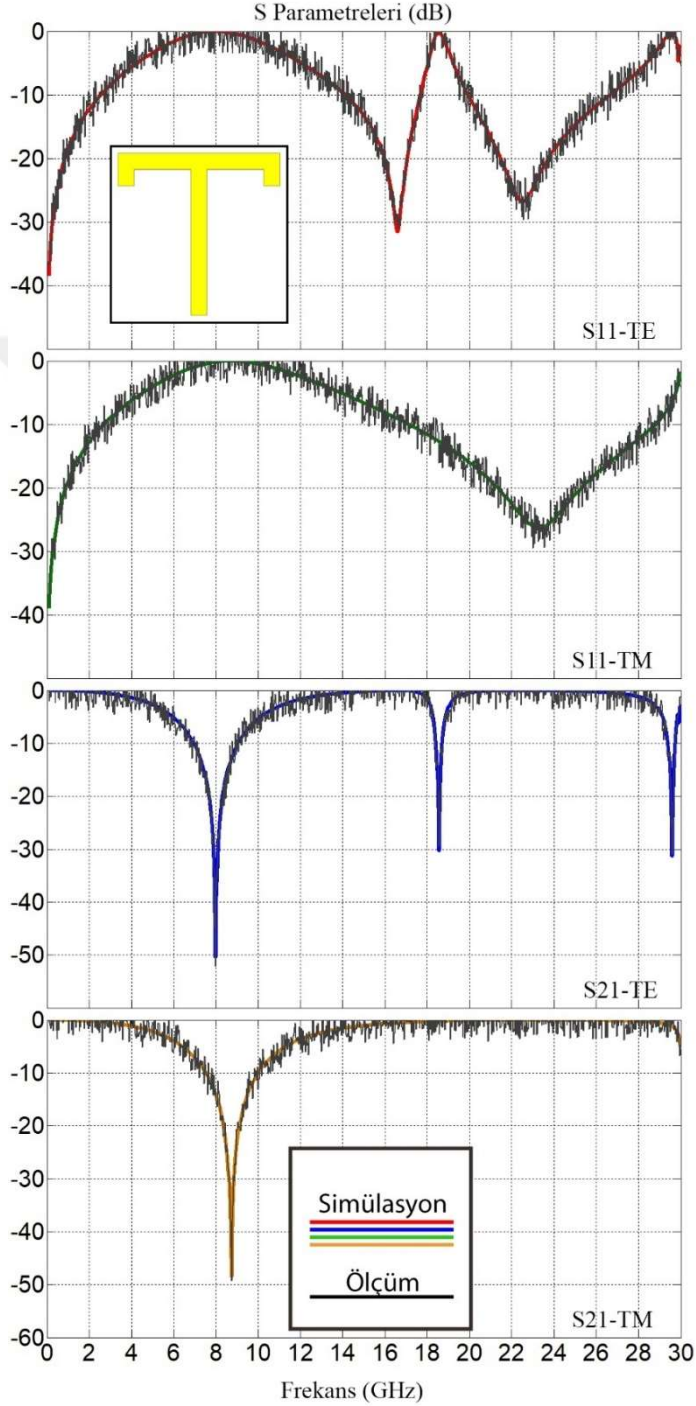
Test Edilen Parametre	Soğurma Frekansı
$k=1$ mm	6,38 GHz / 14,69 GHz / 20,70 GHz / 26,50 GHz
$k=2$ mm	6,14 GHz / 13,61 GHz / 19,33 GHz / 25,51 GHz / 27,97 GHz
$k=3$ mm	5,96 GHz / 12,57 GHz / 18,01 GHz / 23,90 GHz / 26,62 GHz
$k=4$ mm	5,84 GHz / 11,61 GHz / 17,11 GHz / 22,58 GHz / 26,62 GHz



Şekil 2.52. T5-FSY Yapısının soğurma karakteristiği

2.7.5. T5-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması

Şekil 2.53.'de deney sonuçları ile simülasyon kıyaslamaları diğer tasarımlarda olduğu gibi beklenen şekilde birbirlerini karşılamaktadırlar.



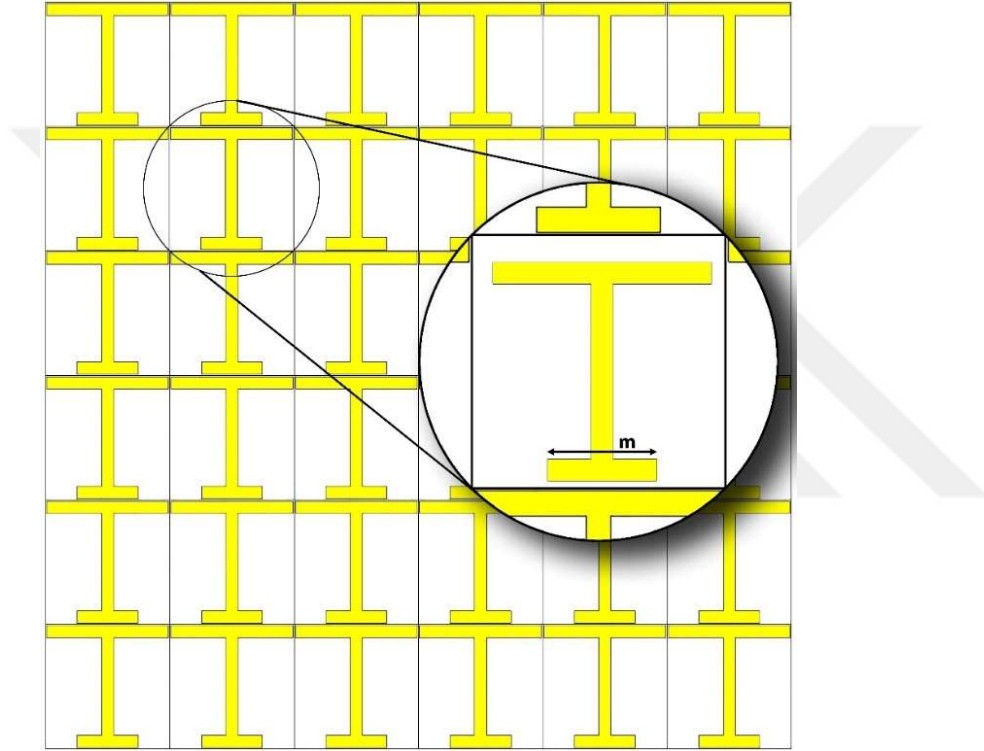
Şekil 2.53. T5-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması

2.8. T6-FSY Yapısı

T6-FSY y ekseninde simetri göstermektedir ve temel T şekline yatay doğrultuda şerit eklenerek tasarım yapılmıştır.

2.8.1. T6-FSY Yapısının Geometrisi

T6-FSY için parametreler: $W = 10$ mm, $L = 10$ mm ve m mm cinsinden değişken parametredir. Şekil 2.54.'te değişken parametre gösterilmektedir.



Şekil 2.54. T6-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı

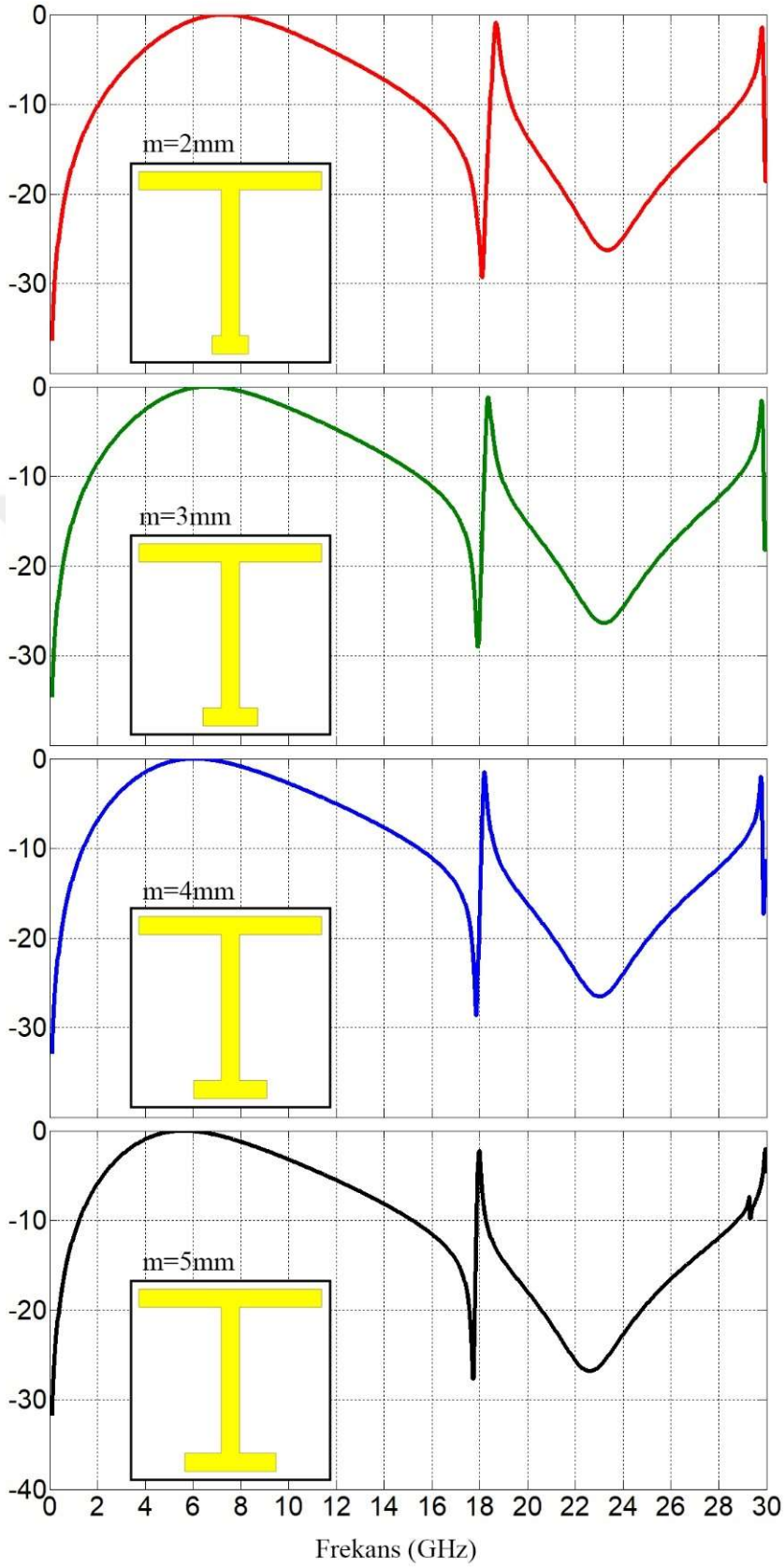
2.8.2. T6-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları

Tablo 2.12.'den hareketle TE polarizasyonu rezonans frekansları ortalama 600 MHz civarında sola doğru kayma göstermektedir. Bu rezonans frekanslarına karşılık gelen genlikler Şekil 2.57.'de gösterilmiştir. TM polarizasyonu için bakıldığı zaman ortalama 20 MHz civarında bir kayma söz konusudur ve Şekil 2.58.'de gösterildiği gibidir.

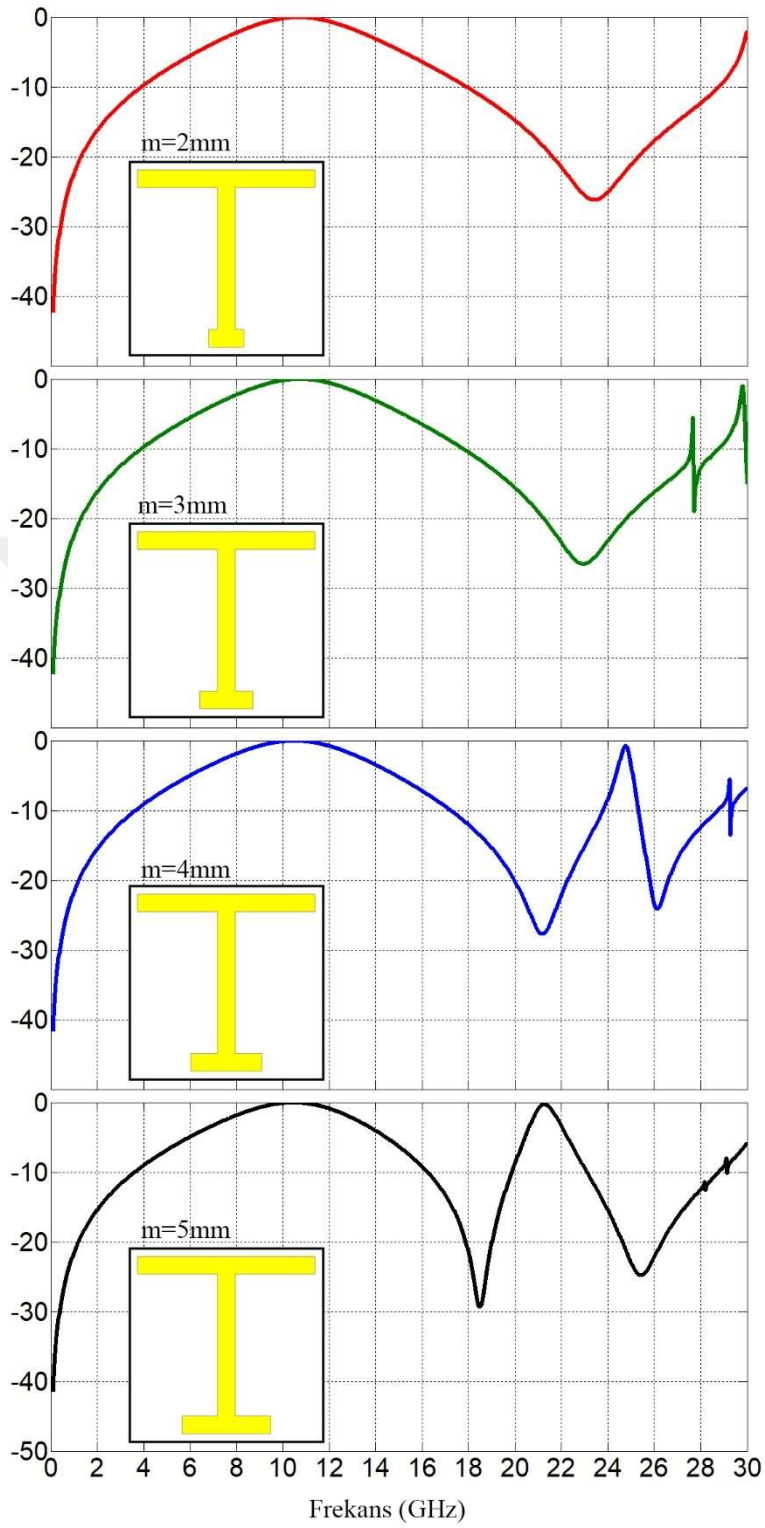
Şekil 2.55. ve Şekil 2.56. TE ve TM polarizasyonları için S_{11} parametre değişimlerini göstermektedir.

Tablo 2.12. T6-FSY yapısındaki m parametresinin değişimine göre rezonans frekansları

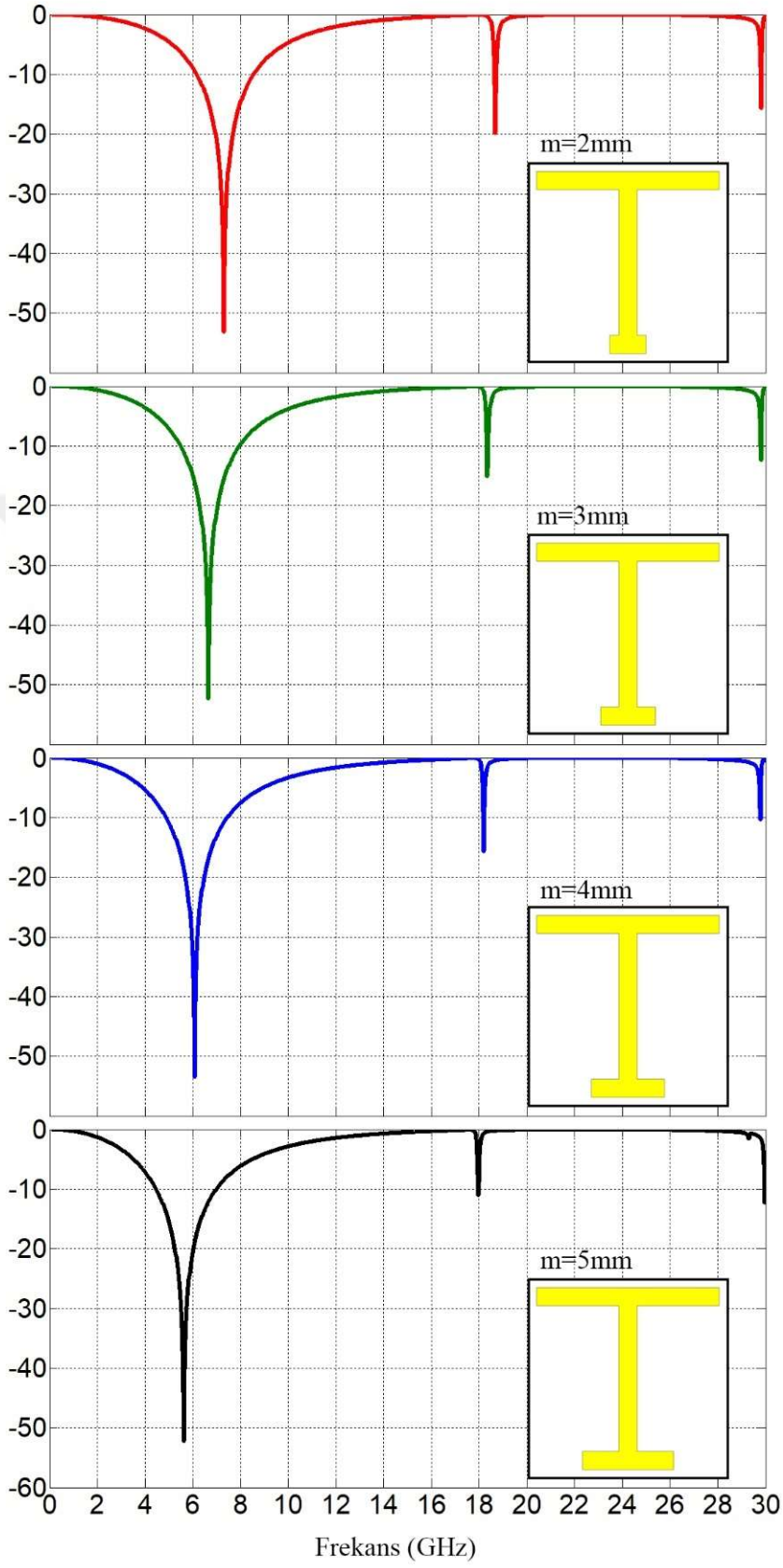
	Test Edilen Parametre	Rezonans Frekansı
TE	m=2 mm	7,30 GHz / 18,67 GHz / 29,82 GHz
	m=3 mm	6,65 GHz / 18,34 GHz / 29,82 GHz
	m=4 mm	6,08 GHz / 18,19 GHz / 29,79 GHz
	m=5 mm	5,63 GHz / 17,95 GHz / 29,97 GHz
	m=2 mm	10,68 GHz
TM	m=3 mm	10,74 GHz / 29,82 GHz
	m=4 mm	10,50 GHz / 24,77 GHz
	m=5 mm	10,47 GHz / 21,27 GHz



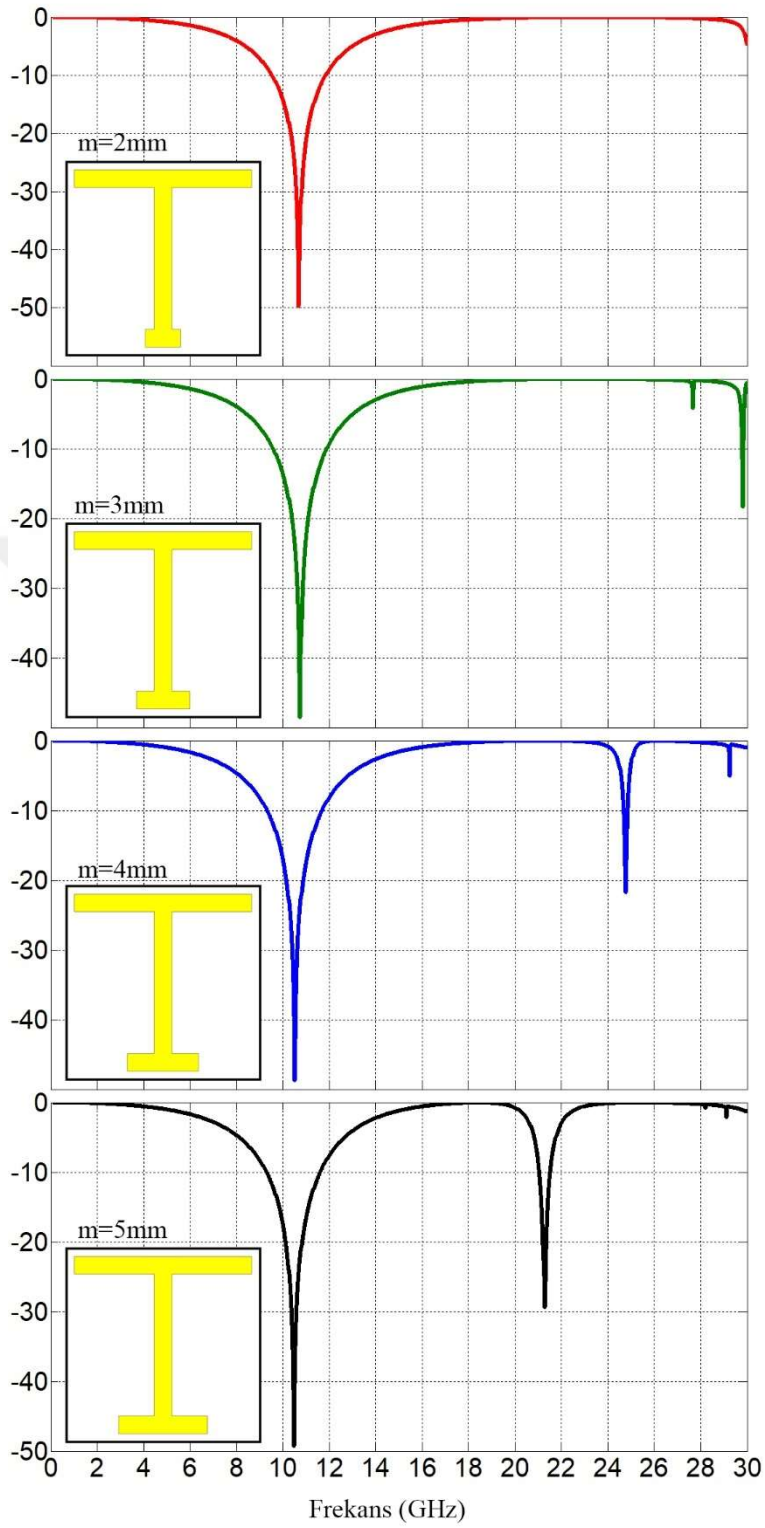
Şekil 2.55. T6-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TE Polarizasyonu



Şekil 2.56. T6-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TM Polarizasyonu

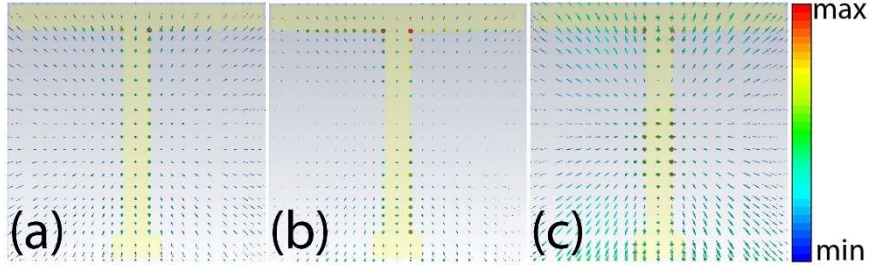


Şekil 2.57. T6-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu

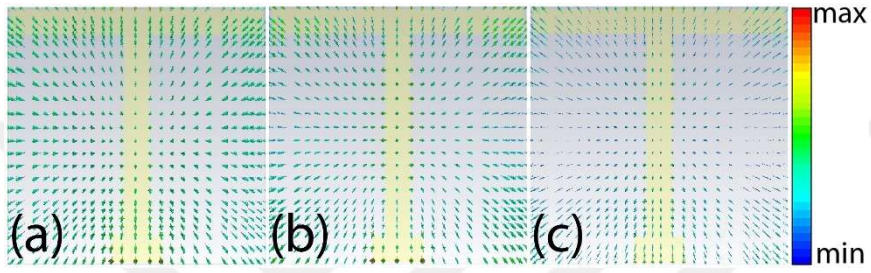


Şekil 2.58. T6-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu

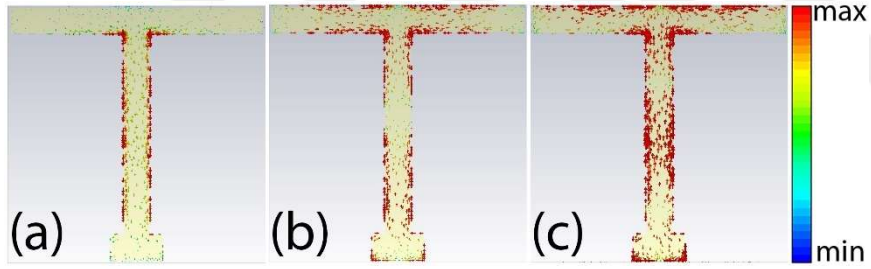
2.8.3. T6-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve YüzeY Akım



Şekil 2.59. T6-FSY Elektrik alan çizgileri



Şekil 2.60. T6-FSY Manyetik alan çizgileri



Şekil 2.61. T6-FSY YüzeY akım çizgileri

Şekil 2.59. ve Şekil 2.60.'da elektrik ve manyetik alan çizgilerinin rezonans frekanslarındaki yoğunluklar görülmektedir. Şekil 2.61.(c)'de çizgilerin yoğunluğunun arttığı görülmekte ve Şekil 2.61.(c)'de ise çizgilerin yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. Şekil 2.61.(a)'da yüzeY akım çizgilerinin dağılımı dikey şerit üzerindeyken, Şekil 2.61.(b)'de yatay kollara doğru dağılmaktadır. Şekil 2.61.(c)'de ise ağırlıklı olarak orta bölgelere doğru artış göstermektedir.

2.8.4. T6-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği

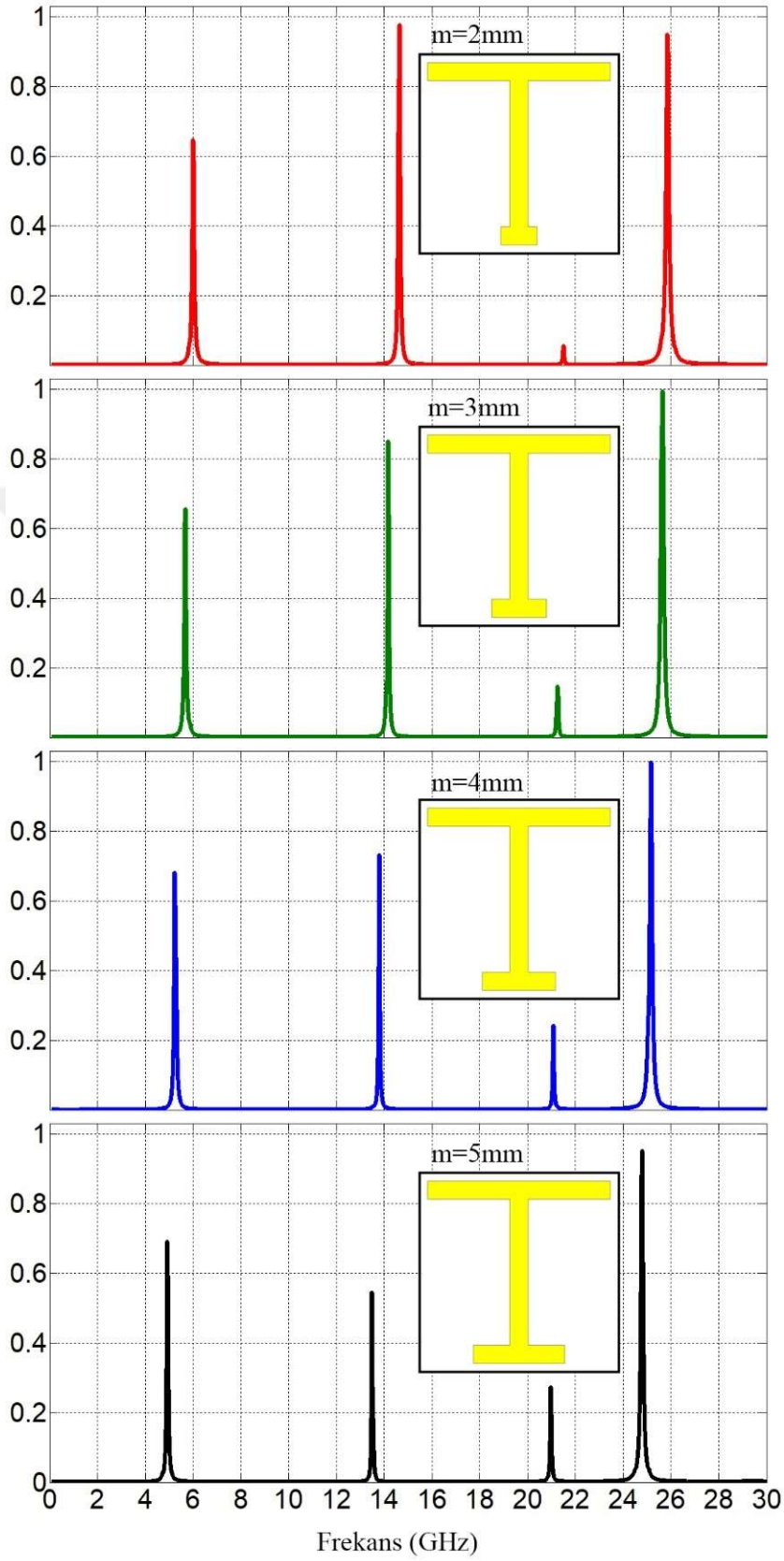
m parametresinin artmasıyla birlikte ilk soğurma frekansı ortalama 350 MHz civarında sola doğru kayma göstermektedir. Diğer soğurma frekansları Tablo 2.13’de gösterildiği gibidir.

Tablo 2.13. T6-FSY yapısının soğurma frekansları

Test Edilen Parametre	Soğurma Frekansı
m=2 mm	5,99 GHz / 14,63 GHz / 21,51 GHz / 25,84 GHz
m=3 mm	5,69 GHz / 14,15 GHz / 21,24 GHz / 25,63 GHz
m=4 mm	5,24 GHz / 17,79 GHz / 21,09 GHz / 25,16 GHz
m=5 mm	4,91 GHz / 13,49 GHz / 20,97 GHz / 24,79 GHz

Şekil 2.62.’den katsayılara bakıldığında m=2 mm için 14 GHz frekansı civarında %98, m=3 mm ve m=4 mm için 25 GHz frekansı civarında %99 ve m=5 mm için 25 GHz frekansı civarında %94 olduğu görülmektedir.

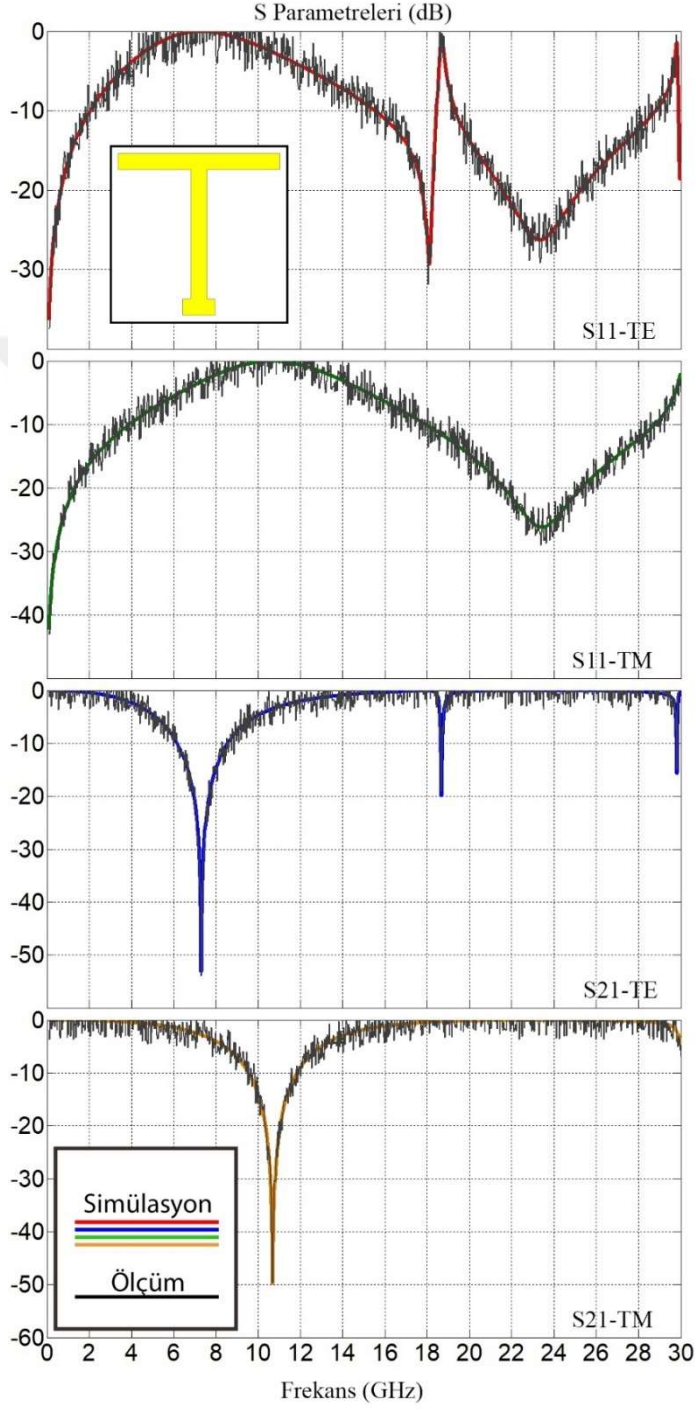
Soğurma için elde edilen değerler sistemin belirtilen frekanslarda yüksek verimlerle çalıştığını göstermektedir.



Şekil 2.62. T6-FSY Yapısının soğurma karakteristiği

2.8.5. T6-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması

S_{11} ve S_{21} parametrelerinin test sonrasında elde edilen değerlerinin simülasyon sonuçları ile kıyaslanması Çizelge 2.63.'dedir.



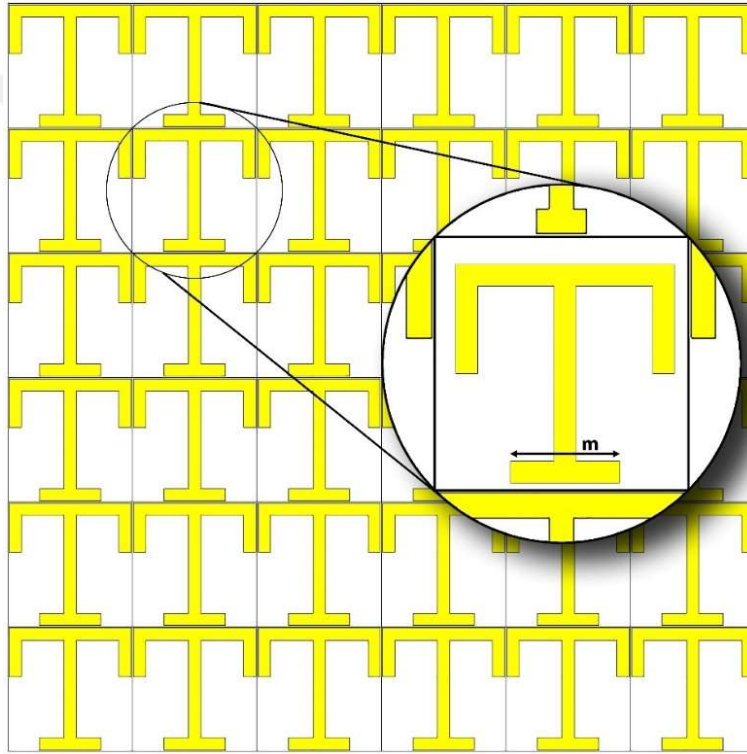
Şekil 2.63. T6-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması

2.9. T7-FSY Yapısı

T7-FSY y eksenini doğrultusunda simetrik tasarlanmıştır. Dikey elemanlar T5-FSY yapısını, yatay elemanlar T6-FSY yapısının tasarımındaki gibidir.

2.9.1. T7-FSY Yapısının Geometrisi

T7-FSY için parametreler: $W = 10$ mm, $L = 10$ mm ve m mm cinsinden değişken parametredir. Şekil 2.64.'te tasarlanan yapı yukarıda tasarlanan bütün yapıların bileşkesi şeklindedir ve değişken parametre yatay eksenindeki şerittir.



Şekil 2.64. T7-FSY yapısına ait parametreler ve birim hücre yapısı

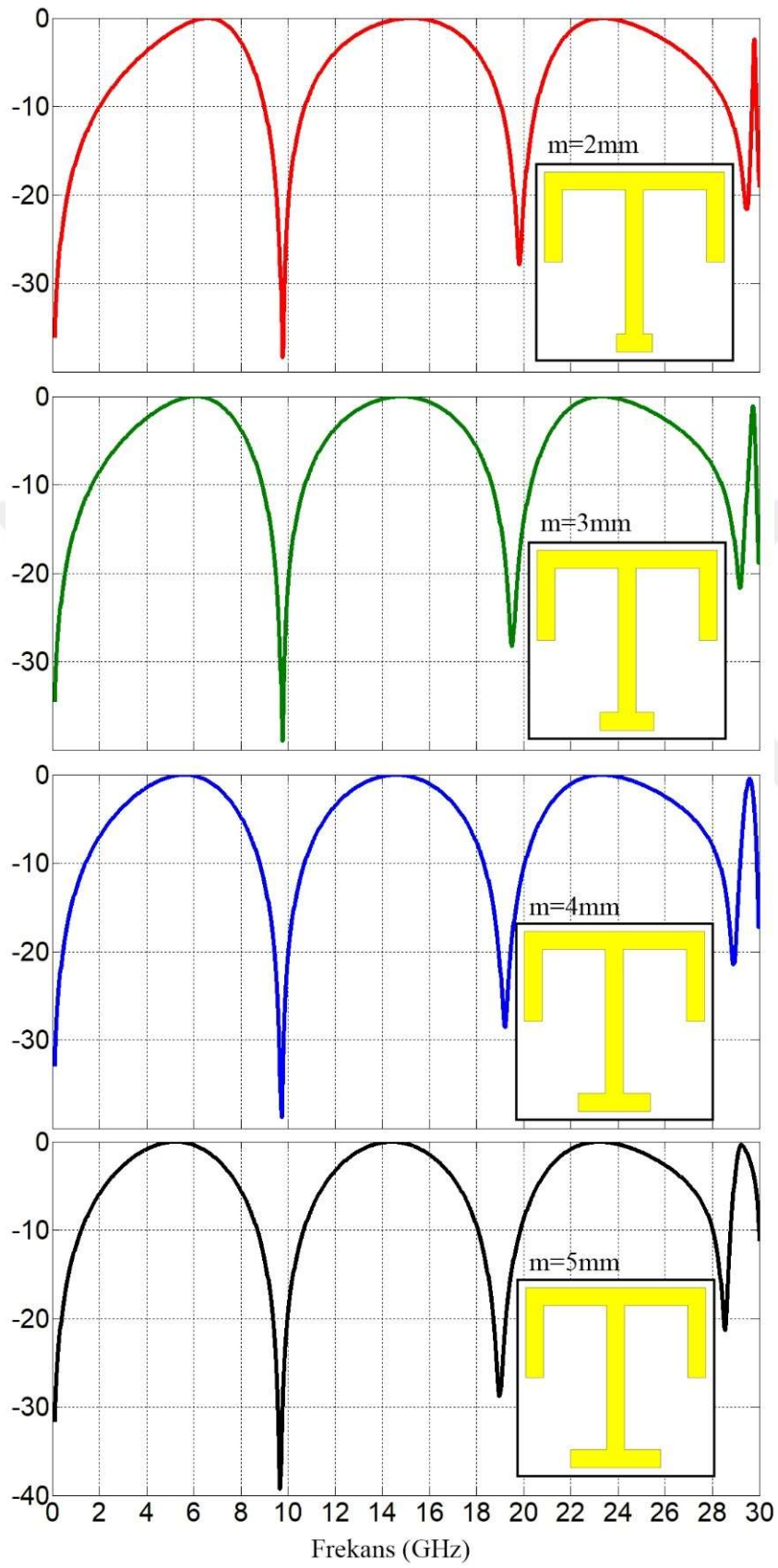
2.9.2. T7-FSY Yapısının Simülasyon Sonuçları

Tablo 2.14.'teki frekanslar incelendiği zaman TE polarizasyonu için m parametresinin artmasına karşılık rezonans frekansı ortalama 450 MHz civarında sola doğru kayma yapmaktadır. Tasarlanan yapı T5-FSY ve T6-FSY'nin birleşimi olduğu için rezonans frekansları da bu yapılara benzer sonuçlar ortaya koymaktadır. Çünkü bu tasarım dikey ekseninde üç adet yatay ekseninde ise iki adet şeridin birleştirilmesiyle tasarlanmıştır.

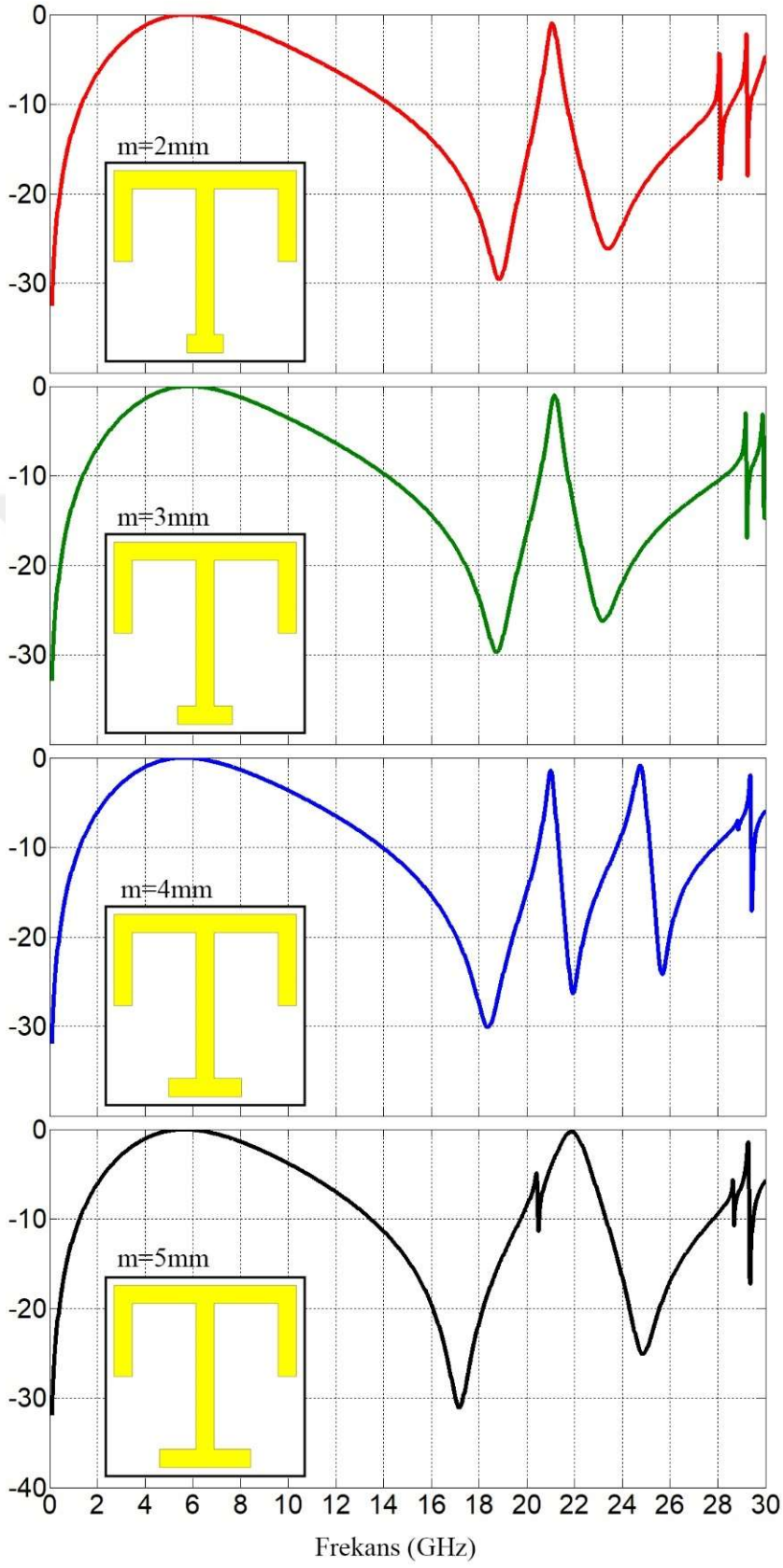
Tasarıma ait TE ve TM polarizasyonu için genlik değerleri Çizelge 2.65.-2.68.'de gösterildiği gibidir.

Tablo 2.14. T7-FSY yapısındaki m parametresinin değişimine göre rezonans frekansları

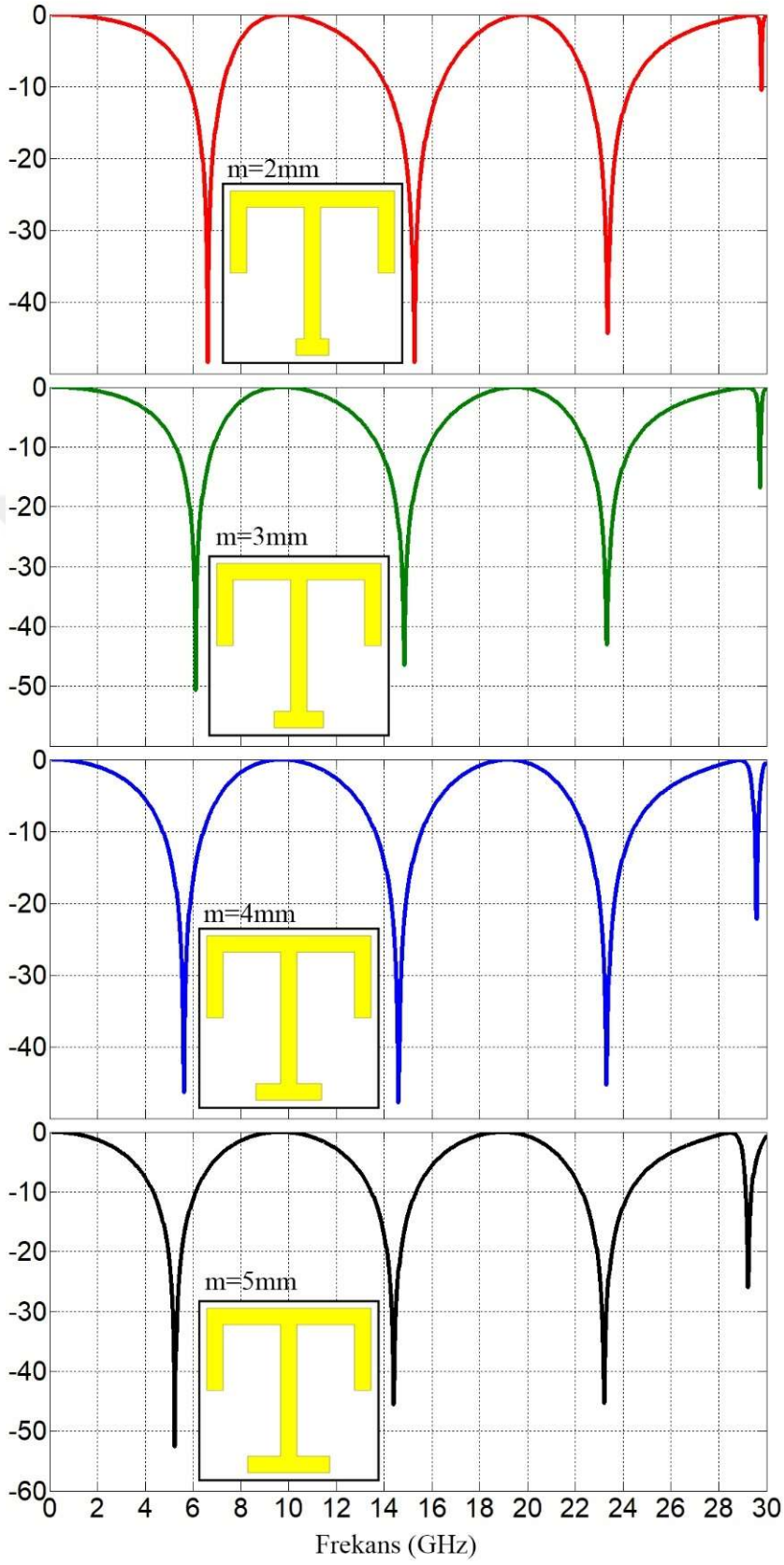
	Test Edilen Parametre	Rezonans Frekansı
TE	m=2 mm	6,62 GHz / 15,26 GHz / 23,36 GHz / 29,79 GHz
	m=3 mm	6,11 GHz / 14,84 GHz / 23,33 GHz / 29,73 GHz
	m=4 mm	5,63 GHz / 14,60 GHz / 23,30 GHz / 29,58 GHz
	m=5 mm	5,24 GHz / 14,39 GHz / 23,21 GHz / 29,22 GHz
	m=2 mm	5,75 GHz / 21,06 GHz / 28,08 GHz / 29,19 GHz
TM	m=3 mm	5,87 GHz / 21,15 GHz / 29,16 GHz / 29,88 GHz
	m=4 mm	5,66 GHz / 21,00 GHz / 24,77 GHz / 29,37 GHz
	m=5 mm	5,66 GHz / 21,87 GHz / 29,28 GHz



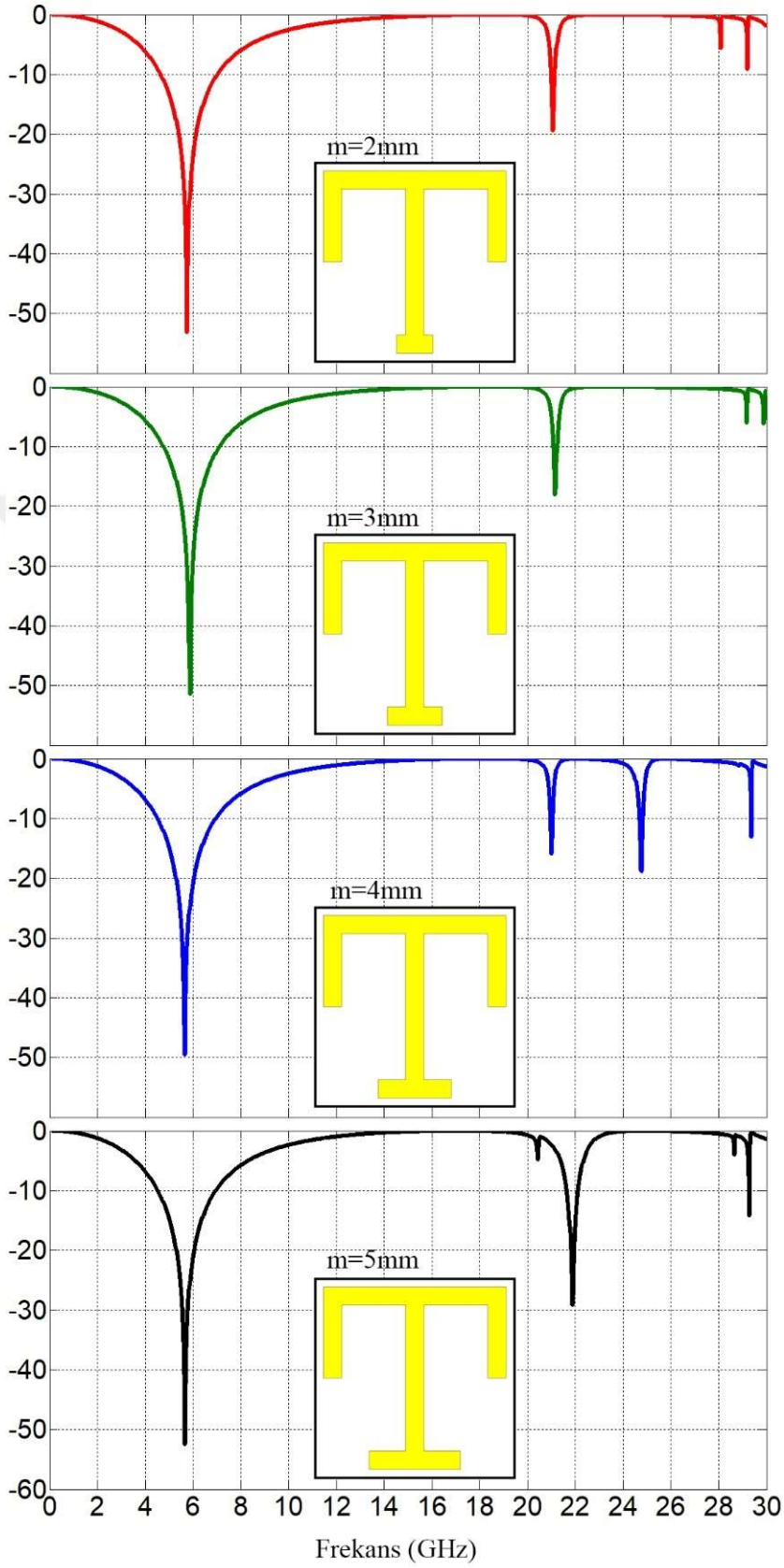
Şekil 2.65. T7-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TE Polarizasyonu



Şekil 2.66. T7-FSY yapısına ait S_{11} Parametresi TM Polarizasyonu

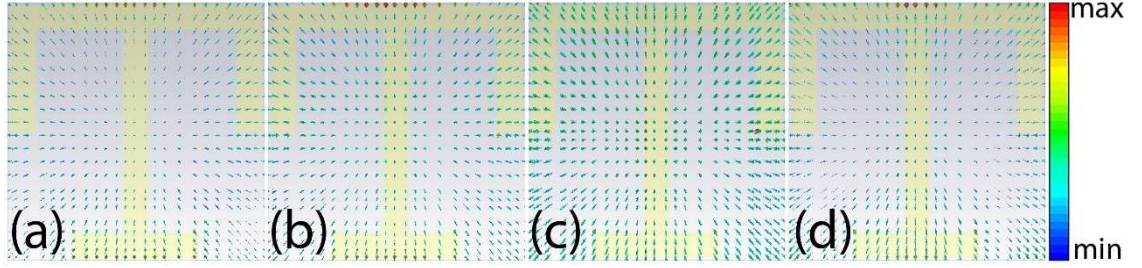


Şekil 2.67. T7-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TE Polarizasyonu

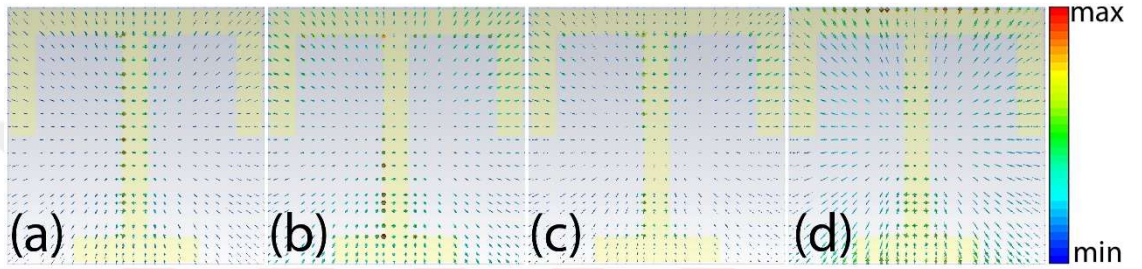


Şekil 2.68. T7-FSY yapısına ait S_{21} Parametresi TM Polarizasyonu

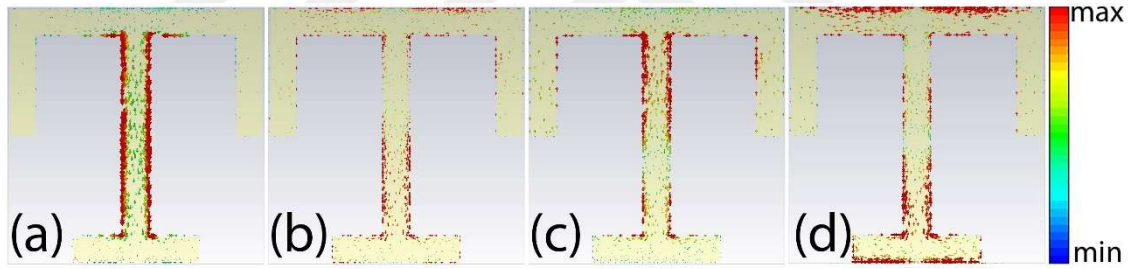
2.9.3. T7-FSY Yapısına ait Elektrik Alan/Manyetik Alan ve YüzeY Akım



Şekil 2.69. T7-FSY Elektrik alan çizgileri



Şekil 2.70. T7-FSY Manyetik alan çizgileri



Şekil 2.71. T7-FSY YüzeY akım çizgileri

Şekil 2.69. ve Şekil 2.70.'de elektrik ve manyetik alan çizgilerinin rezonans frekanslarındaki yoğunlukları her bir rezonans frekansı için gösterilmiştir. Şekil 2.71.'de yüzey akım çizgilerinin dağılımı ve bu dağılımında özellikle dikey şerit üzerinde artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 2.71.(a)'da yüzey akım yoğunluğu dikey şerit üzerindeyken, Şekil 2.71.(b)'de ve Şekil 2.71.(c)'de yüzey akım yoğunluğunun azaldığı, Şekil 2.71.(d)'de ise yüzey akım yoğunluğu özellikle şeklin alt ve üst kısımlarında toplandığı görülmektedir.

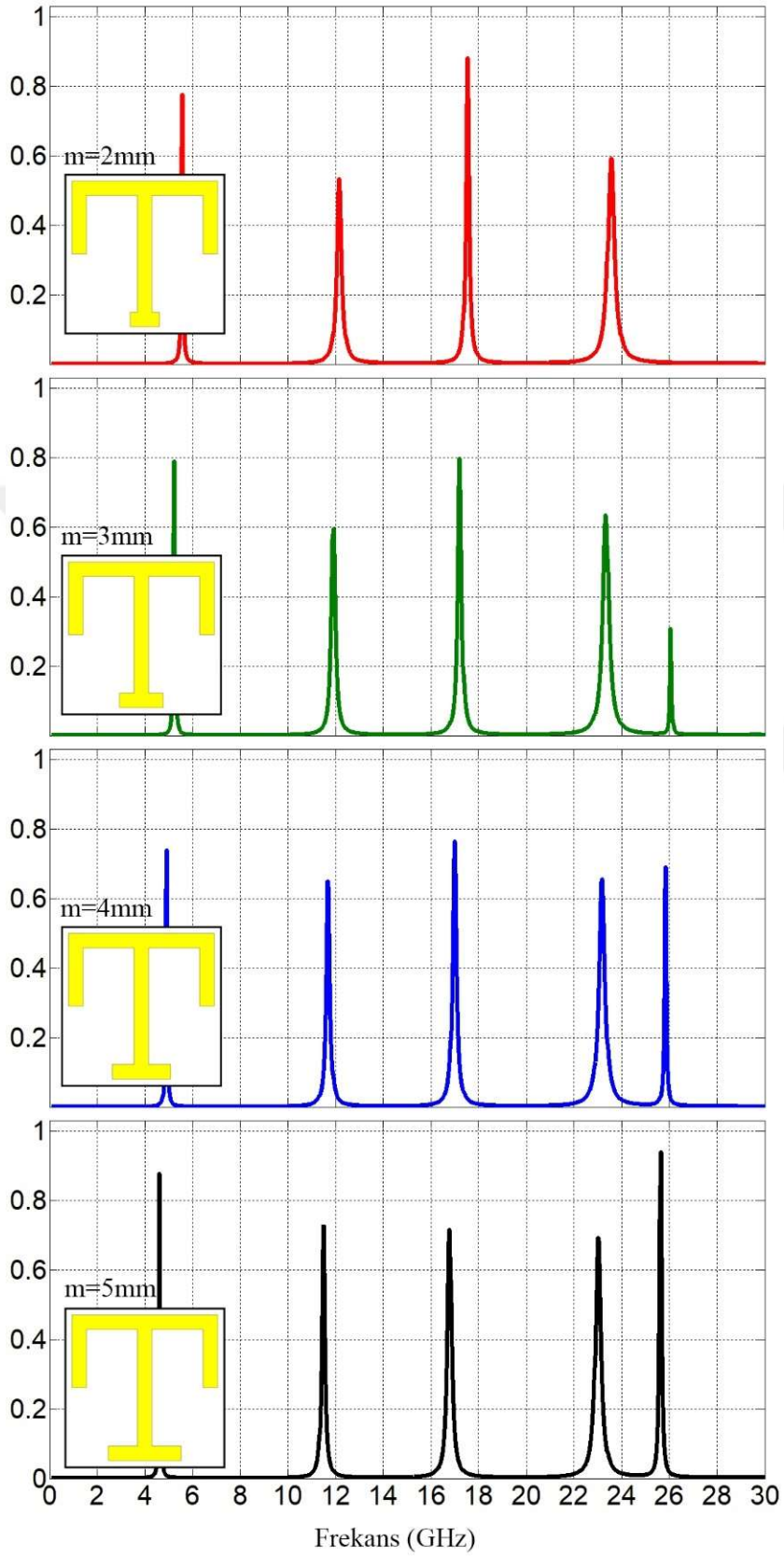
2.9.4. T7-FSY Yapısının Soğurma Karakteristiği

Tablo 2.15.'teki değerlerden hareketle m parametresindeki artış ilk soğurma frekansını da sola doğru kaymasını sağlamıştır. Fakat Şekil 2.72.'deki grafikten soğurma katsayılarına bakıldığı zaman m=5 için 4,6 GHz frekansında %85 civarında olduğu diğer parametre değerleri için %80 ve altında olduğu görülmektedir.

Tablo 2.15. T7-FSY yapısının soğurma frekansları

Test Edilen Parametre	Soğurma Frekansı
m=2 mm	5,57 GHz / 12,15 GHz / 17,53 GHz / 23,57 GHz
m=3 mm	5,24 GHz / 11,91 GHz / 17,20 GHz / 23,35 GHz / 26,05 GHz
m=4 mm	4,91 GHz / 11,67 GHz / 16,99 GHz / 23,18 GHz / 25,84 GHz
m=5 mm	4,61 GHz / 11,49 GHz / 16,78 GHz / 23,00 GHz / 25,63 GHz

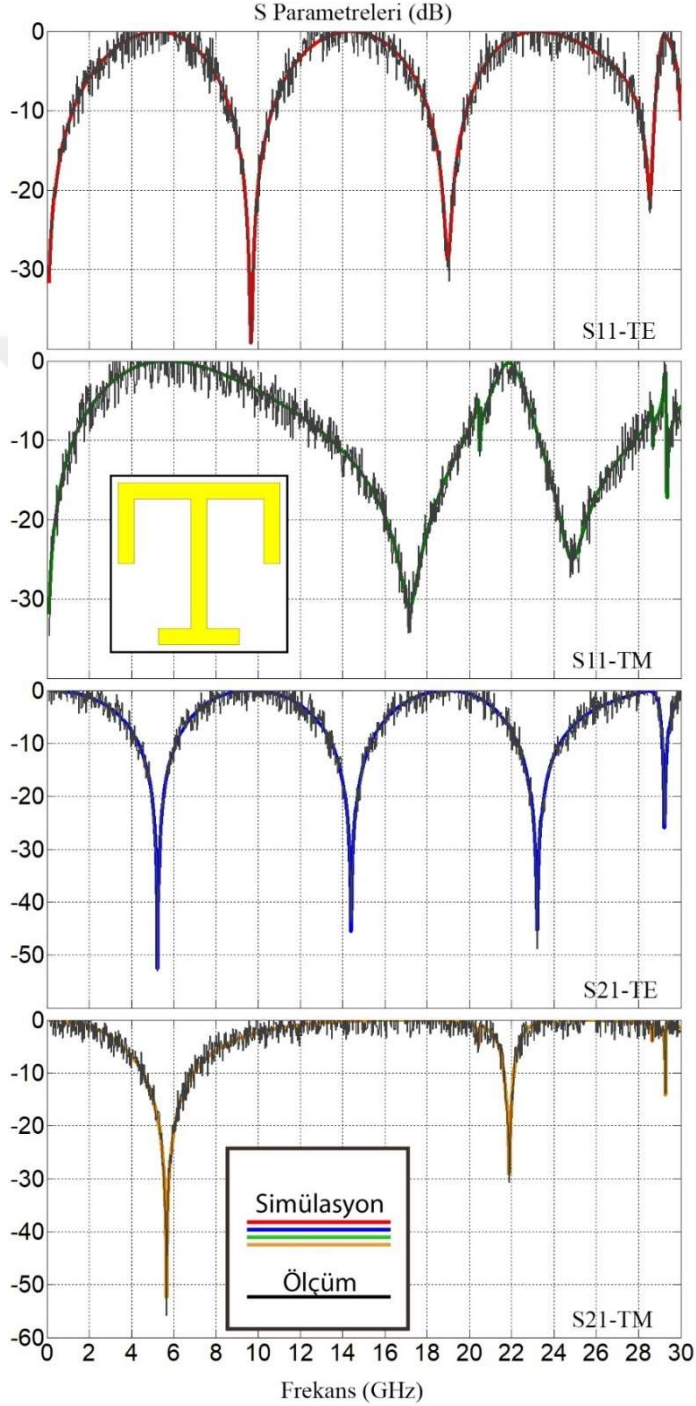
Sonuç olarak bu yapı soğurma için istenildiği kadar verimli değildir. Sadece m=5 parametresi için 4,6 GHz ve 25,6 GHz için %80 seviyesinin üstündedir.



Şekil 2.72. T7-FSY Yapısının soğurma karakteristiği

2.9.5. T7-FSY Yapısının Simülasyon ve Deneysel Kıyaslanması

S_{11} ve S_{21} parametrelerinin test sonrasında elde edilen değerlerinin simülasyon sonuçları ile kıyaslanması Şekil 2.73.'tedir.



Şekil 2.73. T7-FSY yapısına ait simüle edilmiş S parametreleri ve VNA cihazı ile ölçülmüş sonuçların karşılaştırılması

2.10. Elektrik Alan, Manyetik Alan ve Yüzey Akımları

Burada dikkat edilmesi gereken nokta T1-FSY referans alınarak daha sonradan tasarıma eklenen yatay ve dikey doğrultudaki bakır lamlardır. Bu yapılar ana gövde üzerindeki indüktans ve kapasitansı değiştirmektedir. Böylece sistemin eşdeğer sığası değişeceğinden rezonans frekanslarında maruz kalacağı akımlar ve polaritelerde değişmektedir.

Yüzey akımı dağılımları, özellikle ana gövde üzerinde uyarılmaktadır. Yüzey akımı dikey ve yatay kollar üzerinden yayılmaktadır. Güçlü manyetik rezonans, rezonatörler arasındaki indüktans ve kapasitans etkileri nedeniyle meydana gelir. Bu da rezonansın manyetik alan tarafından indüklediği anlamına gelir. Ayrıca, rezonatörün üst ve alt katmanında, aynı rezonans frekansında elektrik alanı tarafından uyarılan ve simetrik rezonans modu olan bir paralel akım dağılımı sağlar. Yüzey akım dağılımları, özellikle üst merkez, alt merkezdeki rezonatörlerde indüklenir. Rezonans frekansında paralel ve antiparalel akımlar (hem simetrik hem de asimetric rezonans modları) vardır. Belirli rezonatörlerde elektrik alanının yüksek konsantrasyonu, elektrik dipollerinin bağlanmasıyla oluşturulan simetrik rezonans modunu doğrular. Başka bir deyişle, belirli rezonatörlerde antiparalel akımların varlığı manyetik rezonansa neden olur.

2.11. Elektromanyetik Dalgaların Soğurulması

Soğurucular, elektromanyetik dalganın enerjisini azaltan maddelerdir. Sistemin çalışmasını etkileyebilecek parazit veya istenmeyen radyasyonları ortadan kaldırmak için çok çeşitli uygulamalarda kullanılırlar. Yansıma ve iletim dalgaları, mükemmel soğurmayı gerçekleştirmek için $(R(\omega) \& T(\omega) \rightarrow 0)$ 'nin mümkün olduğunca en aza indirilmesi gerekir.

Yapının soğurma değeri aşağıdaki denkleme göre hesaplanabilir; $A(\omega) = 1 - R(\omega) - T(\omega)$, burada, $A(\omega)$, $R(\omega) = |S_{11}|^2$ ve $T(\omega) = |S_{21}|^2$, sırasıyla belirli bir frekanstaki soğurma, yansıma ve iletimin büyüklüğüdür.

T-Şekilli yapılara dayanan bir FSY soğurucu, Şekil 2.74'te gösterildiği gibi 5.8×10^7 S/m'lik bir iletkenliğe, alt ve üstten 0,035 mm'lik bakır kalınlığa sahip plaka tarafından desteklenen bir dielektrik substrat yerleştirilerek tasarlanır. T-Şekilli rezonatörler, $\epsilon_R = 2.5$, nispi geçirgenliği; 0.0017 bir kayıp teğeti ve 0,5 mm kalınlığında bir Neltec NX-9250 substratı üzerine yerleştirilir.

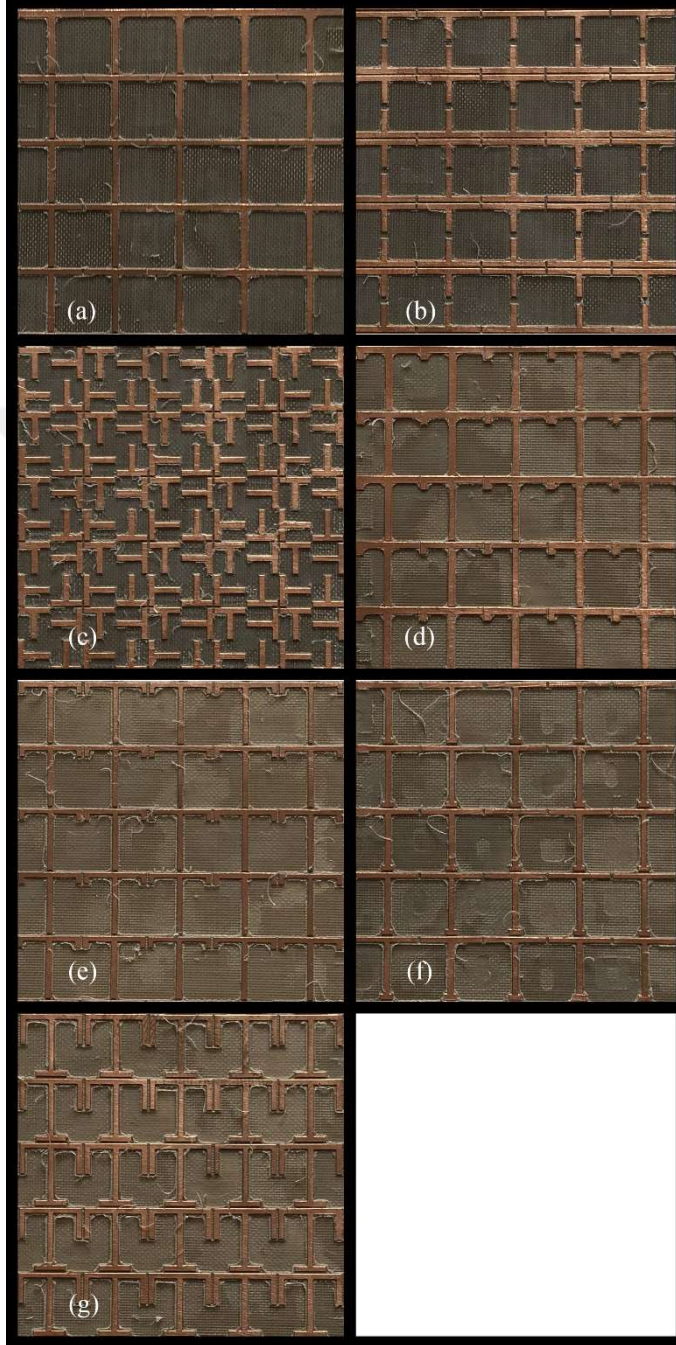
T-şekilli FSY'ler için simüle edilmiş soğurma grafikleri “Tx-FSY Yapısının Soğurma Etkisi” başlıkları altında sunulmuştur.



Şekil 2.74. T-şekilli FSY soğurucu kesit alanı

2.12. Deneysel ve Simülasyon Sonuçlarının Kıyaslanması

2.12.1. Deneysel Çalışmalar



Resim 2.2. T-FSY Deneysel yapısı: (a) T1-FSY Deneysel Plakası (b) T2-FSY Deneysel Plakası (c) T3-FSY Deneysel Plakası (d) T4-FSY Deneysel Plakası (e) T5-FSY Deneysel Plakası (f) T6-FSY Deneysel Plakası (g) T6-FSY Deneysel Plakası

2.12.2. Sonuçların Kıyaslanması

Test edilen Şekillerin simülasyon ve test sonuçları birbirleriyle kıyaslandığında Şekil 2.75.'teki gibi bir grafik elde edilmiştir. Şekil 2.75-a referans alınarak; dikey eksenle simetrik olarak tasarıma Şekil 2.75-b'deki gibi kollar eklendiğinde rezonans frekansının sola doğru kayma yaptığı, Şekil 2.75-c'deki gibi yatay eksenle kol eklendiği zaman dikey eksenle kıyasla sola kaymanın daha fazla gerçekleştiği, bütün bu Şekillerin tümü içeren Şekil 2.75-d'deki gibi hem yatay hem de dikey kollar eklendiği zaman frekansın her defasında ötelendiği görülmüştür.

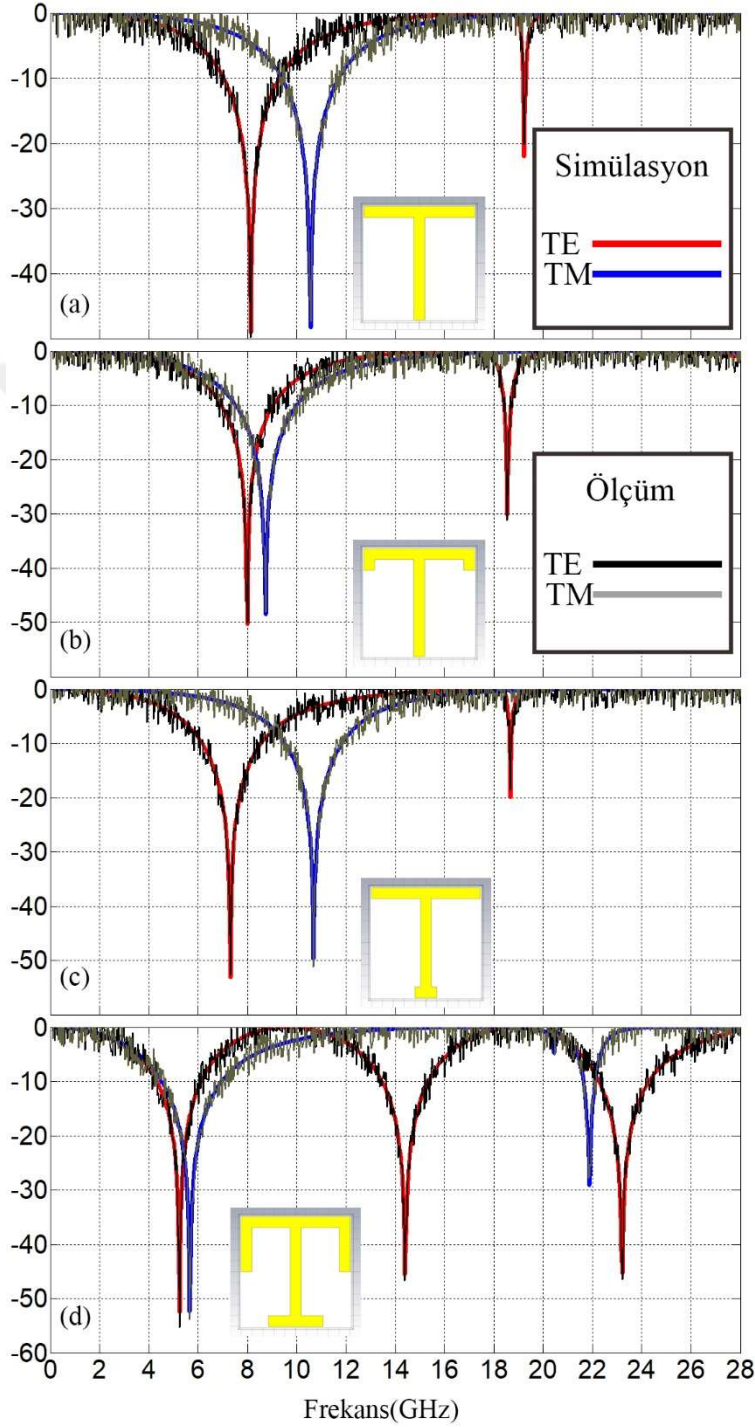
Şekil 2.76.'da, simüle edilen soğurma değerleri ve laboratuvarla elde edilen test sonuçlarının kıyaslanmasını göstermektedir. Tasarıma dikey doğrultuda iki kolun eklenmesi soğurma frekansını üçten dörde çıkarmakta ve frekanslar sola doğru kaymaktadır. Yatay doğrultuda Şerit eklenmesi halinde soğurma seviyesini %99'a kadar çıkarmaktadır.

Çizelge 2.77.'de parametre değişimlerinin simülasyon olarak üst üste çakıştırılmasıyla elde edilmiştir ve g parametresinde ki değişimin soğurma frekansına çok fazla etki etmediği, k parametresindeki değişimin dağınık frekanslarda soğurma özelliği gösterdiği, m parametresindeki değişime karşılık, rezonans frekanslarında da kaymaların değiştiği görülmektedir.

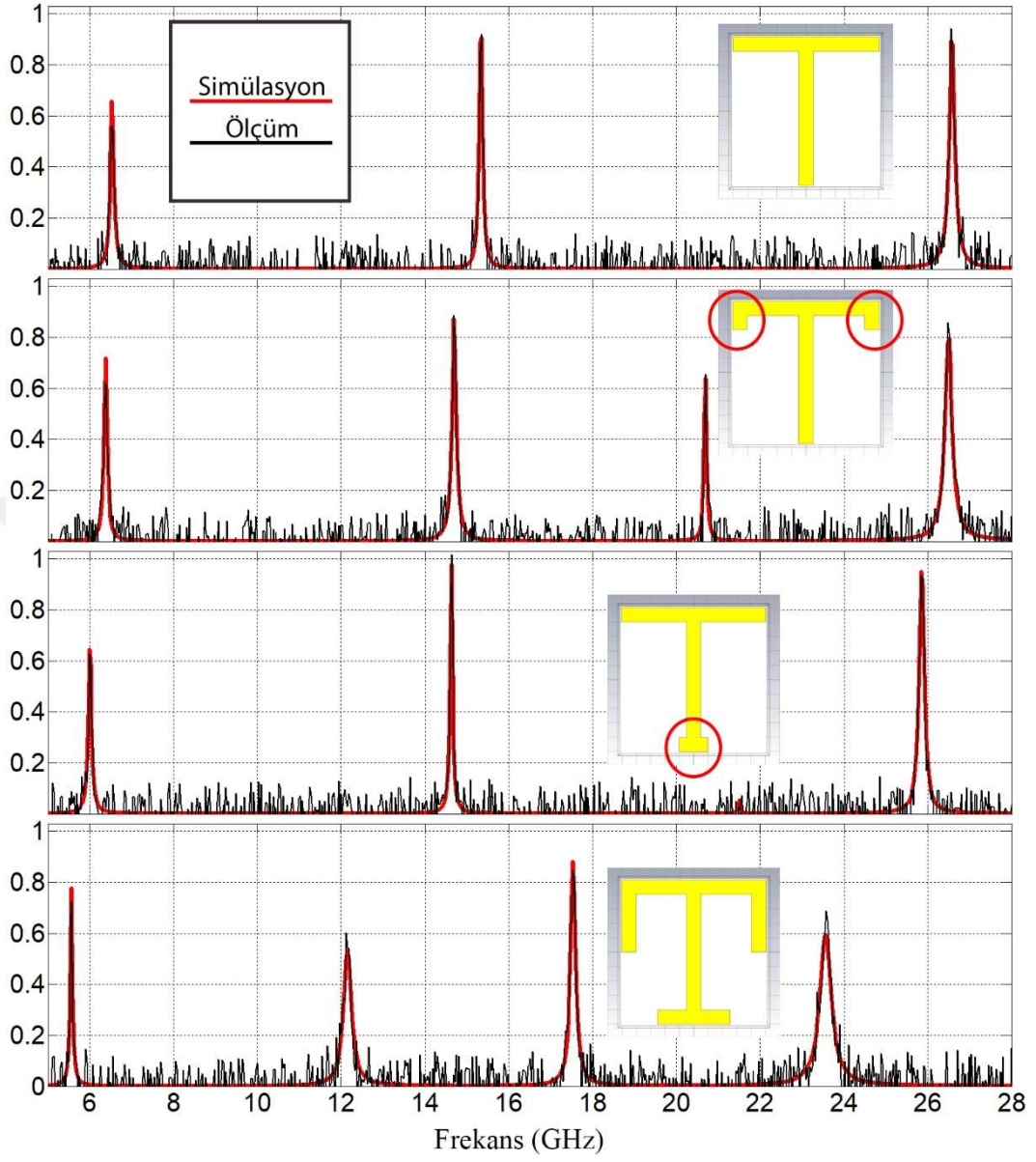
Yapılan testlerde, normal şartlar altında elektromanyetik dalgalar hava yüzeyinden periyodik yüzeye doğru hareket etmektedir, elde edilen test sonuçlarıyla simülasyon sonuçları hemen hemen örtüşmektedir, fakat deney düzeneklerinin istenildiği gibi konumlandırılmaması, cep telefonu sinyalleri, kablosuz internet sinyalleri, bölgede bulunan deniz radar ekipmanı, medikal cihazların sinyalleri gibi istenmeyen sinyaller yalıtımsız laboratuvar ortamındaki test ekipmanlarına ciddi şekilde etkide bulunmuştur. [13].

Sonuç olarak, T-Şekilli FSY yapıları, üç bantlı bant durduran filtre uygulamaları için kullanılabilir; bunlar X-bandında, Ku-bandında ve K-bandındaki frekans bölgeleridir. Bu band aralıkları tek bir parametre varyasyonu ile etkin bir Şekilde ayarlanabilir. Bunun nedeni T-Şekilli FSY yapılarını etkileyen kapasitandır. Bilindiği gibi, bir sistemin

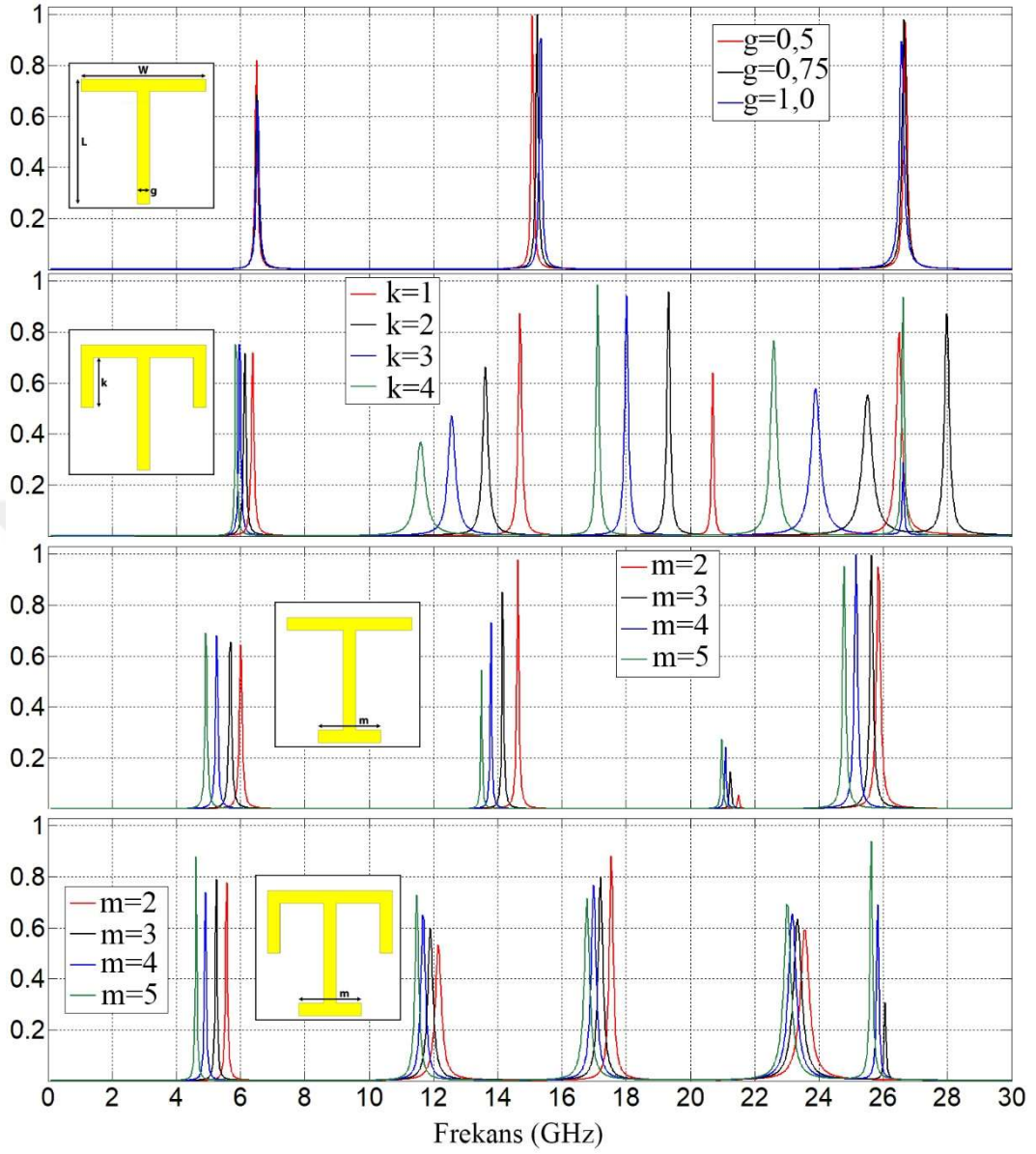
rezonans frekansı $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ile bulunabilir. Kol uzunluğunun yardımıyla kapasitans artırıldığında, rezonans frekansı buna göre sola kayar [14].



Şekil 2.75. T-Şekilli FSY yapılarının iletim katsayılarının TE-TM polarizasyonunda birbirleriyle kıyaslanması



Şekil 2.76. T-Şekilli FSY yapılarına ait soğurma karakteristiklerinin simülasyon ve deneysel olarak kıyaslanması



Şekil 2.77. T-Şekilli FSY yapılarına ait soğurma karakteristiklerinin parametrik olarak kıyaslanması

3. H-ŞEKİLLİ FREKANS SEÇİCİ YÜZEY İLE FİLTRE VE SOĞURUCU TASARIMI

3.1. Giriş

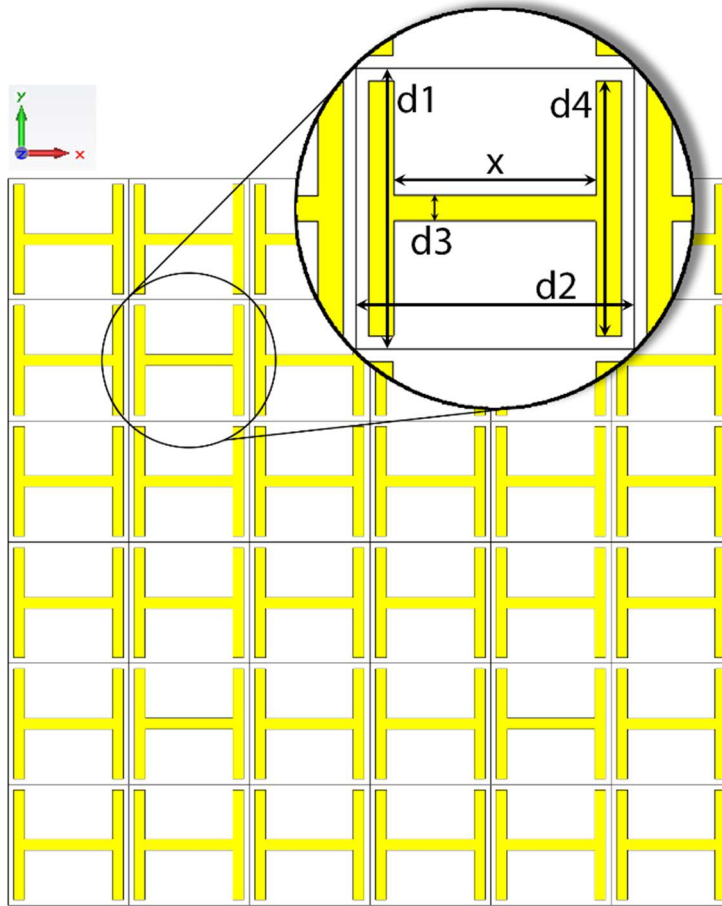
Kullanıldıkları amaca ve yere göre düzlemsel dalgalara karşı belirli bir frekans bandını soğuran, yansıtan veya bir filtre gibi davranabilen pasif yapıları dizi tasarımlarına Frekans Seçici Yüzey (FSY) denir.

Periyodik yapılar temel anlamda iki şekilde uyarılırlar. Pasif dizide gelen düzlemsel bir dalga ile aktif dizide ise her elemana bağlanmış birer üreteç ile uyarılma gerçekleştirilir. FSY birim hücre içerisindeki tekli metal ve oyukların şekil ve diziliş yapılarına bağlı olarak, elektromanyetik, mikrodalga ve anten uygulamalarında, bant durduran filtre, bant geçiren filtre ve yansıtıcı anten vb. olarak kullanılmaktadır [13-14]. Birim hücre içerisindeki geometriler daha önceki çalışmalarda tekli bir iletken, oluşabileceği gibi çoklu iletkenlerden [15] de oluşabilir. Filtreleme amacıyla FSY, uydu sistemlerinde [16], anten ve haberleşme sistemlerinde [17], Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification - RFID) uygulamalarında [18], özellikle elektromanyetik dalga kalkanlama uygulamaları başta olmak üzere askeri alanlarda [19], radar uygulamalarında [20], sivil uygulamalarda [14] ve 21. yy'den itibaren de 3G ve GSM ağlarında [21] kullanılmaya başlanmıştır. FSY özellikle haberleşmede, mikrodalga yarıiletken ve entegre devrelerde ve antenlerde kullanılmaktadır. FSY'nin yansıma ve iletim karakteristiği; kullanılan malzemenin cinsine, katman kalınlığına, düzlemsel dalganın geliş açısına ve polarizasyonuna, katmanlar üzerine yerleştirilen metalik yamaların boyutları, geometrisi ile periyodik yerleşimi ve simetri ekseninin konumuna göre değişmektedir. FSY'lerle ilgili teorik ve deneysel çalışmalar ilk olarak dipol, üç kutuplu dipol (tripole), çapraz kutuplu dipol (cross dipole), halka (ring) ve kare döngü (square loop) gibi yapılarla gerçekleştirilmiştir [22]. Literatürde şu ana kadar çok farklı şekiller FSY olarak çalışılmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır: dipol, üç kutuplu dipol, dört ayaklı yüklü elemanlar (four legged loaded elements) ve altıgen elemanlar [14], kare benzeri açık halka [23], eş merkezli üç dairesel halka [24], ayrık halka rezonatöründen (AHR) ve tamamlayıcı AHR'den dolayı bant durduran veya geçiren filtre [25], dielektrik tabaka üzerindeki periyodik yapılardan saçılma [26], dielektrik tabakanın hem altına hem de üstüne konulan periyodik yapılardan saçılma [27], bakışsız (chiral) FSY [28], iki

döngülü kare şekilli yapılar [29], bakışsımsız levha üzerinde L-şeklindeki FSY [15] ve L-şekilli ve bir döngülü helix şeklindeki iletkenlerden oluşan FSY [30-31] vb.

Bu çalışmada, 0,5 mm et kalınlığına sahip NX-9250 alttaş üzerine 35 μm kalınlığında bakır iletkenlerin kazınması ile oluşan periyodik H-şekilli FSY elemanların filtre ve soğurma özellikleri ve incelenmiştir. H-şekilli iletken elemanlar NX-9250 alttaş üzerine Şekil 1.'de gösterildiği gibi periyodik olarak dizilmiştir. Her bir H-şekilli FSY için TM düzlemsel dalgaın hava ortamından normal açıyla geldiği kabul edilmiştir. FSY yapısı iki boyutlu ve periyodik olduğundan H-şekilleri üzerinde indüklenen akımdan dolayı saçılan dalgaların bazıları yayınıml yaparken bazıları da sönümlüdür.

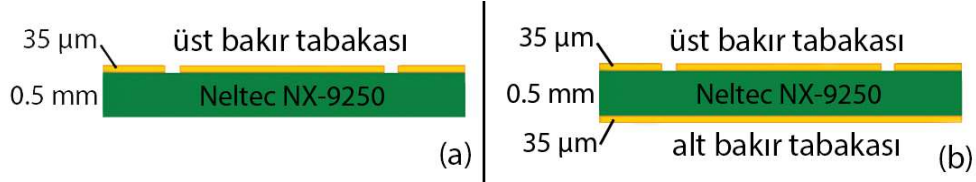
3.2. Şeklin Tasarımı



Şekil 3.1. Periyodik H-Şekli ve birim hücre

Şekil 3.1.'de görülen ölçüler $d1=d2=11\text{mm}$, $d3=1\text{mm}$, $d4=10\text{mm}$, x değişken parametre olup sırasıyla $x=2\text{ mm}$, $x=4\text{ mm}$, $x=6\text{ mm}$ ve $x=8\text{ mm}$ olarak dört farklı değerdeki değişimi

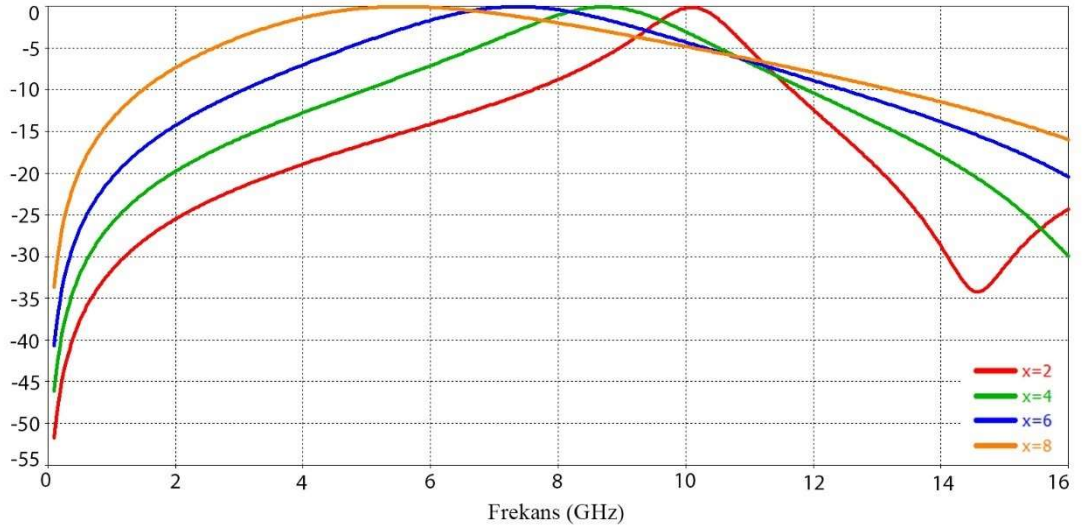
incelenmiştir. Kesit olarak 0,5 mm et kalınlığına sahip NX-9250 çekirdek tabakanın üzeri 35 μm kalınlığında bakır bir sayfa ile birleştirilmiştir. Aynı bakır kalınlığı soğurma özelliği incelenirken çekirdek tabakanın alt kısmına da uygulanmıştır.



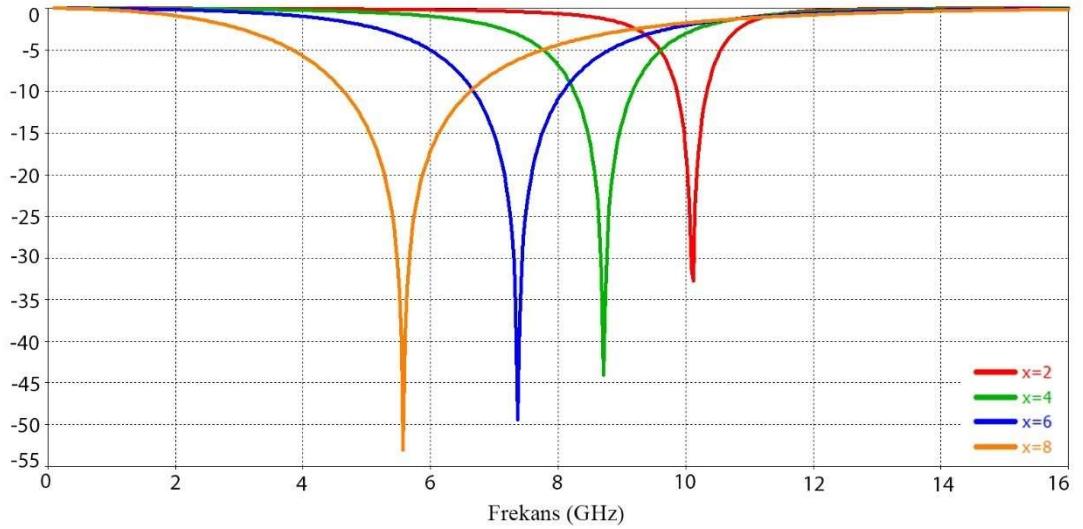
Şekil 3.2. H-Şekilli yapının yandan kesiti (a) FSS uygulaması (b) Soğurucu uygulaması

Şekil 3.2-a’da gösterilen yapı Frekans Seçici Yüzey uygulamalarında kullanılırken aynı yapının alt tarafı bakırla kaplı olduğu durumda Şekil 3.2-b’de gösterildiği üzere soğurma uygulamalarında kullanılmaktadır. Çalışma için tercih edilen çekirdek yapı malzeme bilgilerini kendi datasheet’i üzerinden şu şekilde açıklayabiliriz. N9000 serisi PTFE (Polytetrafluoroethylene) lamine olarak adlandırılan malzemenin NX-9250 versiyonu tercih edilmiştir. Bu malzemenin özelliği 10 GHz’lik frekans referans olmak üzere $\epsilon_r=2,5$ (ϵ_r -bağıl dielektrik geçirgenlik) sabit kalan ve $D_f=0,0017$ (D_f -dağıtma faktörü) olan bir malzemedir. Uygulama alanları antenler, kablosuz haberleşme, güç amfileri, çift bantlı yüksek güçlü pasif devreler, otomotiv uygulamaları, dijital/mikrodalga hibrit çok katmanlı devre tasarımları, milimetrik dalga malzemeleri, uydu haberleşmesi, mikro dalga bağlantıları vb.

3.3. Şeklin Simüle Edilmesi



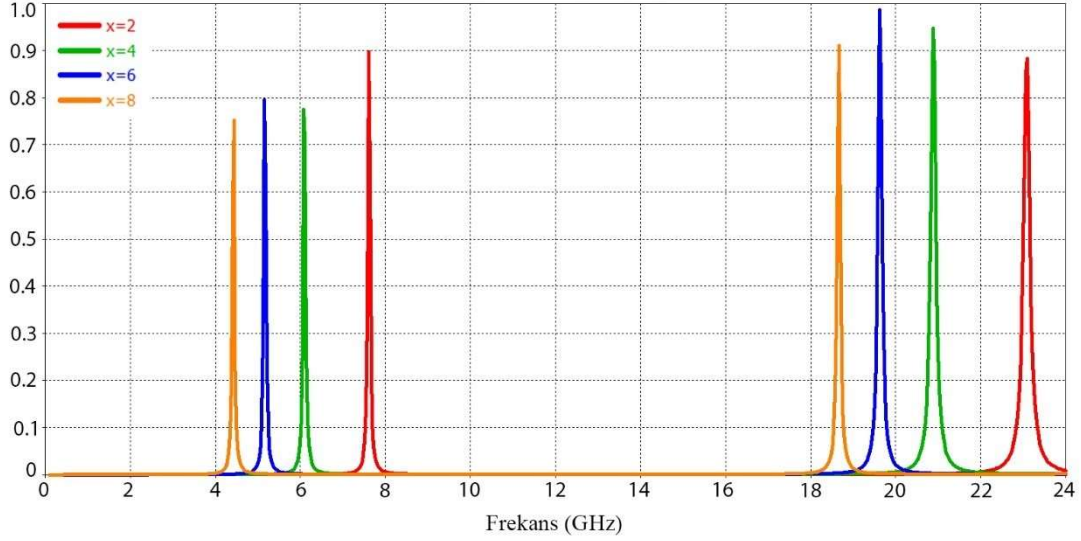
Şekil 3.3. Farklı x değerlerinde S11 parametresinin değişimi



Şekil 3.4. Farklı x değerlerinde S21 parametresinin değişimi

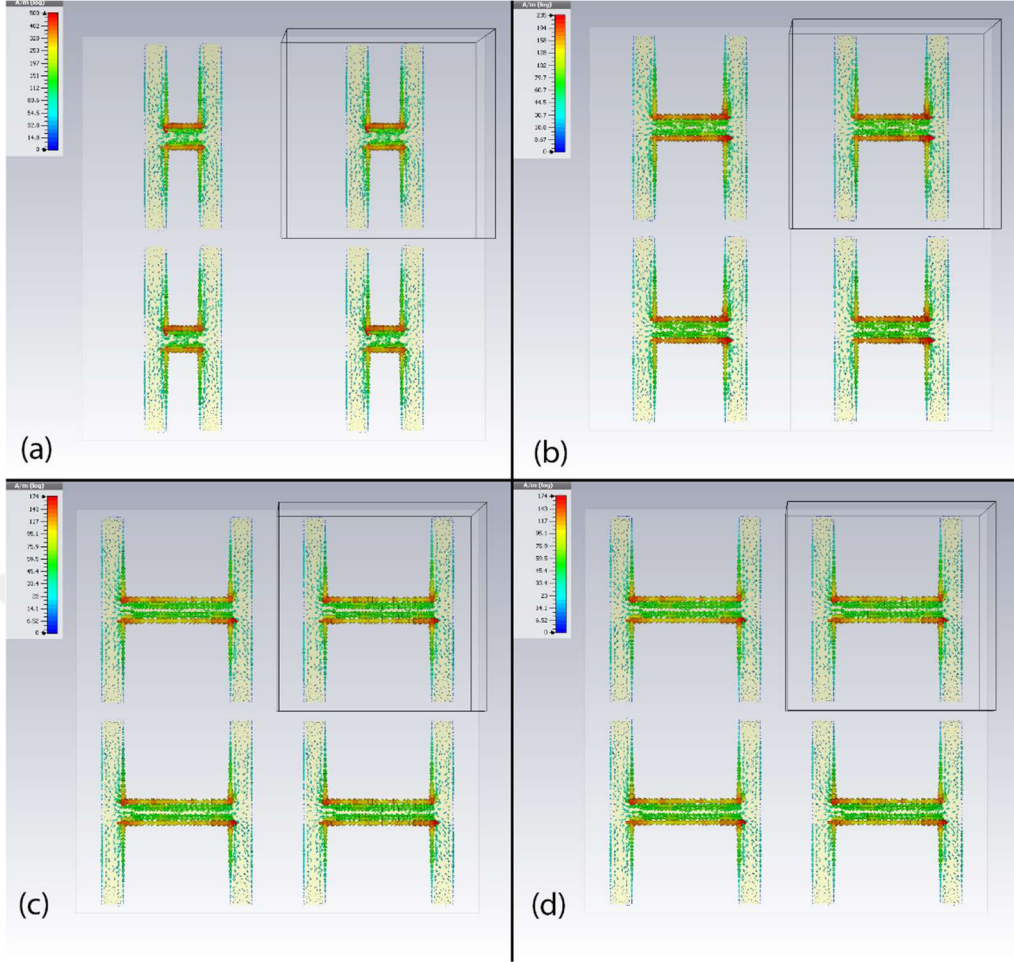
H şeklinin iki dikey kol uzunluğu sabit tutulup, aradaki x parametresi sırasıyla artırıldığında Şekil 3.3.'de görüldüğü gibi rezonans frekansı sola doğru kaymaktadır. Rezonansların band genişlikleri x değeri arttıkça artmaktadır. Rezonans frekansları $x=2, 4, 6, 8$ mm için sırasıyla 10,117 GHz, 8,7112 GHz, 7,3657 GHz ve 5,5717 GHz'dir. H-şekilli periyodik yapı hem X-bandından bandında ve hem de C-bandında band durduran

filtre görevi yapmaktadır. Şekil 3.4.'te görüleceği üzere rezonans frekansının iki yanında gelen dalganın tamamen geçtiği ve yapının saydam davrandığı görülmüştür. Rezonans frekanslarına bakarak H-şekilli FSY'lerin X-bandı radar uygulamalarında ve C-bandı uydu ve mikrodalga uygulamalarında kullanılabileceği görülmektedir.



Şekil 3.5. H-Şekilli yapının soğurma frekansları

Şekil 3.2-b'deki yapı tasarlandığı zaman x parametresi değişimi ile yapının soğurma değişimi Şekil 3.5'te görülmektedir. x parametresine bağlı olarak H-şekilli periyodik yapının C- ve K- bantlarında soğurma özelliği gösterdiği gözlenmiştir. Her iki bantta da soğurma frekansı artan x değerlerine karşılık azalmaktadır. x parametresinin farklı değerleri için yaklaşık olarak %80 ile %100 arasında bir soğurma elde edilmiştir.



Şekil 3.6. Yüzey akımları

Şekil 3.6’da x parametresinin dört farklı değeri için yüzey akımlarının rezonans frekanslarında nasıl değiştiği gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere farklı x değerleri için akımın daha çok iki dikey kolu birleştiren yatay kol üzerinde ve dikey kolların içeri bakan yüzeylerinde indüklendiği görülmüştür.

3.4. Sonuç

H-şekilli FSY ile oluşturulan periyodik yapının band durduran filtre ve soğurucu özellikleri simülasyon programı kullanılarak gösterilmiştir. Uygulama olarak bu tasarım bize özellikle elektronik harp başta olmak üzere birçok askeri alanda radar ara kesitlerinin minimuma indirilerek ya fark edilemeyecek kadar küçük ya da hiç fark edilmeyen tasarımları mümkün kılmaktadır. Görünmezlik (stealth) teknolojisi olarak adlandırabileceğimiz bu teknikler gerek büyük boyutlu zırhlı araçlara gerekse tekstil ürünü şeklinde tasarlanıp bireysel uygulamalarda anti-radar uygulamalarını bir adım daha

kolaylaştırmaktadır. Bir diğer uygulama alanı olarak kablosuz haberleşme sistemlerinde, sistemin çalışmasını etkileyecek parazit sinyallerin elenerek sistemin daha verimli çalışması sağlanabilir.

4. BULGULAR

T şekillerinin farklı kombinasyonları ile oluşturulan yapıların her biri bilgisayar programı üzerinde simüle edilerek değişimlerin arttığı ya da azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuçların doğruluğu deneysel düzlem üzerinde; Vektör Network Analizör ile de test edilerek sağlanması yapılmıştır. FSY yapılarının farklı frekanslardaki filtre özelliği göstermesinin yolları oyuk ya da yamaların genişliğinin artırılıp azaltılmasıyla olduğu gözlemlenmiştir. Sadece bakır eleman ve dielektrik malzeme kullanılarak tasarlanan bu yapılar C, X, K ve Ku bantlarında rezonanslar oluşturmaktadır. Yapının geometrisinin kontrollü olarak değiştirilmesiyle bu rezonans frekansları bant geçiren, bant söndüren filtre gibi davranmaktadır. Aynı yapıların soğurma karakteristiklerine bakıldığında %99'a varan emilimlerin olduğu gözlemlenmiş ve bu yapıların çok bantlı filtre uygulamalarında kullanılabileceği yapılan deneylerle de ispatlanmıştır.

5. GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışmadan hareketle, T-şekilli FSY yapılarının literatürde benzer geometrik yapıya sahip FSY'ler (L-şekilli FSY, vb.) ile karşılaştırılması düşünülmektedir.

T1-FSY yapısı için 0,5mm'den daha küçük ölçüler planlanacak ve sonuçlar birbirleriyle kıyaslanacaktır.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında daha önce yapılmamış T şekilli metal elemanlar kullanılarak bir frekans seçici yüzey uygulaması yapılarak, T şekilli metal elemanların büyüklükleri ve konumları değiştirilerek frekans seçici yüzey karakteristiği ayarlanmıştır. Bu çalışmanın ana amacı özgün, kolay fabrikasyon özellikli ve yüksek hassasiyet özelliklerine sahiptir.

FSY ile oluşturulan periyodik yapının band durduran filtre ve soğurucu özellikleri hem simülasyon hem de deneysel olarak gösterilmiştir. Uygulama olarak bu yapı bize özellikle elektronik harp başta olmak üzere birçok askeri alanda radar ara kesitlerinin minimuma indirilerek ya fark edilemeyecek kadar küçük ya da hiç fark edilmeyen yapıları mümkün

kılmaktadır. Görünmezlik (stealth) teknolojisi olarak adlandırabileceğimiz bu teknikler gerek büyük boyutlu zırhlı araçlara gerekse tekstil ürünü şeklinde tasarlanıp bireysel uygulamalarda anti-radar uygulamalarını bir adım daha kolaylaştırmaktadır. Bir diğer uygulama alanı olarak kablosuz haberleşme sistemlerinde, sistemin çalışmasını etkileyecek parazit sinyallerin elenerek sistemin daha verimli çalışması sağlanabilir.



7. KAYNAKLAR

1. Bakir, M., Delihacioglu, K., Karaaslan M., Dincer F., Sabah C., 2016, U-shaped frequency selective surfaces for single- and dual-band applications together with absorber and sensor configurations, *IET Microw. Antennas Propag.*, 10, 293–300.
2. Majidzadeh M., Ghobadi C., Nourinia J., 2016, Novel single layer reconfigurable frequency selective surface with UWB and multi-band modes of operation, *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 70, 151–161.
3. Xu H., Bie S., Xu Y., Yuan W., Chen Q., Jiang J., 2016, Broad bandwidth of thin composite radar absorbing structures embedded with frequency selective surfaces, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 80, 111–117.
4. Liu T., Kim S. 2016, Design of wide-bandwidth electromagnetic wave absorbers using the inductance and capacitance of a square loop-frequency selective surface calculated from an equivalent circuit model, *Optics Communications*, 359, 372–377.
5. Jazi N., Chaharmir M.R., Senior Member, IEEE, Shaker J., Senior Member, IEEE, and Sebak A.R., Fellow, IEEE, 2016, Broadband Transmitarray Antenna Design Using Polarization-Insensitive Frequency Selective Surfaces, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 64, 75–78.
6. Shi Y., Zhuang W., Tang W., Wang C, Liu S.,2016, Modeling and Analysis of Miniaturized Frequency-Selective Surface Based on 2.5-Dimensional Closed Loop With Additional Transmission Pole, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 64, 346-351.
7. Yan M., Qu S., Wang J., Zhang H.M.J., Wang W., Zheng L., Yuan H., 2015, A single layer ultra-miniaturized FSS operating in VHF, *Photonics and Nanostructures - Fundamentals and Applications*, 17, 1–9.
8. Zabri S.N., Cahill R., Conway G., Schuchinsky A.,2015, Inkjet printing of resistively loaded FSS for microwave absorbers, *Electronics Letters*, 51, 999–1001.

9. Sivasamy R., Kanagasabai M., Member, IEEE, 2015, A Novel Dual-Band Angular Independent FSS With Closely Spaced Frequency Response, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 25, 298-300.
10. Liang B., Izquierdo B.S., Parker E.A., Batchelor J.C., Senior Member, IEEE, 2015, Cylindrical Slot FSS Configuration for Beam-Switching Applications, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 63, 166-173.
11. Lieshout E.J.V., 2007, Interference by new-generation mobile phones on critical care medical equipment, Crit. Care, 11, R98.
12. Calcagnini G., Bartolini P., Floris M., Triventi M., Cianfanelli P., Scavino G., Proietti L., Barbaro V., 2004, Electromagnetic interference to infusion pumps from GSM mobile phones, IEEE Eng. Med. Biol. Soc., 5, 3515–3518.
13. Wu T. K., 2000, Frequency selective surface and grid array. ISBN-13: 978-0471311898, Wiley, New York.
14. Munk B. A., 2000, Frequency Selective Surfaces: Theory and Design. ISBN: 978-0-471-37047-5, Wiley-Interscience, New York.
15. Delihacioglu K., 2012, Frequency Selective Surfaces with Multiple-Strip Group Elements, IEEE Antennas Wireless Propagation Letter, 11, 1370-1373.
16. Maini A.K., Agrawal V., 2011, Satellite Technology: Principles and Applications. ISBN: 978-1-119-95727-0, John Wiley & Sons.
17. Capolino F., 2009. Applications of Metamaterials. CRC Press, ISBN 9781420054231, Boca Raton.
18. Zuowei S., 2007. Millimeter wave imaging technologies for plasma diagnostics on superconducting tokamak machines. ProQuest Dissertations Publishing, UMI Number: 3303199. University of California, Davis.
19. Elbert B. R., 2004. The Satellite Communication Applications Handbook. Artech House, ISBN-13: 978-1580534901, London.
20. Balanis C. A., 2011. Modern Antenna Handbook. John Wiley & Sons, ISBN:9780470036341, New York City.
21. Subrt L, Grace D., Pechac P., 2010, Controlling the Short-Range Propagation Environment Using Active Frequency Selective Surfaces, Radioengineering, 19,610-617.

22. Mittra R., Chan C.H., Cwik T., 1988, Techniques for analyzing frequency selective surfaces, A review IEEE Proceedings, 76, 1593–1615.
23. Titaouine M., Raveu N., Neto A. G., ve Baudrand H., 2009, Electromagnetic Modeling of Quasi-Square Open Metallic Ring Frequency Selective Surface Using Wave Concept Iterative Procedure. ETRI Journal, 31, 77-79.
24. Uçkun S., ve Ege T., 2006, Three Concentric Rings as Frequency Selective Surfaces on Isotropic Chiral Slabs, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 8, 345-349.
25. Ortiz J. D., Baena J. D., Marques R., Medina F., 2011, A Band-Pass/Stop Filter Made of SRRs and C-SRRs, IEEE AP-S URSI, 2669-2672.
26. Wakabayashi H., Kominami M., Kusaka H., Nakashima H., 1993, Spectral Domain Analysis for Scattering Properties of Periodic Arrays on dielectric Substrates, IEICE Trans. Commun., 12, 1587-1589.
27. Wakabayashi H., Kominami M. ve Yamakita J., 1995, Scattering of Electromagnetic Wave by Double Periodic Array with a Dielectric Substrate, IEICE Fundamentals, 11, 1545- 1547.
28. Koca A. O., Ege T., 1995, A novel frequency-selective surface, CHIRO-FSS. Microwave and Optical Technology Letters, 10, 157–160.
29. Delihacioglu K., Uckun S. ve Ege T., 2006, Frequency Selective Surfaces Comprised of Periodic Arrays of Two- Turn Square Spiral Shaped Conductors, International Journal of Electronics Communications, 61, 182-185.
30. Delihacioglu K., Uckun S. ve Ege T., 2006, L-Shaped Frequency Selective Surfaces as conducting Elements on Chiral Slab, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 8, 1398-1401.
31. Delihacioglu K., Uckun S. ve Ege T., 2007, Scattering characteristics of FSS comprised of L-shaped and one turn helix shaped conductors for TE and TM excitation, Electrical Engineering, 89, 177–181.

8. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Kürşad GÜLER
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 18.06.1989, MALATYA
Medeni hali : Bekar
e-posta : kursadgulereem@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi
Yüksek Lisans	Kilis 7 Aralık Üniversitesi/ Fen Bilimleri Ens./ Elektrik-Elektronik Müh.Bölümü (2018)
Lisans	İnönü Üniversitesi/ Elektrik-Elektronik Müh.Bölümü (2012)
Lise	Turgut Özal Anadolu Lisesi (Malatya) (2007)

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2018/	Mekatron Ar-Ge Otomasyon, Bil. ve Müh. Tah. İşl.	AR-GE Mühendisi
2012/2014	Üçgen Mühendislik Ltd. Şti.	Teknik Müdür

Yabancı Dil

İngilizce-Almanca

Yayınlar:

1. Kemal Delihacioglu, Kürşad Güler, “Filter And Absorber Design With H-Shaped Frequency Selective Surface”, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE’16), March 19-20, 2016, Kilis, pp. 535–541