



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**5G HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN TASARLANAN MİKROŞERİT
YAMA ANTENLERİN PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem ELÇİN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Filiz SARI

AKSARAY, 2025

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 222363411 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Özlem ELÇİN tarafından hazırlanan “**5G HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN TASARLANAN MİKROŞERİT YAMA ANTENLERİN PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Filiz SARI

Aksaray Üniversitesi

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

Üye: Dr. Öğretim Üyesi Yusuf ÖZTÜRK

Antalya Bilim Üniversitesi

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

Üye: Doç. Dr. Mehmet KORKMAZ

Aksaray Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 30/05/2025

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

.....

Prof. Dr.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza
Özlem ELÇİN

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında bilgi ve deneyimiyle bana yol gösteren, akademik rehberliği ve sabırlı desteğiyle yanımda olan kıymetli tez danışmanım Doç. Dr. Filiz SARI'ya en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Bilimsel bakış açımı geliştirmemde, karşılaştığım her zorlukta doğru yönü bulmamda ve bu çalışmayı tamamlamamda gösterdiği ilgi ve rehberlik, benim için son derece kıymetlidir.

Ayrıca, bu süreç boyunca maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen, her zaman yanımda olduklarını hissettiren sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim. Varlıklarıyla güç bulduğum, sabrımın tükendiği anlarda bile bana umut aşılayan ailem olmasaydı, bu çalışmayı tamamlamak çok daha zor olurdu.

Hayatımın bu önemli döneminde bana moral veren, motive eden tüm arkadaşlarıma da içten teşekkür ederim. Onlarla paylaştığım anılar ve dayanışma, bu sürecin en güzel parçalarından biri oldu.

Bu tezin ortaya çıkmasında emeği geçen herkese, kalpten minnettarım.

Özlem ELÇİN
AKSARAY, 2025

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
ŞEKİLLER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Kablosuz İletişimin Tarihsel Gelişimi	2
1.2 5G Haberleşme Sistemi ve Frekans Dağılımı	3
1.3 Mikroşerit Yama Anten Kavramı.....	3
1.4 Mikroşerit Antenin Avantajları ve Dezavantajları.....	4
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1 5.7 GHz İçin Tasarlanan Mikroşerit Yama Antenler	5
2.2 7.1 GHz İçin Tasarlanan Mikroşerit Yama Antenler	5
2.3 28 GHz İçin Tasarlanan Mikroşerit Yama Antenler	6
2.4 38 GHz İçin Tasarlanan Mikroşerit Yama Antenler	9
3. KURUMSAL TEMELLER.....	11
3.1 Mikroşerit yama antenler	11
3.2 Temel Anten Parametreleri	12
3.2.1 Işıma örüntüsü.....	12
3.2.2 Işıma güç yoğunluğu.....	14
3.2.3 Işıma şiddeti	15
3.2.4 Hüzme genişliği	15
3.2.5 Yönlülük.....	15
3.2.6 Anten verimliliği	15
3.2.7 Kazanç.....	16
3.2.8 Hüzme verimliliği	16
3.2.9 Bant genişliği	17
3.2.10 Kutuplama	17
3.2.11 Giriş empedansı.....	18
3.2.12 Anten ışıma verimi.....	18
3.2.13 Yansıma katsayısı	19
3.2.14 Dielektrik sabiti.....	20
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
4.1 Çalışma Frekans Seçimi.....	21
4.2 Alttaşların Seçimi.....	22
4.3 Geometrik Şekillerin Seçimi	24
4.4 Kullanılan Analiz Programı	25
4.5 Anten Tasarımlarında Ölçüm Teknikleri	27
4.6 Anten Tasarımında Kullanılan Formüller	27
4.7 Yama Antenlere Ait Eşdeğer Devrelerin Hesaplanması.....	29
5. ANTEN BOYUTLARI VE SİMÜLASYON SONUÇLARI.....	11
5.1 5.7 GHz Frekansındaki Antenlerin Boyutları ve Simülasyon Sonuçları	34
5.1.1 Kare yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları.....	34
5.1.2 Daire yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları.....	39
5.1.3 Üçgen yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları	44
5.2 7.1 GHz Frekansındaki Antenlerin Boyutları ve Simülasyon Sonuçları	49

5.2.1 Kare yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları	49
5.2.2 Daire yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları	54
5.2.3 Üçgen yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları	59
5.3 28 GHz Frekansındaki Antenlerin Boyutları ve Simülasyon Sonuçları	63
5.3.1 Kare yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları	64
5.4.2 Daire yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları	69
5.4.3 Üçgen yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları	74
5.4 38 GHz Frekansındaki Antenlerin Boyutları ve Simülasyon Sonuçları	79
5.4.1 Kare yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları	79
5.4.2 Daire yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları	84
5.4.3 Üçgen yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları	88
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	94
6.1 5.7 GHz Çalışma Frekansına Sahip Antenlerin Performans Karşılaştırması...	94
6.2 7.1 GHz Çalışma Frekansına Sahip Antenlerin Performans Karşılaştırması...	95
6.3 28 GHz Çalışma Frekansına Sahip Antenlerin Performans Karşılaştırması....	97
6.4 38 GHz Çalışma Frekansına Sahip Antenlerin Performans Karşılaştırması....	98
ÖZGEÇMİŞ	106

YÜKSEK LİSANS TEZİ

5G HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN TASARLANAN MİKROŞERİT YAMA ANTENLERİN PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI

Özlem ELÇİN

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Filiz SARI

ÖZET

Bu çalışmada mikrşerit yama anten tasarımlarında kare, daire ve üçgen geometrik yama şekillerinin tasarımı yapılmıştır. Tasarımlar FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik alttaşlar kullanılarak yapılmıştır. Tasarlanan antenler 5G haberleşme sistemlerinde kullanılan 5.7 GHz, 7.1 GHz, 28 GHz ve 38 GHz merkez frekanslarında tasarlanmıştır. Tasarlanan antenlerin güç yansıma katsayılarına, bant genişliğine ve kazanç performans değerlerine göre geometrik şekilleri ve dielektrik alttaş malzemeleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroşerit yama antenler, 5G Haberleşme sistemleri, Anten tasarımı, Anten performansları.

Haziran, 2025; 106 sayfa

M.Sc. THESIS

**COMPARİSON OF THE PERFORMANCE OF MICROSTRİP PATCH
ANTENNAS DESİGNED FOR 5G COMMUNİCATION SYSTEMS**

Özlem ELÇİN

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Filiz SARI

ABSTRACT

In this study, microstrip patch antenna designs with square, circular, and triangular geometric patch shapes have been developed. The designs were implemented using FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C, and Rogger RO4350B dielectric substrates. The designed antennas operate at center frequencies of 5.7 GHz, 7.1 GHz, 28 GHz, and 38 GHz, which are used in 5G communication systems. The geometric shapes and dielectric substrate materials of the designed antennas were evaluated based on their power reflection coefficients, bandwidth, and gain performance.

Keywords: Microstrip patch antennas, 5G Communication, Antenna design, Antenna performance.

June, 2025; 106 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Mikroşerit yama antenler.	11
Şekil 3.2. Antenlerin ışıma örüntüsü.....	13
Şekil 3.3. Yansıma, iletim ve dielektrik kayıpları.	16
Şekil 4.1. Kare geometrili şekle sahip mikroşerit yama antenin ön görüntüsü.....	26
Şekil 4.2. Daire geometrili şekle sahip mikroşerit yama antenin ön görüntüsü.....	26
Şekil 4.3. Üçgen geometrili şekle sahip mikroşerit yama antenin ön görüntüsü.....	26
Şekil 4.4. Mikroşerit hat beslemeli yama anten ve eşdeğer RLC devresi.....	30
Şekil 5.1. 5.7 GHz için FR4 dielektrik altağa kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	36
Şekil 5.2. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik altağa kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	36
Şekil 5.3. 5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik altağa kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	36
Şekil 5.4. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altağa kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	36
Şekil 5.5. 5.7 GHz için FR4 dielektrik altağa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	37
Şekil 5.6. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik altağa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	37
Şekil 5.7. 5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik altağa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	37
Şekil 5.8. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altağa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	38
Şekil 5.9. 5.7 GHz için FR4 dielektrik altağa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	38
Şekil 5.10. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik altağa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	38
Şekil 5.11. 5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik altağa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...39	39
Şekil 5.12. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altağa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...39	39
Şekil 5.13. 5.7 GHz için FR4 dielektrik altağa daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	41
Şekil 5.14. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik altağa daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	41
Şekil 5.15. 5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik altağa daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	41
Şekil 5.16. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altağa daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	41
Şekil 5.17. 5.7 GHz için FR4 dielektrik altağa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	42
Şekil 5.18. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik altağa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	42
Şekil 5.19. 5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik altağa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	42
Şekil 5.20. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altağa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	43

Şekil 5.21.	5.7 GHz için FR4 dielektrik altaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	43
Şekil 5.22.	5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	43
Şekil 5.23.	5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	44
Şekil 5.24.	5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	44
Şekil 5.25.	5.7 GHz için FR4 dielektrik altaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	46
Şekil 5.26.	5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	46
Şekil 5.27.	5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	46
Şekil 5.28.	5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	47
Şekil 5.29.	5.7 GHz için FR4 dielektrik altaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	47
Şekil 5.30.	5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	47
Şekil 5.31.	5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	47
Şekil 5.32.	5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	48
Şekil 5.33.	5.7 GHz için FR4 dielektrik altaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	48
Şekil 5.34.	5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	48
Şekil 5.35.	5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	49
Şekil 5.36.	5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	49
Şekil 5.37.	7.1 GHz için FR4 dielektrik altaşıta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	51
Şekil 5.38.	7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşıta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	51
Şekil 5.39.	7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşıta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	52
Şekil 5.40.	7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşıta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	52
Şekil 5.41.	7.1 GHz için FR4 dielektrik altaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	52
Şekil 5.42.	7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	52
Şekil 5.43.	7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	53
Şekil 5.44.	7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	53
Şekil 5.45.	7.1 GHz için FR4 dielektrik altaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	53

Şekil 5.46.	7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	54
Şekil 5.47.	7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	54
Şekil 5.48.	7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	54
Şekil 5.49.	7.1 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	56
Şekil 5.50.	7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	56
Şekil 5.51.	7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	56
Şekil 5.52.	7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	56
Şekil 5.53.	7.1 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	57
Şekil 5.54.	7.1GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	57
Şekil 5.55.	7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	57
Şekil 5.56.	7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	58
Şekil 5.57.	7.1 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	58
Şekil 5.58.	7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	58
Şekil 5.59.	7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	59
Şekil 5.60.	7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	59
Şekil 5.61.	7.1 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	60
Şekil 5.62.	7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	61
Şekil 5.63.	7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	61
Şekil 5.64.	7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	61
Şekil 5.65.	7.1 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	61
Şekil 5.66.	7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	62
Şekil 5.67.	7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	62
Şekil 5.68.	7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	62
Şekil 5.69.	7.1 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	63
Şekil 5.70.	7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	63

Şekil 5.71.	7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	63
Şekil 5.72.	7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	63
Şekil 5.73.	28 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	65
Şekil 5.74.	28 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	65
Şekil 5.75.	28 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	66
Şekil 5.76.	28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	66
Şekil 5.77.	28 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	66
Şekil 5.78.	28 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	67
Şekil 5.79.	28 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	67
Şekil 5.80.	28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	67
Şekil 5.81.	28 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	68
Şekil 5.82.	28 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	68
Şekil 5.83.	28 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	68
Şekil 5.84.	28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	68
Şekil 5.85.	28 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	70
Şekil 5.86.	28 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	70
Şekil 5.87.	28 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	71
Şekil 5.88.	28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	71
Şekil 5.89.	28 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	71
Şekil 5.90.	28GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	72
Şekil 5.91.	28 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	72
Şekil 5.92.	28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	72
Şekil 5.93.	28 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	73
Şekil 5.94.	28 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	73
Şekil 5.95.	28 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	73

Şekil 5.96.	28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu...	73
Şekil 5.97.	28 GHz için FR4 dielektrik altaşta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	75
Şekil 5.98.	28 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	75
Şekil 5.99.	28 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	76
Şekil 5.100.	28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	76
Şekil 5.101.	28 GHz için FR4 dielektrik altaşta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	75
Şekil 5.102.	28 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	77
Şekil 5.103.	28 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	77
Şekil 5.104.	28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu..	77
Şekil 5.105.	28 GHz için FR4 dielektrik altaşta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	78
Şekil 5.106.	28 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D grafiği simülasyon sonucu.	78
Şekil 5.107.	28 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu..	78
Şekil 5.108.	28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu..	78
Şekil 5.109.	28 GHz için FR4 dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	80
Şekil 5.110.	38 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	80
Şekil 5.111.	38 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	81
Şekil 5.112.	38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	81
Şekil 5.113.	38 GHz için FR4 dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	81
Şekil 5.114.	38 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	82
Şekil 5.115.	38 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	82
Şekil 5.116.	38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	82
Şekil 5.117.	38 GHz için FR4 dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	83
Şekil 5.118.	38 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	83
Şekil 5.119.	38 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu.	83

Şekil 5.120.	38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	83
Şekil 5.121.	38 GHz için FR4 dielektrik altaşa daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	85
Şekil 5.122.	38 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşa daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.	85
Şekil 5.123.	38 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşa daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	85
Şekil 5.124.	38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşa daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	86
Şekil 5.125.	38 GHz için FR4 dielektrik altaşa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	86
Şekil 5.126.	38GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	86
Şekil 5.127.	38 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	87
Şekil 5.128.	38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	87
Şekil 5.129.	38 GHz için FR4 dielektrik altaşa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	87
Şekil 5.130.	38 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	88
Şekil 5.131.	38 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu.	88
Şekil 5.132.	38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu.	88
Şekil 5.133.	38 GHz için FR4 dielektrik altaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	90
Şekil 5.134.	38 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	90
Şekil 5.135.	38 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	90
Şekil 5.136.	38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.....	91
Şekil 5.137.	38 GHz için FR4 dielektrik altaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	91
Şekil 5.138.	38 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	91
Şekil 5.139.	38 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.....	92
Şekil 5.140.	38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu..	92
Şekil 5.141.	38 GHz için FR4 dielektrik altaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D grafiği simülasyon sonucu.....	92
Şekil 5.142.	38 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D grafiği simülasyon sonucu.....	93
Şekil 5.143.	38 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu..	93

Şekil 5.144. 38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaşta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield 3D Directivity grafiği simülasyon sonucu..93



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Altaşların özelliklerinin karşılaştırılması.....	24
Çizelge 4.2. Kare geometrilili yama antene ait RLC devresi değerleri.....	32
Çizelge 4.3. Daire geometrilili yama antene ait RLC devresi değerleri.....	32
Çizelge 4.4. Üçgen geometrilili yama antene ait RLC devresi değerleri.....	32
Çizelge 5.1. 5.7GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.	34
Çizelge 5.2. 5.7 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.....	35
Çizelge 5.3. 5.7 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.	39
Çizelge 5.4. 5.7 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.....	40
Çizelge 5.5. 5.7 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.	44
Çizelge 5.6. 5.7 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.....	45
Çizelge 5.7. 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.	49
Çizelge 5.8. 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.....	50
Çizelge 5.9. 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.	54
Çizelge 5.10. 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.....	55
Çizelge 5.11. 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.	59
Çizelge 5.12. 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.....	60
Çizelge 5.13. 28 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.	64
Çizelge 5.14. 28 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.....	64
Çizelge 5.15. 28 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.	69
Çizelge 5.16. 28 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.....	69
Çizelge 5.17. 28 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.	74
Çizelge 5.18. 28 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.....	74
Çizelge 5.19. 38 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.	79
Çizelge 5.20. 38 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.....	79
Çizelge 5.21. 38 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.	84
Çizelge 5.22. 38 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip	

mikroşerit anten simülasyon sonuçları.....	84
Çizelge 5.23. 38 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.	89
Çizelge 5.24. 38 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.....	89
Çizelge 6.1. 5.7 GHz çalışma frekansında tasarlanan antenlerin performans karşılaştırması.	94
Çizelge 6.2. 7.1 GHz çalışma frekansında tasarlanan antenlerin performans karşılaştırması.	95
Çizelge 6.3. 28 GHz çalışma frekansında tasarlanan antenlerin performans karşılaştırması.	97
Çizelge 6.4. 38 GHz çalışma frekansında tasarlanan antenlerin performans karşılaştırması.	98



SİMGELER VE KISALTMALAR

dB	Desibel
DGS	Defected Ground Structure
GHz	Gigahertz
Hz	Hertz
IoT	Nesnelerin interneti
MHz	Megahertz
S₁₁	Yansıma Katsayısı
SMS	Short Messaging Service
VSWR	Duran dalga oranı
ϵ_r	Dielektrik sabiti



1. GİRİŞ

Günümüzde kablosuz haberleşme teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler, yüksek veri iletim hızı, düşük gecikme süresi ve geniş bant genişliği gibi ihtiyaçları beraberinde getirmiştir. Bu gereksinimler, özellikle 5G ve ötesi iletişim sistemlerinde kullanılacak olan yüksek frekanslı anten çözümlerini ön plana çıkarmaktadır. Bu bağlamda mikroşerit yama antenler; düşük profil, hafiflik, kolay üretilebilirlik ve entegrasyon kolaylığı gibi avantajları sayesinde modern haberleşme sistemlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasında, 5.7 GHz, 7.1 GHz, 28 GHz ve 38 GHz çalışma frekanslarında çalışan mikroşerit yama antenlerin performansı; kullanılan dielektrik alttaşların ve anten geometrilerinin çeşitlendirilmesi yoluyla incelenmiştir. Çalışmada, kare, daire ve üçgen olmak üzere üç farklı geometrik şekil kullanılmış; her bir şekil FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B gibi sektörde yaygın olarak kullanılan dört farklı dielektrik alttaş üzerinde modellenerek performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

Araştırmanın temel problemi, farklı frekans aralıklarında çalışan mikroşerit antenlerde optimum anten geometrisinin ve uygun alttaşın belirlenmesidir. Çünkü yüksek frekanslı haberleşme sistemlerinde, antenin kazanç, bant genişliği, geri dönüş kaybı (S11) ve yönlülük gibi parametreleri, antenin geometrik yapısı ve alttaşın dielektrik özelliklerine doğrudan bağlıdır. Bu nedenle, farklı alttaş ve şekillerin anten performansı üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek hem akademik hem de uygulamalı açıdan önem arz etmektedir.

Bu araştırmanın amacı, belirlenen dört farklı frekansta çalışan mikroşerit antenler için en uygun alttaş ve anten geometrisini tespit ederek; sistem tasarımcılarına yüksek frekanslı uygulamalarda kullanılabilecek anten çözümleri sunmaktır. Araştırmanın sonuçları, yüksek frekanslı haberleşme sistemlerinde anten tasarımına yönelik faydalı bilgiler sunmayı amaçlamaktadır.

Araştırmada izlenen yöntem, CST Microwave Studio simülasyon yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir anten modeli için geri dönüş kaybı (S11), bant genişliği, kazanç ve ışınlım örüntüsü gibi temel performans parametreleri elde edilerek

karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Antenlerin performanslarına bağlı kullanım alanları önerilmiştir.

Çalışmanın kapsamı, seçilen frekans değerleri ve anten şekilleri ile sınırlıdır. Ayrıca anten tasarımları yalnızca simülasyon ortamında değerlendirilmiş olup fiziksel üretim ve ölçüm aşaması bu araştırmanın dışında tutulmuştur.

Sonuç olarak, bu tez çalışması; farklı frekanslarda çalışan mikroserit antenlerin performansını, geometrik yapı ve alttaşı etkisi açısından ele alarak, gelecekteki haberleşme teknolojilerinde kullanılabilecek verimli anten yapılarına yönelik bulgular sunmaktadır.

1.1. Kablosuz İletişimin Tarihsel Gelişimi

Mobil haberleşme teknolojileri, 1982 yılında analog sinyallerle çalışan birinci nesil (1G) sistemlerin kullanıma sunulmasıyla başlamıştır. Bu sistemler, yalnızca ses iletimine olanak tanımış ve 824–894 MHz frekans aralığında, kanal başına 10–30 kHz bant genişliği ile hizmet vermiştir. Yaklaşık on yıl sonra, 1991 yılında geliştirilen ikinci nesil (2G) sistemlerle birlikte dijital haberleşmeye geçilmiş; 850–1900 MHz frekans bandı ve 200 kHz bant genişliğiyle veri iletimi sağlanmıştır. 2G'nin en önemli katkılarından biri, kısa mesaj servisi (SMS) gibi metin tabanlı iletişimi mümkün kılmasıdır. 2000'li yıllarda ortaya çıkan üçüncü nesil (3G) teknolojisi, 1.8–2.5 GHz frekans aralığında çalışarak yaklaşık 2 Mbps hızında veri iletimini mümkün kılmış; bu sayede mobil cihazlarla görüntülü iletişim kurmak mümkün hale gelmiştir. Ayrıca bu nesille birlikte, devre anahtarlamının yanında paket anahtarlama altyapısı da kullanılmaya başlanmıştır. 2010'lu yıllarda yaygınlaşan dördüncü nesil (4G) teknolojisi ise veri hızlarını önemli ölçüde artırarak mobil geniş bant erişiminde büyük bir adım olmuştur. Son olarak, 2020'li yıllarda devreye giren beşinci nesil (5G) iletişim sistemleri, 410 MHz ile 86 GHz arasında oldukça geniş bir frekans aralığında çalışmakta ve yüksek veri hızıyla birlikte düşük gecikme süreleri sunarak iletişimde yeni bir çağ başlatmaktadır (Cengiz,2020).

1.2. 5G Haberleşme Sistemi ve Frekans Dağılımı

5G teknolojisi, geniş bant internet erişimi, yüksek kapasiteli veri iletimi, düşük gecikme süresi, daha fazla cihazın aynı anda bağlanabilmesi gibi özellikleriyle öne çıkan bir kablosuz iletişim teknolojisi. Bu teknoloji, daha önceki nesil mobil iletişim sistemlerine kıyasla çok daha yüksek hız ve güvenilirlik sunmaktadır. Ayrıca, 5G'nin nesnelerin interneti (IoT) ve akıllı şehir uygulamaları gibi alanlarda da kullanım potansiyeli bulunmaktadır (Türer ve Yılmaz, 2022). 5G standartları, 3GPP (3rd Generation Partnership Project) tarafından belirlenmektedir. 3GPP, mobil iletişim standartlarını geliştirmek ve yönetmek amacıyla kurulmuş uluslararası bir organizasyondur. 5G'nin gelişim süreci, 2018 yılında kabul edilen NSA (Non-Standalone) versiyonu ile başlamış olup daha sonra 2020 yılında kabul edilen SA (Standalone) versiyonu ile tamamlanmıştır. 3GPP'nin belirlediği standartlar doğrultusunda mobil iletişim operatörleri, 5G ağlarını bu standartlara uygun olarak kurmak zorundadırlar (Tekler, 2021). 3GPP, mobil iletişim endüstrisinde yer alan operatörler, üreticiler, akademisyenler ve diğer paydaşlar tarafından oluşturulmuş bir organizasyondur. 3GPP, mobil iletişim standartlarını belirleyen ve geliştiren ana kuruluştur. 5G standartları da 3GPP tarafından belirlenmiş ve sürekli olarak güncellenmektedir. 3GPP'nin belirlediği 5G standartları, mobil iletişim endüstrisinde küresel bir kabul görmekte ve 5G ağlarının uyumlu ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. 5G frekans aralıkları, mobil iletişim için ayrılmış spektrum aralıklarını temsil eder. Bu aralıklar, daha yüksek hız, daha düşük gecikme süresi ve daha fazla kapasite sağlamak amacıyla 5G ağlarında kullanılır. Bu frekans aralıkları genellikle düşük, orta ve yüksek frekanslı bantlar olarak sınıflandırılır. Düşük frekanslı bantlar genellikle daha uzun menzil sağlarken, yüksek frekanslı bantlar daha yüksek hız ve kapasite sunar (Mustari vd., 2023).

1.3. Mikroşerit Yama Anten Kavramı

Mikroşerit anten kavramı dünyada ilk kez Deschamps tarafından 1953 yılında kullanılmıştır. Fakat o yıllarda tasarlanan mikroşerit yama antenin; bant genişliği, verimlilik, yönlülük gibi istenilen performans kriterlerinde kullanıma uygun bir antenin üretilmesi uzun bir zaman almıştır. Bunun sebepleri arasında en ön sırada yer alan neden, uygun dielektrik malzemenin bulunamamasıydı. Bu alanda çalışmalar

yapan Howel ve Munson 1970 yıllarında yaptıkları çalışmayla günümüzde kullandığımız mikroşerit yama antenin temellerini attığı söylenebilir (Sarıkaya, 2007; Tiwari vd., 2020). Günümüzde tasarım basitliği ve devre kartlarına kolay entegre olduğundan dolayı kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanımı artmıştır. Mikroşerit bir antenin işleyişi ve performansı, antenin basılı olduğu yamanın şekline ve kullanılan alt tabaka malzemesinin özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır. Hem antenin geometrik yapısı hem de alt tabakanın özellikleri, antenin sinyal iletiminde ve verimliliğinde belirleyici rol oynar (Binshitwan vd., 2021).

1.4. Mikroşerit Antenin Avantajları ve Dezavantajları

Mikroşerit antenler, anten tipleri arasında diğerlerinden üstün olan birçok özelliği bünyesinde barındırır. Bu özellikler ve avantajlar sıralandığında, ilk olarak mikroşerit antenlerde kullanılan malzemelerin maliyetinin düşük ve ekonomik olduğu görülür (Balanis, 2005). Bu nedenle, günümüz araştırmacıları malzemeye kolaylıkla ulaşabilir ve erişim sırasında sorun yaşamazlar. Ardından, mikroşerit yama antenlerin küçük boyutları, hafif ağırlıkları ve esneklik payına sahip olmaları gelir. Bu özellikler sayesinde, haberleşme ve savunma sistemlerinde kullanılan uydu, roket ve füze gibi teknolojilere kolayca entegre edilerek sistemlerin aerodinamik yapısına zarar vermezler. Öne çıkan bir diğer özellik ise geniş çalışma frekans aralığı sunmalarıdır (Khasiyev, 2023). Bu da hızla gelişen teknolojik ihtiyaçlara uygun yama anten tasarlama imkânı sağlar.

Mikroşerit antenlerin bu üstün özellikleri, son zamanlarda tasarımcıların ilgisini çekmiş ve bu anten türünün önemini artırmıştır. Ancak, bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar arasında dar bant genişliği, düşük güç kapasitesi, yüksek Q faktörü, zayıf polarizasyon saflığı ve sınırlı tarama performansı mikroşerit yama anten tasarımlarında önemli sorunlar oluşturmaktadır (Balanis, 2013).

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. 5.7 GHz İçin Tasarlanan Mikroşerit Yama Antenler

Kavitha vd. (2020) yaptığı çalışmada 5.9 GHz frekans bandında çalışan Frektal yama anten tasarımı yapmışlardır. Yapılan çalışmada Rogger 5880 dielektrik alttaş kullanılmıştır. Yamanın boyutu ve kalınlığı 19,63 mm ve 0,3 mm seçilmiştir. Dikdörtgen yama antenin simülasyon sonuçlarında S11 değeri -21 dB ve VSWR sonucu 1.03 dB görülmüştür. Yapılan diğer çalışmalar ile anten performansı yükseltilmiştir. Selvaraj vd. (2018) yaptığı çalışmada, 5.8 GHz’de Rogger 5880 dielektrik malzemesi kullanarak 5.1mm kalınlıkta dikdörtgen ve daire yama anten şeklinde 50x50 mm boyutunda yama anten tasarlanmıştır. S11 değeri -23.47 dB, VSWR 1.14 ve 650 MHz bant genişliği elde etmiştir. Kazanç, yönlülük ve verimlilik sırasıyla 3.3182 dB, 3.4477dB ve %96.24’dır. Przesmycki vd. (2022) yaptığı çalışmada Rogger 5880 dielektrik alttaşını kullanarak hilal şekilli mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. Tasarlanan antenin rezonans frekansı 3.52GHz ve 5.2GHz’dir. Islam vd. (2016) yaptığı çalışmada 5.8GHz’de rezonansa giren mikroşerit antenler tasarlamıştır. Tasarlanan antenlerin dielektrik alttaşlarını değiştirerek antenin performansı karşılaştırılmıştır. Tasarlanan alttaş malzemeleri FR4, Rogger5880, Arlon Di 522, Taconic RF 35P, Bakelite ve Dupont-951’dir. Analizlerine göre FR4 ve Dupont-951 dielektrik malzeme için daha iyi performans gözlenmiştir. Zeain vd. (2024) yaptığı çalışmada 0,508mm kalınlığına sahip Rogger 4350B dielektrik alttaş kullanılmıştır. Bu çalışmada MIMO antenin performansını etkilemeden boyutunu %25,9 oranında azaltılmıştır. 3GHz ve 6GHz arasında geniş bir çalışma frekansına sahiptir. Nusrat ve Roy (2022) yaptığı çalışmada 5.7GHz frekansında çalışan bir anten tasarlamışlardır. Anteninin dielektrik alttaş 0,813 mm kalınlığında Rogger 4003C’dir. Simülasyon sonuçlarında 5.41GHz frekansında S11 değeri -28.17dB iken ölçüm sonuçlarında frekans 5.77 GHz’de -14.46dB ölçülmüştür. 5.7GHz’de ölçülen bant genişliği 5,70-5,81 GHz çalışma frekansları arasında 112,5 MHz’dir .

2.2. 7.1 GHz İçin Tasarlanan Mikroşerit Yama Antenler

Elechi ve John (2022), yaptığı çalışmada 5G uygulamalarında kullanılması için Rogger 5880 dielektrik alttaşını kullanmışlardır. Alttaş yüksekliği 1mm seçilmiştir. Anten tasarımı feed inset eklentisi ve feed inset eklentisi olmadan yapılmıştır. Anteni

değerlendirmek için S11 parametreleri, yansıma kaybı, gerilim dalga oranı (VSWR), yansıyan güç ve iletilen güç gibi performans kriterleri analiz edilmiştir. Sonuçlar, antenin 3.5 GHz, 5.93 GHz, 7.49 GHz, 10.07 GHz ve 11.65 GHz frekanslarında sırasıyla yansıma kaybı (S11) -19.33, -17.40, -25.84, -32.94 ve -26.25 dB değerleriyle çalıştığını göstermiştir. VSWR değerleri ise sırasıyla 1.88, 2.35, 1.68, 1.78 ve 1.03'tür. Suneeyamu vd. (2023) yaptığı çalışmada Arızalı Toprak yapısı (Defected Ground Structure (DGS)) artı şekilli yama anten tasarlanmıştır. Dielektrik alttaşı olarak FR4 kullanılmış. Dielektrik sabitti 4,4 ve kayıp tanjant 0,02'dir. 7,1 GHz'de 3,79 dBi ve 12,8 GHz'de 5,75 dBi rezonans frekanslarında tepe kazancıyla 8,85 GHz (6,39 GHz-14,73 GHz) ultra geniş bant bant genişliğinde çalışır. Bu çalışmada yüksek bant genişliği ve düşük güç gereksinimleri amaçlamışlardır. Zhang vd. (2023) dielektrik alttaşı Rogger 4350 olan plazmonik malzemelerden oluşan sıvı anteni önermişlerdir. Önerilen anten 3 GHz, 3.3 GHz, 4.89 GHz, 6.17 GHz ve 7.12 GHz frekanslarında çalışmaktadır. 7.12GHz çalışma frekansında kazancı 3.14 dBi'dir. 7.12GHz'de S11 performans parametresi -15 dB'dir. İbrahimpaşa ve Karamzahad (2019) yılında yaptığı çalışmada 5.8 GHz'den 12 GHz kadar geniş çalışma aralığına sahip mikroşerit yama anten tasarlamışlardır. Önerilen antenin alttaşı Rogger 4003C'dir. Önerilen antenin S11 değeri 7.1 GHz çalışma frekansında bandı yakınlarında -30dB civarında olduğu görülür.

2.3. 28 GHz İçin Tasarlanan Mikroşerit Yama Antenler

Sadasivam vd. (2022) yaptığı çalışmada, Çift yuvalı mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. Çalışma frekanslar 10 GHz, 28 GHz ve 38 GHz hedef alınmıştır. Yapılan çalışmada FR4 ve Rogger 5880 dielektrik tabakası seçilmiştir ve çalışma performansları karşılaştırılmıştır. Rogger 5880 dielektrik malzemesinin bu çalışmada daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Hakim vd. (2019) yaptığı çalışmada, 5G uygulamaları için 28 GHz ve 38 GHz'de mikroşerit yama anten tasarımında optimize edilerek karşılaştırılmış üç parametre belirlenmiştir; alt tabaka elemanı, alt tabaka yüksekliği ve besleme tekniği. Alttaşı tabaka karşılaştırılmalarda köpük, FR4, Rogger 5880 ve TLC-3.2 dielektrik tabakaları seçilmiştir. Alt tabaka elemanı olarak köpük, alt tabaka yüksekliği olarak 0,5 mm ve çeyrek dalga besleme tekniğinin en iyi performansı sağladığı tespit edilmiştir. Yıldıray (2017) yaptığı çalışmada, 5G mobil ağları için 28 GHz'de çalışan Rogger 5880 dielektrik tabakalı dikdörtgen, daire ve Ç

şekilli üç farklı yama anten tasarlanmıştır. Antenlerin alt tabaka, toprak düzlemi, besleme yöntemi ve besleme noktaları göz önüne alınarak performans açısından incelenmiştir. Mikroşerit besleme hattı yöntemi ve koaksiyel besleme yönteminde de en iyi sonuçlar dikdörtgen yama antenden elde edilmiştir. Swaminathan vd. (2019) yaptığı çalışmada 28 GHz frekansında, $\epsilon_r=2.2$ olan RT/ Rogger 5880 dielektrik altaşının ve Neltec NY9220 (IM) dielektrik altaşının kalınlıklarının değiştirilmesi ile mikroşerit yama antenin performans karşılaştırmasını yapmışlardır. Karşılaştırdıkları altaş kalınlıkları 0,127 mm, 0,254 mm, 0,381 mm, 0,508 mm ve 0,787 mm'dir. Bu çalışma sonuçlarında altaş kalınlığının artırılması bant genişliğini ve verimliliğin arttığı gözlemlenmiştir. Ahmed vd. (2017) 5G uygulamalar için Rogger 5880 dielektrik altaşını kullanarak 28 GHz'de rezonans giren 4x2 elemanlı mikroşerit yama anten dizisi tasarlamışlardır. Anten dizisinin kazancı 16.1 dBi'dir. Tasarlanan anteni hem arka prob besleme ve kenar besleme düzenlemeleriyle analiz edilmiştir. Kenar besleme yöntemiyle tasarlanan antenin iç bükey eğimli ve dış bükey eğimli bükülmenin performans üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kenar besleme yöntemiyle gerçekleştirilen analizlerde, alt tabakanın iç bükey eğimli bükülmesinin performansa çok az etkisi olduğu, ancak dış bükey eğimli bükülmenin açısına bağlı olarak performansın önemli ölçüde değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Kiran vd. (2018), yaptığı çalışmada 5G uygulamaları için 28GHz ve 50GHz'de rezonansa giren mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. Tasarlanan antende Rogger 5880 dielektrik altaşı kullanılmıştır ve yüksekliği 0.5mm seçilmiştir. Antenin geri dönüş kaybı 28.3 GHz'de ve 50.3 GHz'de sırasıyla 21dB ve 31dB olarak gözlemlenmiştir. Alaoui vd. (2023), yaptığı çalışmada 5G uygulamaları için 1.575mm yüksekliğe sahip Rogger 5880 altaşını kullanarak 1x2 elamanlı dizi kullanılmıştır. Anten 27,95 Gz'de 1,863 GHz bant genişliğine sahiptir. Antenin yansıma kaybı -25,84 dB bulunmuştur. Khasiyev (2023) yaptığı çalışmada, Dielektrik altaşı Rogger5880 olan S şekilli bir mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. Tasarlanan antenin rezonans frekansı 28GHz'dir. 590 MHz bant genişliği, -23 dB geri dönüş kaybı, 1,13 duran dalga oranı ve 9,07 dB kazanç elde edilmiştir. Barışer vd. (2024), yaptığı çalışmada 28 GHz rezonans frekansına sahip anten tasarlanmıştır. Tasarlanan antenin dielektrik altaşı Rogger 5880'dir. Bu çalışmada farklı iletken malzemeler kullanarak anten performansını değerlendirmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, bakır iletken için en iyi S11 değeri -31.19 dB olarak 28.03 GHz rezonans frekansında ve 968 MHz bant

genişliği ile elde edilmiştir. Altın iletken, -32 dB S11 değeri ve 972 MHz bant genişliği ile 28.01 GHz merkez frekansında yüksek performans göstermiştir. Ancak, alüminyum iletken en yüksek performansı -33.29 dB S11 değeri ve 976 MHz bant genişliği ile yine 28.01 GHz rezonans frekansında sağlamıştır. VSWR değerleri bakır ve altın iletkenler için 1,05, alüminyum için ise 1,04 olarak belirlenmiştir. Yönlülük değerleri açısından, bakır, altın ve alüminyum iletkenlerin maksimumları sırasıyla 6,99 dBi, kazanç değerleri ise sırasıyla 6,61 dBi, 6,60 dBi ve 6,58 dBi olarak tespit edilmiştir. Gemeda vd. (2021) yaptığı çalışmada, 5G uygulamaları için tasarlanan dikdörtgen mikroşerit yama antenin 28 GHz frekansında elde ettiği performans simülasyon sonuçlarıyla incelenmiştir. Antenin dielektrik alttaş olarak FR4 kullanılmıştır. Antenin geri dönüş kaybı -38.87 dB olarak ölçülmüş ve -10 dB bant genişliği 1.046 GHz olarak hesaplanmıştır. Yönlülük ve kazanç değerleri sırasıyla 7.509 dBi ve 7.587 dBi olup, radyasyon verimliliği %98.2'dir. Turgut vd. (2023) alışmada, 5G mobil iletişim sistemleri için yüksek performanslı, çift bantlı bir anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Antenin dielektrik alttaş olarak FR4 kullanılmıştır. Anten, ters-F şekilli bir yapıya sahip olup, 28 GHz ve 38 GHz frekans bantlarında çalışacak şekilde optimize edilmiştir. 28 GHz ve 38 GHz'de 25 dBi kazanç elde etmişlerdir. Dardeer vd. (2023) yaptığı çalışmada 28 GHz ve 38 GHz merkez frekanslarında çalışan mikroşerit anten önermişlerdir. Önerilen antenin alttaşı Rogger 4350B'dir. Bu başlık altında 28 GHz'de tasarlanan antenin performans değerleri incelendi. Önerilen antenin verimliliği %93'dr. 28 GHz'de 3,5 dB kazanç elde edilmiştir. Bant genişliği 11,02GHz'dir. S11 performans değeri ise -18dB elde edilmiştir. Tariq vd. (2018) 28GHz alışma frekansında olan mikroşerit yama anten dizisi tasarlamışlardır. Tasarlanan anteni yatay ve dikey konumlandırıp anten performanslarını değerlendirmişlerdir. Önerilen antenin alttaşı Rogger 4350B'dir. Sabek vd. (2021) yılında yaptığı çalışmada Rogger 4003C alttaşını kullanarak 28 GHz ve 38 GHz alışma frekanslarına sahip üçgen çıkıntılı mikroşerit yama anten tasarlamışlardır. Tasarlanan anten 28 GHz alışma frekansı için 4,5 GHz bant genişliğine sahiptir. 38 GHz için 3,8 GHz bant genişliğine sahiptir. 28 GHz ve 38 GHz için sırasıyla kazancı 4,54 dB ve 4,21 dB'dir. 28 ve 38 GHz için sırasıyla S11 değerleri -30dB ve -42 dB civarlarındadır. Yang vd. (2024) yaptığı çalışmada Rogger 4003C alttaşını kullanarak 28 GHz alışma frekansına sahip bir mikroşerit anten dizisi tasarlanmıştır. Tasarlanan anten dizisinde 28 GHz frekansında -S11 parametresi -30 dB bulunmuştur.

Simülasyon sonuçlarına göre anten kazancı 11,09 dB'dir. Fernandez vd. (2023) yaptığı çalışmada Rogger 4003C alttaşını kullanarak 28 GHz çalışma frekansına sahip mikroşerit yama anten tasarlamışlardır. Tasarlanan antenin ölçülen S11 değeri -40dB'dir. Bant genişliği ise 1.35 GHz'dir.

2.4. 38 GHz İçin Tasarlanan Mikroşerit Yama Antenler

Binshitwan vd. (2021) arkadaşlarının yaptığı çalışmada 38 GHz çalışma frekansında rezonans olan DGS'li ve DGS'siz mikroşerit yama anten tasarlamışlardır. Tasarlanan anten Rogger 5880 dielektrik alttaş kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma ile iki ayrı yöntemi karşılaştırmışlardır. S11 değeri DGS olmadan -18.50 dB görmekte iken DGS ile birlikte S11 değeri -40.54 dB görmüştür. Burada DGS yöntemi kullanılarak anten düzleminde açılan yarıklar ile birlikte anten bant genişliği ve geri dönüş kaybı değerlerini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır fakat antenin kazancı ve verimliliğinde düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. Ali vd. (2023) yaptığı çalışmada 38 GHz çalışma frekansını 38 GHz olan üç yarıklı kare anten tasarlamışlardır. Tasarlanan anten Rogger 5880 dielektrik alttaş kullanmışlardır. Dielektrik alttaş kalınlığı 0,381mm'dir. Anteninden istenilen performans değerlerini almak kare mikroşerit kare anten tasarlanmıştır. Fakat anten istenilen frekans değerinde rezonansa girmemiştir. İlk önce empedans uyumlamak için ek besleme yönteminden faydalanmış ardından yamann kenarlarına yarıklar açarak rezonans frekansı 38.67GHz olan geri dönüş kaybı değerini -47,82dB elde etmişlerdir. Demirci ve Ermis. (2021) yaptığı çalışmada 28GHz ve 38 GHz rezonans frekansına sahip mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. Tasarlanan antende dielektrik alttaş Rogger5880 kullanılmıştır. Antenin performansını iyileştirmek için farklı besleme yolları kullanılmış ve en yüksek bant genişliği yakınlık kublajlı besleme yöntemiyle ve toprak düzlemi bozulmuş mikroşerit anten tasarımında elde edilmiştir. Anten performansları 28GHz frekansı için geri dönüş kaybı, bant genişliği ve kazanç değerleri sırasıyla - 32.27 dB, 4.79 GHz ve 8.16 dB olarak bulunmuştur. İkinci frekans olan 38 GHz için ise geri dönüş kaybı, bant genişliği ve kazanç değerleri sırasıyla -40.42 dB, 5.67 GHz ve 7.06 dB olarak bulunmuştur. Şeker ve Güneşer (2019) yaptığı çalışmada, 38GHz de FR4 malzemesi kullanılarak yama anten tasarlanmıştır. Dielektrik alttaş kalınlığı 1.6mm seçilmiştir. 37.5GHz'de 24,35 dB S11 değeri alınmıştır. 1,021GHz bant genişliği elde edilmiştir. Hiçdurmaz ve Gümüş (2019) yaptığı çalışmada FR4 dielektrik alttaşını kullanarak farklı kaplamalarda

mikroşerit yama antenin performansını karşılaştırmıştır. Karşılaştırmada kullanılan iletken kaplamalar Bakır, Alüminyum, Altın, Gümüş, Demir, Platin, Tantal ve Molibden'dir. Çalışmada FR4 alttaşın yüksekliği 0.1mm seçilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen verilerde en iyi geri dönüş performansının tantal iletkeninin kullanılması ile elde edilirken en kötü performansı gümüş iletkeninde elde edilmiştir. Anten verimliliği karşılaştırıldığında en iyi performans gümüş iletkeninde elde edilirken en kötü performans tantal iletkeninde elde edilmiştir. Sethi vd. (2018), 28 GHz ve 38 GHz'de rezonansa giren FR4 dielektrik alttaşına sahip bir SVCA anteni tasarlamışlardır. Çalışma sonucunda 25 GHz ve 40 GHz arasında geniş bant genişliğine sahiptir. Yaklaşık -23dBi'lik kazanç elde edilmiştir. Kikan ve Kumar (2024) yaptığı çalışmada dielektrik malzemesi FR4 olan 2 portlu MIMO anten tasarlamışlardır. Tasarlanan antenin rezonans frekansı 38 GHz'dir ve 7.02GHz bant genişliğine sahiptir. Dardeer vd. (2023) yaptığı çalışmada 28GHz ve 38GHz merkez frekanslarında çalışan mikroşerit anten önermişlerdir. Önerilen antenin alttaşı Rogger 4350B'dir. Bu başlık altında 38 GHz'de tasarlanan antenin performans değerleri incelendi. Önerilen antenin verimliliği %93'dür. 38GHz'de 5dB kazanç elde edilmiştir. Bant genişliği 2,88 GHz'dir. S11 performans değeri ise -26 dB elde edilmiştir. İbrahim vd. (2023) yaptığı çalışmada dairesel şekilli üzerinde yarıklar bulunan yama MIMO anten tasarlamışlardır. Tasarlanan antenin dielektrik alttaşı 4003C'dir. Antenin çalışma performansı incelendiğinde kazanç ve verimlilik sırası ile 8.2-10 dBi ve 82%'dir. S11 performansı -24.4dB'dir. Bant genişliği 3 GHz'dir.

3. KURUMSAL TEMELLER

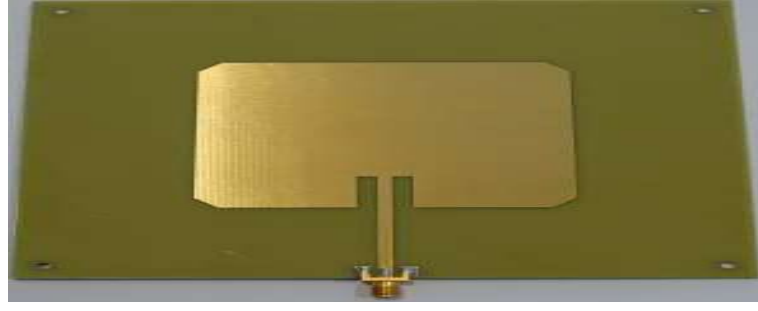
Antenler genel olarak bakıldığında bir verici ve alıcı sistem arasında iletişim sağlamak için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemlerde iletişim radyo dalgaları iletilerek elektromanyetik enerjinin iletimini yapmış bulunmaktadır (Balanis, 2013). Bu elektromanyetik dalgalar iletilirken veya alırken elektrik enerjisini elektromanyetik enerjiye yahut tam tersini yapan transdüserdir. Tx ve Rx modlarında çalışabilirler. Bu bölümde çeşitli amaçlar için kullanılan anten türlerinden bahsedilecektir.

3.1. Mikroşerit yama antenler

Mikroşerit anten kavramı 1953 yılında Deschamps tarafından öne sürülmesine rağmen bu konseptle ilişkin ilk patent ise 1955 yılında Gutton ve Baissinot tarafından alınmıştır. O tarihlerde uygun devre kartları geliştirilemediği için 1970'lerde Robert E. Munson çalışmalarından sonra uygulanabilir hale gelmiştir (Mishra, 2016). Mikroşerit anten yapısı, genellikle bir taban malzemesi üzerine yerleştirilmiş bir mikroşerit iletim hattını, yama anteni ve bağlantı noktalarını içerir. Mikroşerit hattı genellikle yalıtkan bir malzeme üzerinde bulunur ve genellikle metal bir tabaka kullanılarak oluşturulur. Tarihte ilk pratik anten Howell ve Munson tarafından geliştirilmiştir (Mishra, 2016). Mikroşerit antenlerde alıcı anten ve verici anten arasında iletişiminin kalitesini yama antenin geometrisine ve dielektrik alttaşın özelliklerine bağlıdır.

Mikroşerit antenler kullanım kolaylığı ve maliyet uygunluğu gibi sebeplerden dolayı aşağıda belirtilen kullanım yerlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Mikroşerit yama antenin görüntüsü Şekil. 3.1'de verilmiştir.

- Uydu haberleşme doğrudan yayın hizmeti.
- Mobil iletişim sistemleri.
- Doppler ve diğer radarlar.
- Füze ve telemetri.
- Uzaktan algılama ve çevresel ölçüm cihazları.
- Uydu navigasyon alıcıları.
- Radyo altimetre.
- Kişisel kablosuz iletişim sistemleri ve hizmetleri (Mishra, 2016).



Şekil 3.1. Mikroşerit yama antenler.

3.2. Temel Anten Parametreleri

Mikroşerit antenlerin istenen performans kriterlerini karşılayıp karşılamadığını değerlendirebilmek için çeşitli parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir.

3.2.1. Işıma örüntüsü

Antenin uzayda yaydığı gücü veya aldığı gücün radyasyon özelliklerini gösteren grafiklerdir. Genellikle 3 boyutlu grafikler ile antenin performansını ölçeriz. Grafikselsel gösterimden ayrıca matematiksel olarak da gösterilebilir. Logaritmik ölçekte veya desibel (dB) olarak gösterilebilir. Antenin ışıma özelliklerine bakılarak güç akı yoğunluğunu, ışıma şiddetini, alan genişliğini, yönlülüğünü, fazını ve kutuplanma değeri incelenip, antenin performansı hakkında bilgi sahibi olunur.

- E düzlemi (Elektrik alan düzlemi): Antenin elektrik alanının yönünü gösterir.
- H düzlemi (Manyetik alan düzlemi): Antenin manyetik alan yönüne dik düzlemdir.

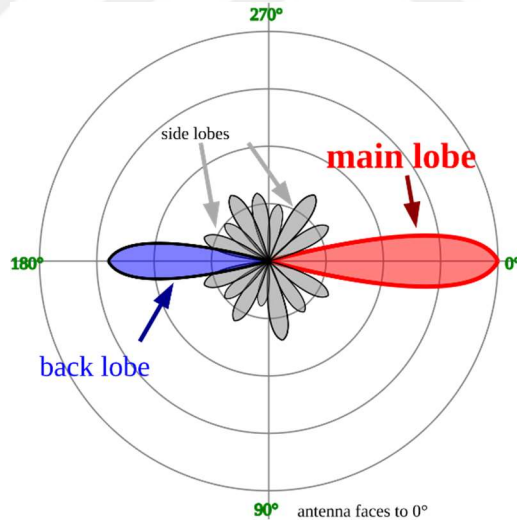
Ana lob, antenin elektromanyetik enerjiyi en yüksek düzeyde yaydığı yönü ifade eder. Bu yön, antenin ışıma örüntüsü içerisinde en büyük kazançla sahip olan bölge olarak tanımlanır. Enerjinin büyük bir kısmı bu lob doğrultusunda yoğunlaştığı için, özellikle yönlü antenlerin analizinde kritik bir parametre olarak değerlendirilir. Ana lobun konumu genellikle 0° doğrultusunda yer alır ve bu bölgedeki yayılım, antenin hedeflenen alanlara sinyal iletiminde verimli çalışmasını sağlar. Antenin yönlü (directional) ya da yönsüz (omnidirectional) karakteristiği, ana lobun şekli, genişliği (yarı güç genişlik açısı - HPBW) ve yönelimi gibi özellikler üzerinden belirlenebilir. Ana lobun dar ve belirgin olması, antenin belirli bir yöne daha yüksek kazançla sinyal

iletmesini veya aldığını gösterir. Işıma örüntüsü yan lob, ana lobun dışında kalan, fakat yine de enerji yayılan diğer yönlerdeki küçük tepe noktalarına yan demetler (side lobes) denir. Yan loblar, ideal olarak istenmeyen enerji yayılımlarıdır ve özellikle yönlü antenlerde dikkatle kontrol edilmesi gereken bir parametredir.

Yan lobların başlıca özellikleri:

- Genellikle ana lobların çok daha düşük genlikte olur.
- Sistemin yönlülüğünü ve etkinliğini azaltabilir.
- Radar, haberleşme ve yayın sistemlerinde parazit ve girişimlere neden olabilir.
- Yan lob seviyesinin yüksek olması, enerji kaybı ve yanlış yönlü algılama anlamına gelir.

Yan lobların bastırılması, anten tasarımında önemli bir optimizasyon kriteridir. Bunu sağlamak için anten elemanlarının dizilişi, genlik dağılımı ve faz ayarlamaları gibi yöntemler kullanılır. Mikroşerit antenlerin ışıma örüntüsünün görünümü Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Antenlerin ışıma örüntüsü.

Alan bölgeleri; Antende alan bölgeleri, antenin çevresindeki elektromanyetik alanın uzaklığa bağlı olarak farklı fiziksel özellikler gösterdiği bölgeleri ifade eder. Bu bölgeler, antenin yaydığı dalgaların nasıl davrandığını anlamak ve anten performansını analiz etmek açısından son derece önemlidir.

Anten çevresinde genel olarak üç ana alan bölgesi tanımlanır:

- Reaktif yakın alan bölgesi; antene çok yakın olan bölgedir. Elektromanyetik alanlar burada kararsız ve dengesiz bir yapıdadır; enerji esas olarak manyetik ve elektrik alanlar arasında sürekli etkileşim halindedir. Bu bölgede yayılan enerji çevredeki nesnelerle kuvvetli şekilde etkileşir, bu nedenle antenin etrafındaki objeler ışıma özelliklerini etkileyebilir.
- Işıyan yakın alan bölgesi; reaktif etkilerin zayıfladığı, fakat alanların hâlâ tamamen düzlemsel hale gelmediği bölgedir. Bu bölgede ışıma meydana gelir, fakat alanlar hâlâ karmaşık ve yön bağımlıdır. Antenin yönlü özellikleri bu bölgede tam olarak tanımlanamaz.
- Uzak alan bölgesi; antenin asıl ışıma örüntüsünün gözlemlendiği bölgedir. Elektromanyetik dalgalar burada düzlemsel kabul edilir ve alanlar sinüs dalgası formundadır. Elektrik ve manyetik alanlar birbirine dik, aynı zamanda dalga yayılma yönüne diktir. Bu bölgede antenin yönlülüğü, kazancı, yan lobları gibi tüm ışıma parametreleri güvenilir biçimde ölçülebilir.

3.2.2. Işıma güç yoğunluğu

Antenden yayılan elektromanyetik enerjinin belirli bir yönde veya belirli bir alanda içerisinde yaydığı gücün yoğunluğunu ifade eder. Gücün yoğunluğunu da anlık Poynting vektörüdür, eşitlik (3.1).

$$\mathbf{W} = \mathcal{E} \times \mathcal{H} \quad (3.1)$$

Eşitlik (3.1)'de “W” harfi anlık Poynting vektörünü (W/m^2), “ $\mathcal{E}$ ” anlık elektrik alan şiddetini (V/m), “ $\mathcal{H}$ ” ise anlık manyetik alan şiddetini (A/m) sembolize eder.

Poynting vektörünün bir güç yoğunluğu olduğu için kapalı bir yüzeyden geçen toplam güç bulunabilir, eşitlik (3.2).

$$\mathcal{P} = \oint_S \mathbf{W} \cdot d\mathbf{s} = \oint_S \mathbf{W} \cdot \hat{\mathbf{n}} da \quad (3.2)$$

Burada, “ $\mathcal{P}$ ” anlık toplam gücü(W), “ $\hat{\mathbf{n}}$ ” yüzeye dik birim vektörü, “da” ise kapalı yüzeyin sonsuz küçük alanı (m^2) sembolize eder.

3.2.3. Işıma şiddeti

“Birim katı açısı başına bir antenden ışıyan güç” ışıma şiddeti olarak tanımlanabilir. Işıma şiddeti, mesafe karesiyle çarpılan ışıma yoğunluğundan türetilen bir uzak alan parametresidir. Matematiksel formülü eşitlik (3.3)’te sunulmuştur.

$$U = r^2 \cdot W_{rad} \quad (3.3)$$

Burada; “U” ışıma şiddetini (W/birim katı açısı) sembolize ederken “W_{rad}” ışıma güç yoğunluğunu (W/m²) ifade eder.

Yönsüz bir kaynağın ışıma şiddeti bulunmak isteniyor ise eşitlik (3.4)’de verilen matematiksel formül ile bulunur.

$$U = \frac{P_{rad}}{4\pi} \quad (3.4)$$

3.2.4. Hüzme genişliği

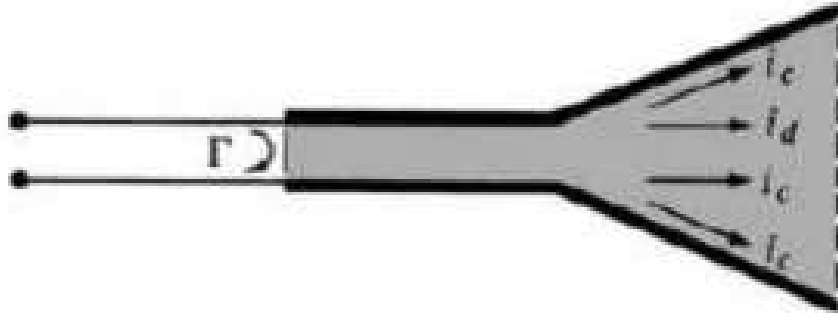
Bir antende hüzme genişliği antenin örüntüsüne bakıldığında özdeş iki maksimum nokta arasındaki açısal genişlik olarak tanımlanır. Hüzme genişliği çeşitleri arasında en çok kullanılanı Yarı Güç Hüzme Genişliği (HPBW) dir. HPBW tanımı ise anten hüzmesinin en yüksek olduğu düzlemde, ışıma şiddetinin yarıya düştüğü iki yön arasındaki açıdır.

3.2.5. Yönlülük

Yönlülük terimi antenin bir yönde yaptığı ışıma şiddetinin tüm yönler üzerindeki ortalama ışıma şiddetine oranı olarak tanımlanmıştır. Bu da aynı zamanda antenin radyasyon deseninin belirli bir yönde yoğunluğunu ifade eder.

3.2.6. Anten verimliliği

Anten yapısı ile giriş terminalleri arasında bazı kayıplar meydana gelir. Bu kayıplardan dolayı anten performansında azalma görülür. Performansın bu yönde değişimine de anten verimliliği denir. Anten kayıpları görüntüsü Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Yansıma, iletim ve dielektrik kayıpları.

Genel olarak anten verimliliğini etkileyen kayıplar; anten ve iletim hattı uyumsuzluklarından kaynaklanan yansımalar ve $I^2 R$ kayıpları olabilir. Anten giriş ve çıkış terminalleri arasındaki toplam anten verimliliği e_0 ile gösterilir, eşitlik (3.5).

$$e_0 = e_r \times e_c \times e_d \quad (3.5)$$

e_0 = toplam anten verimliliği, e_r = yansıma verimliliği, e_c = iletim verimliliğini ve e_d = dielektrik verimliliğini temsil eder.

3.2.7. Kazanç

Anten kazancı antenin performansını belirlemede incelenen bir diğer kriterdir. Anten yönlülüğü ile anten verimliliği bir ilişki içerisinde incelenir. Anten kazancı genellikle desibel (dB) cinsinden ifade edilir ve yüksek kazanç, sinyalin belirli bir yönde daha yoğun iletilmesini sağlar.

Kazancın matematiksel ifadesi eşitlik (3.6)'da verilmiştir.

$$\text{Anten Kazancı (G)} = 4\pi \frac{\text{Işıma Şiddet}}{\text{Toplam Giriş Gücü}} \quad (3.6)$$

$$= 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{in}} \quad (3.7)$$

3.2.8. Hüzme verimliliği

Alıcı ve verici antenlerin kalitesini belirlemek ve performansını gözlemlemek için kullanılan diğer bir parametredir. Antenin hüzme verimliliği BE ile gösterilir, eşitlik (3.8).

$$BE = \frac{\text{koni açısı } \theta_1 \text{ içinden iletilen (alınan) güç}}{\text{anten tarafından iletilen (alınan) güç}} \text{ (boyutsuz)} \quad (3.8)$$

3.2.9. Bant genişliği

Bant genişliği antenin tanımlanmış standartta uyduğu frekans aralığıdır. Antenlerde bant genişliği, antenin verimli bir şekilde sinyal iletebildiği veya alabileceği frekans aralığını ifade eder. Diğer bir deyişle, antenin tasarlandığı performans sınırları içinde sinyal alışverişi yapabileceği frekans spektrumunu kapsar. Bant genişliği, antenin merkez frekansı etrafında kabul edilebilir bir geri dönüş kaybı (return loss) veya VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) değerine sahip olduğu frekans aralığı olarak tanımlanır ve Hertz (Hz) cinsinden ölçülür.

Bant genişliği, antenin kullanım amacına ve tasarımına göre değişiklik gösterebilir. Dar bantlı antenler, belirli bir frekansta yüksek verim sağlarken, geniş bantlı antenler daha geniş bir frekans aralığında çalışır ancak genellikle verimlilikleri belirli bir frekansta odaklanmış antenlere kıyasla daha düşük olabilir. Örneğin, iletişim ve yayıncılık alanlarında kullanılan geniş bantlı antenler, farklı sinyal tiplerini ve frekansları destekleyebilir. Dar bantlı antenler ise radar ve uydu iletişim sistemleri gibi uygulamalarda kullanılır. Anten bant genişliği, veri iletim kapasitesini ve hızı doğrudan etkiler. Geniş bant genişliği, yüksek veri iletim hızlarına olanak tanıyarak daha fazla bilgi taşıma kapasitesi sunar.

–3 dB noktası, sistemin maksimum çıkış gücünün %50'sine düştüğü frekansları tanımlar. Bu değer, logaritmik dB ölçeğinde yaklaşık 3 dB'lik bir azalmaya karşılık gelir ve sistemin hala kabul edilebilir performansla çalıştığı sınır noktalarını belirlemek için kullanılır. Bu doğrultuda, –3 dB bant genişliği, maksimum kazancın veya çıkış gücünün 3 dB altına düştüğü iki frekans değeri arasındaki fark olarak tanımlanır. Bu bölge, antenin ya da devrenin yeterli düzeyde performans gösterdiği etkin çalışma aralığını temsil eder.

3.2.10. Kutuplama

Belirli bir yönde antenden yayılan dalgaların yoğunlaşmasına kutuplanma denir. Yön belirtilmediği durumlarda kutuplanma maksimum kazanç yönündeki kutuplanma olarak ele alınır.

3.2.11. Giriş empedansı

Antenlerde giriş empedansı, antenin besleme noktasında görülen toplam empedansı ifade eder ve genellikle bir antenin verimliliğini, uyumunu ve performansını belirleyen kritik bir parametre olarak ele alınır. Giriş empedansı, antenin iletim hattından alacağı sinyalin bir kısmını ne ölçüde iletebileceğini veya geri yansıtılabileceğini belirler ve çoğunlukla kompleks (karmaşık) bir sayı olarak tanımlanır, eşitlik (3.9).

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (3.9)$$

Antenlerin giriş empedansı, tasarım ve çalışma frekansına bağlı olarak değişiklik gösterir. Anten, besleme hattı ile uyumlu bir empedansa sahipse, bu durumda maksimum güç transferi gerçekleşir ve yansıma en aza indirilir. Genellikle 50 ohm olarak tasarlanan besleme hatlarıyla uyumlu bir empedansa sahip antenler, daha verimli bir şekilde enerji iletir ve kayıpları azaltır. Ancak, antenin frekans spektrumu boyunca giriş empedansı değişebileceğinden, belirli bir frekansta uyumu sağlamak için empedans eşleştirici devreler kullanılabilir.

Giriş empedansı, antenin temel performans parametrelerinden olan geri dönüş kaybı (return loss) ve gerilim dalga oranı (VSWR) üzerinde doğrudan etkili olur. Yüksek geri dönüş kaybı ve düşük VSWR değerleri, anten ve iletim hattı arasında daha iyi bir empedans uyumunu ifade eder, bu da daha düşük güç yansıması ve daha yüksek verimlilik sağlar. Bu nedenle, giriş empedansı parametresi anten tasarımında, özellikle telekomünikasyon, radar, uydu ve yüksek hızlı veri iletimi gibi uygulamalarda önemle dikkate alınır.

3.2.12. Anten ışıma verimi

Antenin ışıma verimi, antenin aldığı toplam gücün ne kadarını elektromanyetik dalga olarak ışıma yoluyla çevreye yaydığını gösteren bir performans ölçüsüdür. Bu verimlilik, bir antenin enerji kayıpları dikkate alınarak hesaplanan toplam çıkış gücü ile ilişkili olup, anten tasarımında enerji verimliliğinin değerlendirilmesi açısından kritik bir parametre olarak ele alınır. Antenin ışıma verimi, genellikle yüzde olarak ifade edilir ve eşitlik (3.10) ile tanımlanır.

$$e_{cd} = \left[\frac{R_r}{R_L + R_r} \right] \text{ (boyutsuz)} \quad (3.10)$$

Bu formülde görüldüğü üzere ışıma verimi, toplam giriş gücünün ne kadarının efektif olarak yayıldığını ifade eder. Geriye kalan güç kayıpları, çoğunlukla direnç kayıpları, yalıtkan kayıpları ve yüzey akım kayıpları gibi içsel anten kayıpları nedeniyle ortaya çıkar. Bu kayıpların yüksek olduğu durumlarda, antenin ışıma verimi düşer, bu da antenin enerji verimliliğini olumsuz etkiler.

Işıma verimi, özellikle yüksek frekanslı uygulamalarda büyük önem taşır çünkü antenlerin enerji iletimi, kayıplar nedeniyle verimlilik kaybına daha hassas hale gelir. Bu nedenle, düşük kayıplı malzemelerin ve optimum tasarım tekniklerinin kullanılması, antenin ışıma verimini artırmak için önemlidir. Anten ışıma veriminin yüksek olması, iletim veya alıcı sistemlerde daha az enerji kaybı anlamına gelir, böylece antenin çalışma mesafesi ve sinyal gücü artar. Bu durum, özellikle uydu haberleşme, radar sistemleri ve yüksek frekanslı kablosuz iletişim sistemleri gibi uygulamalarda, verimli sinyal iletimi sağlamak amacıyla öncelikli olarak değerlendirilir.

3.2.13. Yansıma katsayısı

Mikroşerit antenlerin performans analizinde en kritik parametrelerden biri yansıma katsayısıdır ve bu parametre genellikle S_{11} sembolü ile ifade edilir. S_{11} , bir antenin giriş portundan iletilen elektromanyetik enerjinin ne kadarının aynı porttan geri döndüğünü, yani yansıdığını gösterir. Başka bir deyişle, S_{11} değeri antenin giriş empedansı ile besleme hattının karakteristik empedansı arasındaki uyumun bir ölçüsüdür. Bu parametre, hem empedans eşleşmesinin değerlendirilmesinde hem de antenin rezonans frekansının ve bant genişliğinin belirlenmesinde temel rol oynar.

Yansıma katsayısı, eşitlik (3.11) ile tanımlanır.

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (3.11)$$

Burada Z_{in} antenin giriş empedansı, Z_0 ise iletim hattının karakteristik empedansıdır (çoğu zaman 50Ω olarak alınır). Bu ifadenin mutlak değeri alınıp 20 ile logaritması alındığında, desibel (dB) cinsinden yansıma katsayısı elde edilir, eşitlik (3.12).

$$S_{11}(dB) = 20\log_{10}|\Gamma| \quad (3.12)$$

S_{11} değeri ne kadar düşükse, anten o kadar verimli çalışmakta ve iletilen enerjinin büyük bir kısmı serbest uzaya radyasyon olarak aktarılmaktadır. Eğer S_{11} değeri -10 dB'den düşükse, yansıyan güç %10'dan azdır ve bu değer çoğu uygulamada kabul edilebilir bir eşleşme olarak değerlendirilir. Yani, bu frekanslarda antenin iyi çalıştığı kabul edilir. S_{11} değeri -15 dB veya daha düşük olduğunda ise empedans uyumu çok iyi kabul edilir. Öte yandan, S_{11} 'nin -10 dB'in üzerinde olduğu durumlarda ise antenin çalıştığı frekans aralığı dışında kaldığı ve empedans uyumsuzluğu nedeniyle enerji kaybının arttığı anlaşılr (Balanis, 2016).

3.2.14. Dielektrik sabiti

Mikroşerit anten tasarımlarında kullanılan en önemli malzeme parametrelerinden biri, görelî dielektrik sabiti ya da yaygın kısaltmasıyla ϵ_r 'dir. Bu büyüklük, bir malzemenin elektrik alan altındaki kutuplanma kapasitesini ifade eder ve elektromanyetik dalgaların bu malzeme içinde nasıl yayılacağını belirler. Matematiksel olarak ϵ_r dielektrik malzemenin mutlak elektriksel geçirgenliğinin boşluğun geçirgenliğine oranı ile tanımlanır, eşitlik (3.13).

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (3.13)$$

Burada ϵ , malzemenin elektriksel geçirgenliği; ϵ_0 ise boşluğun geçirgenliğidir (yaklaşık 8.85×10^{-12} F/m) (Balanis,2016).

ϵ_r değeri, antenin elektromanyetik özelliklerini doğrudan etkiler. ϵ_r yüksek olduğunda, dalga yayılma hızı düşer; bu da daha kısa etkili dalga boyu ve dolayısıyla daha küçük anten boyutları anlamına gelir. Bu özellik, yer tasarrufu sağladığı için özellikle kompakt sistemlerde avantajlıdır (Pozar, 2012). Ancak, yüksek ϵ_r aynı zamanda elektromanyetik enerjinin yapının içinde daha fazla tutulmasına neden olabilir. Bu durum, antenin serbest uzaya yaydığı gücü azaltır ve radyasyon verimini düşürebilir (Garg vd., 2001). ϵ_r değeri ayrıca antenin rezonans frekansını, bant genişliğini ve empedans uyumunu da etkiler. Düşük ϵ_r değerleri, daha geniş bant genişliği ve daha yüksek verim sunarken; yüksek ϵ_r değerleri, anteni miniaturize etme imkânı sağlar (Balanis, 2016).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Çalışma Frekans Seçimi

5. nesil mobil haberleşme sistemleri (5G), önceki nesil sistemlerden farklı olarak daha geniş bir frekans spektrumunu kapsamakta ve farklı uygulama senaryolarına göre düşük, orta ve yüksek bantları birlikte kullanmaktadır. Bu yaklaşım hem yüksek veri hızı hem düşük gecikme süresi hem de geniş kapsama alanı hedeflerini aynı anda gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır (Cengiz, 2020). Bu çalışmada, mikroşerit anten tasarımları için seçilen 5.7 GHz, 7.1 GHz, 28 GHz ve 38 GHz frekansları, bu iki temel bant yapısını temsil edecek şekilde seçilmiştir.

- Orta Bant (5.7 GHz ve 7.1 GHz)

5G sistemlerinde 1 GHz ile 7 GHz aralığındaki frekanslar orta bant olarak tanımlanır. Bu bantlar, geniş kapsama alanı ile yüksek veri hızını birleştirerek dengeli bir haberleşme performansı sunar (Rappaport vd., 2017). 5.7 GHz, hem lisanslı hem de lisanssız kullanım alanlarında yer bulmuş olup, özellikle Wi-Fi 6E gibi teknolojilerle de örtüşmektedir. Bu nedenle, 5G ile Wi-Fi sistemlerinin entegrasyonu için önemli bir frekanstır. Ayrıca, 3GPP'nin belirlediği n46 bandında yer almakta olup, bazı bölgelerde mobil şebeke operatörleri tarafından kullanılmaktadır (3GPP, 2020). 7.1 GHz ise henüz tüm dünyada yaygın şekilde kullanılmasa da, gelecekteki 5G genişlemeleri için potansiyel bir orta bant frekansı olarak değerlendirilmektedir. Bu frekans aralığı, yüksek veri kapasitesi ve uygun menzile ile özellikle şehir içi makro hücre sistemleri için uygundur (ITU, 2019). Orta bantlar, 5G ağlarında yüksek kullanıcı yoğunluğu olan bölgelerde omurga haberleşmesini sağlama amacıyla tercih edilir. Anten boyutları makul düzeydedir, sinyal yayılımı ise yüksek frekanslara göre daha az zayıflamaya uğrar. Bu sayede daha az baz istasyonu ile daha geniş alanlar kapsanabilir (Cengiz, 2020).

- Yüksek Bant (28 GHz ve 38 GHz – mmWave)

28 GHz ve 38 GHz frekansları, 5G'nin milimetre dalga (mmWave) frekans aralığında yer almakta olup, ultra yüksek veri hızı gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir (Rappaport vd., 2017). Bu frekanslar genellikle saha kapasitesinin artırılması, çok yüksek bant genişliği ihtiyacı ve yüksek yoğunluklu alanlar için öne çıkar. 28 GHz bandı, 3GPP standardına göre n257, n258 ve n261 bandlarında yer almakta ve ABD,

Güney Kore ve Japonya gibi birçok ülkede ticari olarak 5G hizmetleri için kullanılmaktadır (3GPP, 2020). Bu bant, 1 Gbps üzerinde veri iletim kapasitesi sunarak, özellikle video akışı, artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) uygulamalarında tercih edilmektedir (ITU, 2019). 38 GHz bandı ise Avrupa ve Asya'daki bazı ülkelerde öncelikli olarak değerlendirilen bir diğer mmWave frekansıdır. Geniş bant genişliği sayesinde çok sayıda kullanıcıya aynı anda yüksek hızda hizmet sunulabilir. Bu yüksek frekanslar kısa dalga boylarına sahip olduğundan dolayı anten boyutları oldukça küçülmektedir. Bu da anten entegrasyonu açısından büyük avantaj sağlar. Ancak yayılım zayıflaması, atmosferik emilim ve engellerden geçiş zorlukları nedeniyle bu bantlar genellikle kapsama alanı küçük olan yoğun hücre yapılarında, yani small cell mimarilerinde kullanılır (Rappaport vd., 2017).

4.2. Altaşların Seçimi

Bu çalışmada, mikroşerit yama antenlerin performansını etkileyen temel unsurlardan biri olan dielektrik altaş (substrate) seçiminin ve anten geometrisinin, farklı çalışma frekanslarındaki (5.7 GHz, 7.1 GHz, 28 GHz ve 38 GHz) anten performans parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tasarım sürecinde dört farklı dielektrik altaş malzemesi tercih edilmiştir: FR4, Rogger 5880, Rogger RO4350B ve Rogger 4003C. Bu altaşlar, günümüzde hem düşük hem de yüksek frekans uygulamalarında yaygın olarak kullanılan, farklı dielektrik sabiti (ϵ_r), kayıp tanjantı ($\tan \delta$), ısı genleşme katsayısı (CTE) ve üretim maliyeti özelliklerine sahip ticari malzemelerdir. FR4, düşük maliyetli olması nedeniyle tercih edilen bir altaştır; ancak yüksek frekanslarda (özellikle 28 GHz ve üstü) dielektrik kayıplar nedeniyle performans düşüşü yaşanabilmektedir. Buna karşın, Rogger 5880 düşük dielektrik sabiti ($\epsilon_r \approx 2.2$) ve çok düşük kayıp tanjantı ile yüksek frekanslı RF uygulamalarında oldukça başarılı performans sunmaktadır. Rogger 4350B ve Rogger 4003C ise üretim kolaylığı, frekans kararlılığı ve düşük kayıpları sayesinde orta-yüksek frekans uygulamaları için uygun seçeneklerdir. Ayrıca, her altaş için kare, daire ve eşkenar üçgen olmak üzere üç farklı mikroşerit anten geometrisi tasarlanmıştır. Bu üç geometri, antenin rezonans frekansı, geri dönüş kaybı (S11), kazanç ve bant genişliği gibi temel performans parametrelerini etkileyen önemli tasarım unsurlarıdır. Kare yama antenler, genellikle basit analiz ve üretim avantajı sunarken, daire antenler daha geniş bant genişliği ve

daha iyi dairesel polarizasyon imkânı sağlayabilir. Üçgen antenler ise kompakt yapıları sayesinde küçük boyutlu cihazlar için tercih edilebilmektedir.

- Alttaşların özellikleri

Rogger 5880 yüksek frekans laminatları, PTFE (politetrafloroetilen) ile güçlendirilmiş cam mikrofiberlerden üretilmiştir. Bu mikro yapılar, devre tasarımında fiber kazancını en iyi şekilde kullanmak için belirli bir yönlendirmeye sahiptir. Rogger 5880 laminatlarının sahip olduğu düşük dielektrik sabiti ve düşük dielektrik kaybı, yüksek frekans ve geniş bant uygulamaları için ideal bir tercih sunar. Düşük su emme kapasitesiyle, özellikle yüksek nemli ortamlarda güvenilir performans sağlar (Swaminathan vd., 2019). Her yönde aynı elektriksel özelliklere sahiptir, bu da performansın tutarlılığını sağlar. Farklı frekanslarda sabit elektriksel özellik gösterir, bu da kararlılığı artırır. Çözücüler ve reaktifler gibi kimyasallara karşı dayanıklılığı sayesinde uzun ömürlü kullanım sağlar (Swaminathan vd., 2019). Bu özellikleriyle Rogger 5880, mikroşerit anten gibi yüksek frekans ve geniş bant gerektiren devrelerde tercih edilmektedir. FR4, İngilizce "Flame Retardant 4" ifadesinin bir kısaltmasıdır ve bu, malzemenin alev geciktirici ve yanmaya karşı dayanıklı olacak şekilde üretildiği anlamına gelir. FR4 sınıfı, yüksek dayanıklılık ve güvenlik standartlarını karşılayarak, yangına dayanıklılık açısından en yüksek seviyelerden birini ifade eder (Kızılbey, 2022). FR4 malzemesi, Ulusal elektrik üreticileri derneği endüstriyel termoset ürünleri (NEMA LI 1-1998) gereksinimlerini karşılayan bir malzeme sınıfıdır (Ege vd. 2021). FR4 malzemesi cam yükü ve epoksi reçine içerdiği için devre kartlarında taban malzeme olarak sıklıkla tercih edilmektedir (Kızılbey, 2022). FR4 malzemenin bağıl dielektrik sabiti frekansa göre değişiklik göstermekle birlikte, genellikle 4.4 olarak kabul edilir. Bu malzemenin kayıp çarpanı ise yaklaşık 0.02'dir ve bu değer frekans arttıkça yükselme eğilimindedir (Kızılbey, 2022). Çok sayıda rekabetçi firma tarafından üretimi yapıldığı için malzeme fiyatı daha uygundur (Ege vd. 2021). FR4 malzemesinin özellikleri; Aleve dayanıklıdır, suya karşı dayanıklıdır, yalıtkanlığı yüksektir, maliyeti uygundur, kırılmaya ve çatlamaya karşı dirençlidir (Ege vd. 2021). Mikroşerit anten tasarımında RO4350B tipi Rogger alt tabakası, yüksek frekanslı uygulamalarda sağladığı üstün elektriksel özellikler nedeniyle tercih edilmektedir. Bu malzemenin dielektrik sabiti yaklaşık $\epsilon_r \approx 3.48$ olup, frekansla değişimi oldukça düşüktür (Pozar, 2012). Aynı zamanda dielektrik kayıp faktörünün düşük ($\tan\delta \approx 0.0037 @ 10 \text{ GHz}$) olması, iletim hattı kayıplarını azaltarak antenin toplam

verimliliğini artırmaktadır (Pozar, 2012; Rogers Corporation, 2020). Termal kararlılığı yüksek olan bu malzeme, cam geçiş sıcaklığı ($T_g > 280^\circ\text{C}$) sayesinde üretim sürecindeki ısıl deformasyonlara karşı dayanıklıdır (Rogers Corporation, 2020). Ayrıca, geleneksel FR4 malzemesine kıyasla RO4350B, mikrodalga ve RF uygulamalarında daha düşük kayıp ve daha iyi empedans kararlılığı sunmaktadır (Liu vd., 2018). Bu özellikler, özellikle yüksek frekansta çalışan ve hassas empedans gerektiren mikroşerit antenler için RO4350B'yi ideal bir alt tabaka hâline getirmektedir (Liu vd., 2018; Pozar, 2012). Mikroşerit anten tasarımlarında sıkça tercih edilen bir diğer Rogger alt tabakası ise RO4003C'dir. Bu malzeme, yaklaşık $\epsilon_r \approx 3.55$ olan sabit bir dielektrik katsayısına sahiptir ve frekansla değişimi oldukça düşüktür (Pozar, 2012). RO4003C, düşük kayıp tangentine ($\tan\delta \approx 0.0027$) sahip olduğu için, yüksek frekanslı RF uygulamalarında daha az iletim kaybı sağlar (Rogers Corporation, 2020). Ayrıca üretim sürecinde geleneksel FR4 malzemesiyle benzer işlenebilirlik sunarak, hem maliyet hem de üretim kolaylığı açısından avantaj sağlar. Mekanik dayanımı iyi, termal kararlılığı ise oldukça yüksektir ($T_g > 280^\circ\text{C}$), bu da onu yüksek sıcaklık altında bile boyutsal olarak stabil hâle getirir (Rogers Corporation, 2020). Tüm bu özellikleri sayesinde RO4003C, performans ve üretilebilirlik arasında dengeli bir yapı sunarak mikroşerit anten uygulamaları için uygun bir malzeme hâline gelmiştir (Pozar, 2012). Aktaş özelliklerinin karşılaştırılması Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Altaşların özelliklerinin karşılaştırılması.

Özellik	FR4	Rogger 5880	Rogger 4350B	Rogger 4003C
Dielektrik Sabiti (ϵ_r)	4.3 – 4.8 (typ. 4.4)	2.2	3.48	3.38
Tanjant Delta ($\tan \delta$)	~ 0.02	0.0009 (@10 GHz)	0.0037 (@10 GHz)	0.0027 (@10 GHz)
Cam Geçiş Sıcaklığı (T_g)	130–140 °C	>200 °C	>280 °C	>280 °C
Isıl İletkenlik	$\sim 0.3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	$0.20 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	$0.62 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	$0.50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
CTE (X/Y)	$\sim 14\text{--}17 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$	$\sim 18 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$	$\sim 11\text{--}13 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$	$\sim 17 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$
CTE (Z)	$\sim 70\text{--}80 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$	$\sim 24 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$	$\sim 32 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$	$\sim 46 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$
Yoğunluk (g/cm^3)	~ 1.85	2.1	1.9	1.79
UL Alev Geciktirme	UL94 V-0	UL94 V-0	UL94 V-0	UL94 V-0
Frekans Aralığı	<1 GHz önerilir	1–40+ GHz	1–40 GHz	1–20 GHz
Fiyat / Maliyet	Düşük	Yüksek	Orta – Yüksek	Orta

4.3. Geometrik Şekillerin Seçimi

Mikroşerit antenlerin tasarımında kullanılan geometrik şekiller, antenin bant genişliği, kazancı, yönlülüğü ve frekans tepkisi gibi performans parametrelerini doğrudan

etkiler. Bu çalışmada, 5G haberleşme sistemlerinde kullanılmak üzere kare, daire ve üçgen şeklinde mikroşerit anten geometrileri tercih edilmiştir. Bu üç farklı şeklin seçilme gerekçesi hem elektromanyetik performans karşılaştırması yapma hem de farklı uygulama senaryolarına uygunluklarını analiz etme amacını taşımaktadır.

Kare şeklindeki mikroşerit antenler, en yaygın kullanılan yama anten tiplerinden biridir. Yapısal simetrisi sayesinde üretimi kolaydır ve matbaa devre teknolojisiyle kolayca entegre edilebilir. Kare antenler, rezonans frekanslarının öngörülebilirliği ve empedans uyumu açısından avantaj sağlar. Bu nedenle genellikle referans tasarım olarak tercih edilir (Balanis, 2013).

Daire şeklindeki mikroşerit antenler hem yapısal hem de elektriksel olarak simetrik bir yapıya sahiptir. Bu simetrik yapı sayesinde daha düzgün bir radyasyon deseni elde edilir. Ayrıca dairesel antenler, genellikle dairesel polarizasyon elde etmek isteyen uygulamalarda kullanılır. Dairesel polarizasyon, hareketli kullanıcılar için yön bağımsız kapsama sağladığı için mobil iletişim sistemlerinde avantaj sağlar (Pozer, 2012).

Üçgen şeklindeki mikroşerit antenler ise özellikle kompaktlaştırma ihtiyacının bulunduğu uygulamalarda tercih edilir. Üçgen yamalar, kare antenlere kıyasla daha küçük yüzey alanıyla benzer rezonans frekanslarında çalışabilir. Ayrıca bu şekiller, band genişliğini artırmak için çeşitli varyasyonlara (örneğin yuvaya açılmış üçgen, çokgen kenarlı üçgen) açık olması açısından tasarım esnekliği sunar. Üçgen antenler, yüksek frekanslı haberleşme sistemlerinde düşük profilli yapıları sayesinde öne çıkar (James ve Hall, 1989).

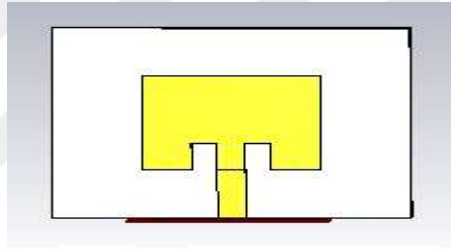
Bu çalışmada seçilen şekiller sayesinde, farklı anten geometrilerinin aynı dielektrik malzemelerle ve aynı frekanslarda nasıl performans gösterdiği karşılaştırmalı olarak incelenebilmiştir. Böylece uygulama ihtiyacına göre en uygun geometri tespit edilerek, 5G sistemleri için optimum anten tasarımı yapılması hedeflenmiştir.

4.4. Kullanılan Analiz Programı

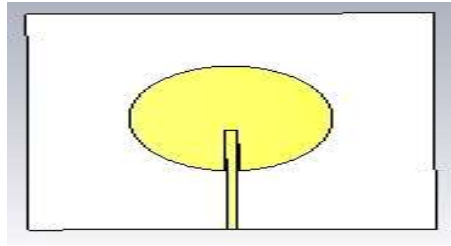
CST Studio Suite, 3D elektromanyetik simülasyonlarda kullanılan güçlü bir yazılım paketidir ve anten tasarımı gibi EM sistemleri analiz etmeyi mümkün kılar. Anten

tasarımında, özellikle 28 GHz ve 38 GHz gibi yüksek frekanslı 5G uygulamalarında, mikroşerit yama antenler tercih edilen çözümler arasındadır. Yama antenler, yüksek kazanç ve geniş bant genişliği sunarak modern iletişim sistemlerinde güvenilirlik sağlar. CST Studio Suite, antenin tasarımında kullanılan farklı parametreleri, örneğin yama boyutlarını, dielektrik malzemeleri ve besleme yapılarını simüle ederek optimize etme imkânı sunar. Bu yazılım, anten tasarımında hibrit simülasyon teknikleriyle doğruluğu artırır ve sanal prototipleme sürecini hızlandırır. Böylece mühendisler, anten performansını tasarım sürecinin erken aşamalarında test edebilir, elektromanyetik uyumluluğu doğrulayabilir ve optimizasyonlarla istenen rezonans frekansını elde edebilir.

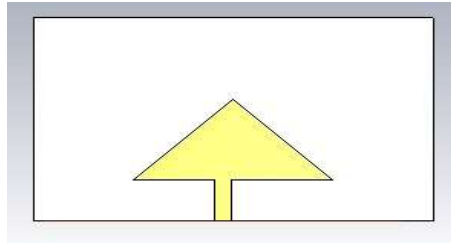
Kare, daire ve üçgen antenlerin CST programına ait tasarım şekilleri Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kare geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin ön görüntüsü.



Şekil 4.2. Daire geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin ön görüntüsü.



Şekil 4.3. Üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin ön ve görünüşü.

4.5. Anten Tasarımlarında Ölçüm Teknikleri

Mikroşerit antenlerin performans analizinde hem sayısal simülasyonlar hem de deneysel ölçümler birlikte değerlendirilmelidir. Deneysel ölçümlerde en sık kullanılan cihazlardan biri vektör ağ analizörüdür (VNA). Bu cihaz sayesinde antenin giriş empedansı, yansıma katsayısı (S11) ve çalışma frekansı aralığı gibi temel parametreler doğrulukla ölçülebilir. Antenin yönlü ışıma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ise ölçümler genellikle anekoit odalarda gerçekleştirilir; bu ortamda anten kazancı, ışıma deseni ve yarı güç ışın genişliği gibi veriler elde edilir. Simülasyon yazılımları (örneğin CST Studio Suite), antenin elektromanyetik davranışlarını ideal koşullar altında sayısal olarak analiz etmeyi sağlar. Ancak bu ortamlar; üretim toleransları, montaj hataları, malzeme sapmaları ve çevresel etkiler gibi gerçek dünya faktörlerini her zaman tam olarak yansıtamaz. Bu nedenle, tasarımın doğrulanabilmesi ve nihai performansın güvenilir bir şekilde değerlendirilebilmesi için, simülasyon sonuçları ile laboratuvar ölçümlerinin birlikte incelenmesi önerilir.

4.6. Anten Tasarımında Kullanılan Formüller

Anten genişliği, mikroşerit antenin genişliğini hesaplamak için aşağıda belirtilen formülde C ışık hızı, F_0 antenin rezonans frekansı, ϵ_r altaşın bağıl dielektrik sabitidir. Anten genişliği eşitlik (4.1) ile hesaplanır.

$$W_p = \frac{c}{2 \cdot F_0 \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (4.1)$$

Dielektrik altaş yüksekliği, mikroşerit anten yüksekliği altaş katmanına bağlıdır. Antenin altaş yüksekliği H_s olarak ifade edilir. H_s malzemesi tipik olarak $0,003\lambda_0 \leq SH \leq 0,05 \lambda_0$ aralığı. Burada, λ_0 serbest uzay dalga boyunu belirtir.

Altaş yüksekliği eşitlik (4.2) ile hesaplanır.

$$H_s = \frac{0.3 \cdot c}{2 \cdot \pi \cdot F_0 \cdot \sqrt{\epsilon_r}} \quad (4.2)$$

Yama uzunluğu, antenin genişliğini bulmak için efektif dielektrik sabiti, efektif yama uzunluğu ve saçılma uzunluğu bulunmalıdır. Efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} , efektif yama uzunluğu L_{eff} , saçılma uzunluğu ΔL ile ifade edilir.

Efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} 'nin formülü, eşitlik (4.3).

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r+1}{\epsilon_r-1} + \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r+1} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{1/2} \quad (4.3)$$

Saçılma uzunluğu ΔL formülü, eşitlik (4.4).

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff}+0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff}-0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (4.4)$$

Efektif yama uzunluğu L_{eff} formülü, eşitlik (4.5).

$$L_{eff} = \frac{c}{2 \cdot f_r \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (4.5)$$

Anten Uzunluğu L formülü, eşitlik (4.6),

$$L_p = L_{eff} - 2\Delta L \quad (4.6)$$

Antenin inset uzunluğu, yama antenin dış kenarında empedans genellikle oldukça yüksektir ve yaklaşık 300Ω civarındadır. Ancak, giriş noktası yamanın merkezine doğru taşındıkça, bu empedans hızlı bir şekilde azalır. Bu durum, anteni standart 50Ω 'luk besleme hattına uyumlu hale getirmek için özel bir tasarım gerektirir. Bu uyum, antenin merkezinden kenarına olan mesafeyi belirleyen giriş uzunluğu (Y_0) ile sağlanır. Y_0 , antenin empedansını besleme hattıyla eşleştirmek için kullanılan kritik bir parametredir ve belirli bir formülle hesaplanır. Bu yaklaşım, özellikle empedans uyumunun optimum performans için önemli olduğu uygulamalarda tercih edilir (Gemeda, 2021).

Antenin inset uzunluğu eşitlik (4.7) ile hesaplanır (Gemeda, 2021).

$$Y_0 = \left(\frac{L}{\pi} \right) \cos^{-1} \left(\frac{Z_0}{Z_L} \right) \quad (4.7)$$

Antenin inset konumunu belirleme, eşitlik (4.8) sadece dikdörtgen şeklindeki yama antenlerde kullanılır (Gemeda, 2021).

- Antenin Inset Konumunun X düzleminde noktasının belirlenmesi, eşitlik (4.8).

$$X_f = \frac{L_p}{2\sqrt{\epsilon_{rff}}} \quad (4.8)$$

- Antenin Inset Konumunun X düzleminde noktasının belirlenmesi, eşitlik (4.9).

$$Y_f = \frac{W_p}{2} \quad (4.9)$$

Ground düzlemi hesaplama, antenin toprak alanının boyutunu hesaplamak için kullanılan formül eşitlik (4.10)'da belirtilmiştir:

$$G_L = L_p + 6H_s \quad (4.10)$$

Besleme hattının uzunluğu, besleme hattının uzunluğu L_f ile gösterilir, eşitlik (4.11) (Gemeda, 2021).

$$L_f = \frac{\lambda_0}{4\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4.11)$$

Besleme hattının genişliği, besleme hattının uzunluğu W_f ile gösterilir. Formülü aşağıdaki gibidir (Gemeda, 2021).

$$W_f = \frac{5.98 \cdot s^{-\frac{1}{\exp\left(\frac{Z_{L_f}\sqrt{\epsilon_r}+1.41}{87}\right)}}}{0.8} \quad (4.12)$$

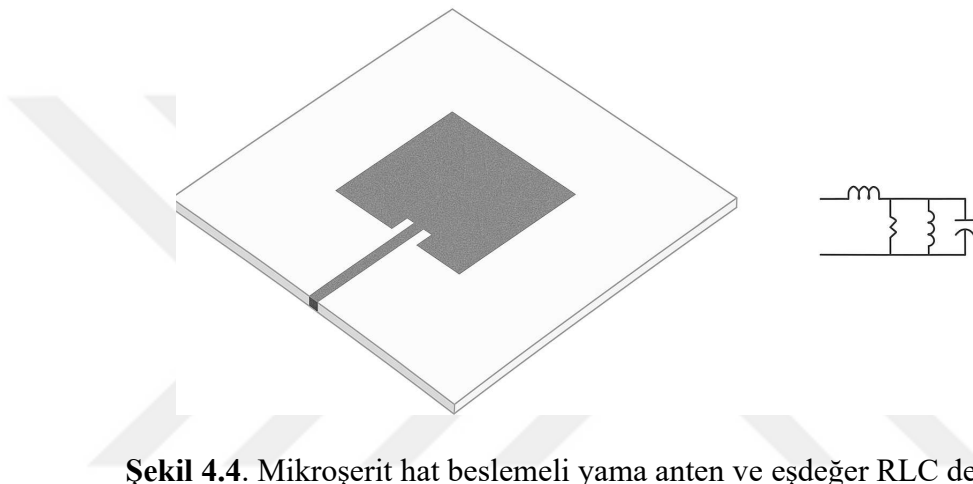
4.7. Yama Antenlere Ait Eşdeğer Devrelerin Hesaplanması

Temel RLC devresi hesaplaması; mikroşerit antenler, elektromanyetik olarak çalışan yapılar olmalarına rağmen, analiz ve tasarım süreçlerinde daha anlaşılır hale getirmek amacıyla bazı elektriksel eşdeğer modellerle temsil edilirler. Bu bağlamda en yaygın kullanılan modellerden biri RLC eşdeğer devresidir. Bu modelde, mikroşerit anten bir rezonans devresi gibi ele alınır ve davranışı bir direnç (R), bir endüktans (L) ve bir kapasitans (C) ile temsil edilir. Her bir eleman, antenin fiziksel yapısındaki belirli etkileri elektriksel olarak yansıtır:

- R (Direnç): Antenin radyasyon kayıplarını ve iletken/dielektrik kayıplarını temsil eder. Bu direnç, antenin çevreye enerji yaymasını yani radyasyon yapmasını sağlar.

- L (Endüktans): Antenin akıma karşı gösterdiği reaktansı (özellikle akımın manyetik alan oluşturduğu etkileri) ifade eder. Anten yapısının belirli boyutları ve akım yolları bu endüktansı etkiler.
- C (Kapasitans): Yüzeyler arasındaki yük birikimini, özellikle de antenin uçları arasında oluşan elektrik alanı temsil eder. Bu kapasite, rezonans frekansını belirlemede kritik rol oynar.

Bu RLC elemanları genellikle paralel veya seri bağlanmış şekilde modellenir. En yaygın yapı paralel RLC devresidir. RLC devresi Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Mikroşerit hat beslemeli yama anten ve eşdeğer RLC devresi.

Aşağıda, kare şekilli mikroşerit antenler için RLC eşdeğer devre parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan temel formüller verilmiştir eşitlik (4.13) – (4.15). Bu formüller, antenin rezonans davranışını elektriksel olarak modellemek amacıyla kullanılır. Frekansa bağlı olarak kare geometrili yama antenlerin RLC değerleri, kullanılan malzemeye bağlı olarak Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Kapasitans

$$C = \frac{\epsilon_0 WL}{h} \quad (4.13)$$

Endüktans

$$L = \frac{1}{(2\pi f_r)^2 C} \quad (4.14)$$

Direnç

$$R_{loss} = \frac{1}{2\pi f_r t a} + \frac{0.5}{\sigma \delta s P} \quad (4.15)$$

Çizelge 4.2. Kare geometrili yama antene ait RLC devresi değerleri.

Frekans (GHz)	Malzeme	ϵ_r	Yama Genişliği (mm)	Yama Uzunluğu (mm)	Kalınlık (mm)	R (Ω)	C (pF)	L (nH)
5.7	FR4	4.4	16.07	12.08	1.575	110	0.30	0.26
5.7	Rogger 5880	2.2	20.40	17.40	1.575	140	0.45	0.18
5.7	Rogger 4003C	3.55	17.77	14.17	0.508	125	0.36	0.22
5.7	Rogger RO4350B	3.48	17.57	13.97	0.508	120	0.34	0.23
7.1	FR4	4.4	12.50	15.00	1.575	105	0.24	0.20
7.1	Rogger 5880	2.2	16.69	13.98	0.508	135	0.33	0.15
7.1	Rogger 4003C	3.55	14.26	11.33	0.508	120	0.28	0.18
7.1	Rogger RO4350B	3.48	14.10	11.17	0.508	118	0.27	0.19
28	FR4	4.4	3.28	1.70	1.575	90	0.09	0.36
28	Rogger 5880	2.2	4.23	3.56	0.101	110	0.14	0.26
28	Rogger 4003C	3.55	3.61	2.88	0.101	98	0.12	0.28
28	Rogger RO4350B	3.48	3.57	2.84	0.101	97	0.11	0.29
38	FR4	4.4	2.41	1.86	0.101	82	0.065	0.26
38	Rogger 5880	2.2	3.11	2.60	0.101	108	0.095	0.19
38	Rogger 4003C	3.55	2.66	2.11	0.101	94	0.078	0.23
38	Rogger RO4350B	3.48	2.63	2.08	0.101	93	0.076	0.23

Daire şekilli mikroşerit antenler için RLC eşdeğer devre parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan temel formüller eşitlik (4.16) – (4.18)’de verilmiştir. Bu formüller, antenin rezonans davranışını elektriksel olarak modellemek amacıyla kullanılır, Çizelge 4.3.

Kapasitans (C)

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\pi a^2}{h} \left[1 + \frac{2h}{\pi a} \ln \left(\frac{\pi a}{2h} \right) \right] \quad (4.16)$$

Endüktans (L)

$$L = \frac{1}{(2\pi f_r)^2 C} \quad (4.17)$$

Direnç (R)

$$R_{loss} \approx \frac{120\lambda_0}{h} \left(\frac{h}{\lambda_0} \right)^2 \frac{\epsilon_r + 1}{\epsilon_r} J_1^2(k_0 a) \quad (4.18)$$

Çizelge 4.3. Daire geometrili yama antene ait RLC devresi değerleri.

Frekans (GHz)	Malzeme	ϵ_r	Yama Çapı (mm)	Kalınlık (mm)	R (Ω)	C (pF)	L (nH)
5.7	FR4	4.4	14.75	1.575	82	0.37	2.10
5.7	Rogger 5880	2.2	20.95	0.508	108	0.54	1.45
5.7	Rogger 4003C	3.55	16.47	0.508	96	0.41	1.91
5.7	Rogger RO4350B	3.48	16.24	0.508	95	0.40	1.96
7.1	FR4	4.4	11.72	0.508	88	0.29	1.78
7.1	Rogger 5880	2.2	16.24	0.660	112	0.39	1.28
7.1	Rogger 4003C	3.55	13.94	0.508	97	0.32	1.57
7.1	Rogger RO4350B	3.48	13.05	0.508	95	0.30	1.66
28	FR4	4.4	2.96	0.101	73	0.056	0.52
28	Rogger 5880	2.2	4.12	0.127	94	0.073	0.40
28	Rogger 4003C	3.55	3.30	0.101	84	0.061	0.47
28	Rogger RO4350B	3.48	3.30	0.101	83	0.060	0.48
38	FR4	4.4	2.18	0.025	67	0.044	0.38
38	Rogger 5880	2.2	3.03	0.127	89	0.053	0.33
38	Rogger 4003C	3.55	2.47	0.101	79	0.047	0.36
38	Rogger RO4350B	3.48	2.44	0.101	78	0.046	0.36

Üçgen şekilli mikroşerit antenler için RLC eşdeğer devre parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan temel formüller verilmiştir, eşitlik (4.19) – (4.21). Bu formüller, antenin rezonans davranışını elektriksel olarak modellemek amacıyla kullanılır. Çizelge 4.4’te üçgen antenler için örnek hesaplamalar verilmiştir.

Kapasitans (C)

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{h} \quad (4.19)$$

Endüktans (L)

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 C} \quad (4.20)$$

Direnç (R)

$$R_{loss} \approx \frac{120 \left(\frac{c}{f_r}\right)^2}{A} \quad (4.21)$$

Çizelge 4.4. Üçgen geometrili yama antene ait RLC devresi değerleri.

Frekans (GHz)	Malzeme	ϵ_r	Yama Genişliği (mm)	Kalınlık (mm)	R (Ω)	C (pF)	L (nH)
5.7	FR4	4.4	17.84	0.400	58	0.102	1.54
5.7	Rogger 5880	2.2	25.05	0.508	74	0.118	1.12
5.7	Rogger 4003C	3.55	20.22	0.508	67	0.111	1.19
5.7	Rogger RO4350B	3.48	19.93	0.508	66	0.110	1.21
7.1	FR4	4.4	14.30	0.254	55	0.061	1.59
7.1	Rogger 5880	2.2	20.13	0.254	71	0.073	1.30
7.1	Rogger 4003C	3.55	16.24	0.254	63	0.068	1.40
7.1	Rogger RO4350B	3.48	16.01	0.254	62	0.067	1.42
28	FR4	4.4	3.62	0.101	38	0.011	0.10
28	Rogger 5880	2.2	5.10	0.101	48	0.013	0.09
28	Rogger 4003C	3.55	4.11	0.101	43	0.012	0.095
28	Rogger RO4350B	3.48	4.05	0.101	42	0.012	0.096
38	FR4	4.4	2.67	0.035	28	0.007	0.05
38	Rogger 5880	2.2	3.75	0.035	33	0.008	0.045
38	Rogger 4003C	3.55	3.03	0.035	31	0.0075	0.047
38	Rogger RO4350B	3.48	2.99	0.035	30	0.0075	0.047

5. ANTEN BOYUTLARI VE SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu bölümde, farklı frekanslarda çalışan mikroşerit antenlerin boyutları ile ilgili bilgiler verilmiş ve gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda elde edilen temel performans parametreleri sunulmuştur. Tasarlanan antenlerin çalıştıkları frekans aralıkları, kullanılan geometrik şekiller ve dielektrik alttaşlar dikkate alınarak modellenmiştir.

5.1. 5.7 GHz Frekansındaki Antenlerin Boyutları ve Simülasyon Sonuçları

Antenlerin performans karşılaştırmalarının sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi adına, kullanılan alttaşların kalınlıklarının aynı veya birbirine oldukça yakın değerlerde seçilmesine özen gösterilmiştir. Bu yaklaşım, farklı frekanslarda elde edilen S11, bant genişliği, kazanç ve ışınlım örüntüsü gibi performans parametrelerinin, şekil ve malzeme bazında karşılaştırılmasını mümkün kılmış ve analizlerin güvenilirliğini artırmıştır. Tasarımların tamamında mikroşerit iletim hattı kullanılması sayesinde, tüm antenler ortak bir besleme altyapısına sahip olmuş, bu da performans farklarının yalnızca anten yapısal özelliklerinden kaynaklanmasına olanak tanımıştır.

5.1.1. Kare yama sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları

5.7 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan kare geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin boyutları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. 5.7GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.

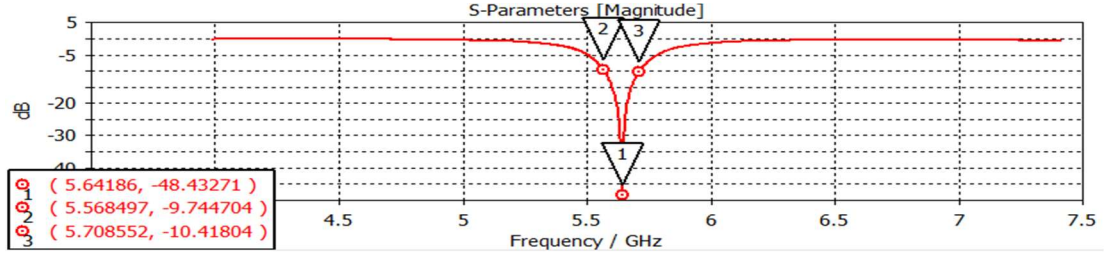
Yama Genişliği			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
16.07	20.4	17.77	17.57
Yama Uzunluğu			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
12.08	17.4	14.17	13.97
Alttaş Kalınlığı			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
1.575	1.575	0.508	0.508
Feed Genişliği			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0.967	3.8	1.17	0.819

5.7 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan kare geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin simülasyon sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

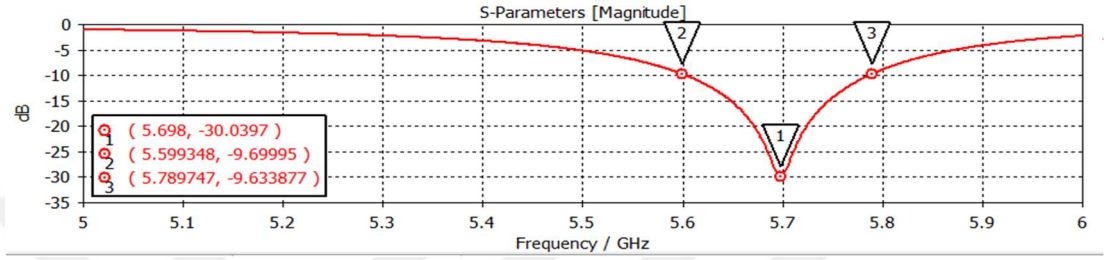
Çizelge 5.2. 5.7 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

Merkez Frekansı (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
5.64	5.7	5.59	5.6
S11 Parametresi (dB)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-48.43	-30.05	-13.10	-24.14
Bant Genişliği (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0.25	0.02	0.04	0.15
VSWR			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
1.21	1.08	1.58	1.29
Reflektans Impedansı			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
48.67	58.08	49.46	49.60
Main Lob (dBi)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
6.71	7.32	7.18	7.24
Side Lob			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-13.0	18.4	-18.4	-17.2
Main Lobe Direction (deg)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
11.0	24.0	3.0	4.0
Angular Width (3 dB) (deg)			
95.9	96.4	84.9	84.6

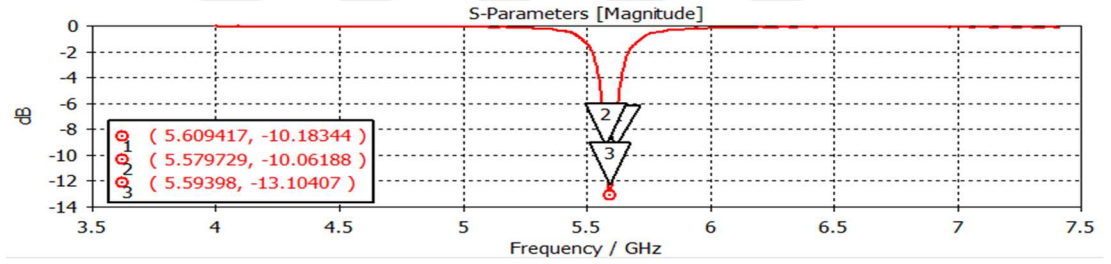
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan kare mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen S11 parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te verilmiştir.



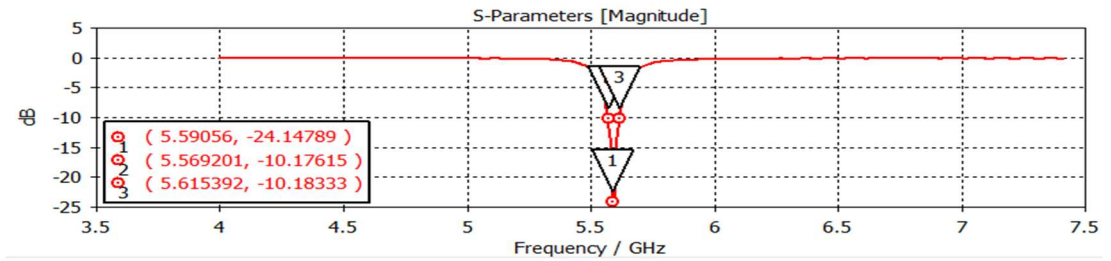
Şekil 5.1. 5.7 GHz için FR4 dielektrik alttaşı kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.2. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşı kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.3. 5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşı kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

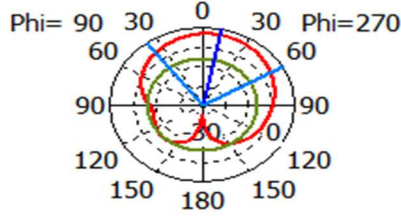


Şekil 5.4. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşı kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield

Directivity parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de verilmiştir.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

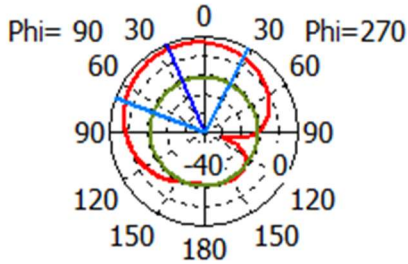


Frequency = 5.7 GHz
Main lobe magnitude = 6.71 dBi
Main lobe direction = 11.0 deg.
Angular width (3 dB) = 95.9 deg.
Side lobe level = -13.0 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.5. 5.7 GHz için FR4 dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

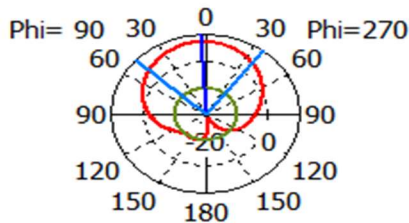


Frequency = 5.5 GHz
Main lobe magnitude = 7.32 dBi
Main lobe direction = 24.0 deg.
Angular width (3 dB) = 96.4 deg.
Side lobe level = -18.4 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.6. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

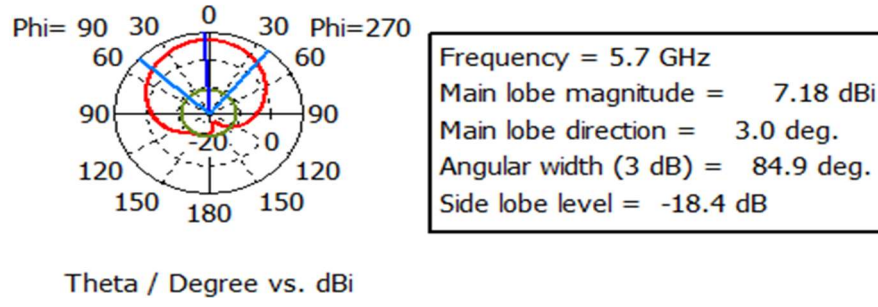


Frequency = 5.7 GHz
Main lobe magnitude = 7.24 dBi
Main lobe direction = 4.0 deg.
Angular width (3 dB) = 84.6 deg.
Side lobe level = -17.2 dB

Theta / Degree vs. dBi

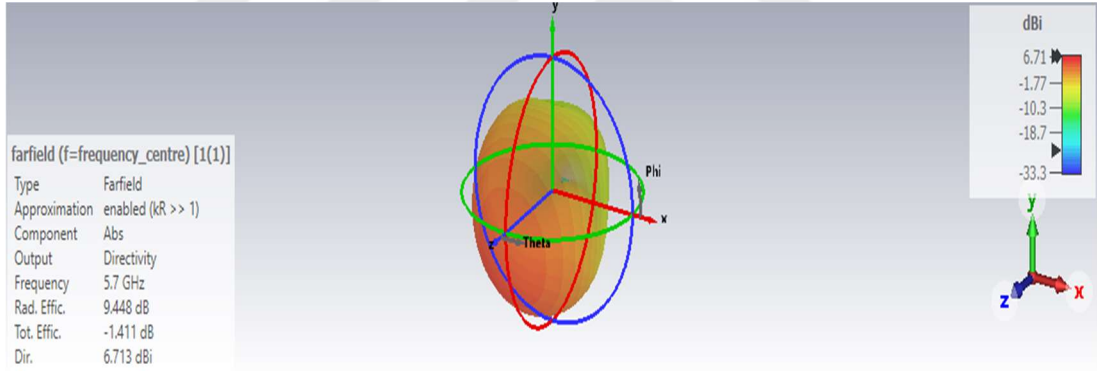
Şekil 5.7. 5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaşta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

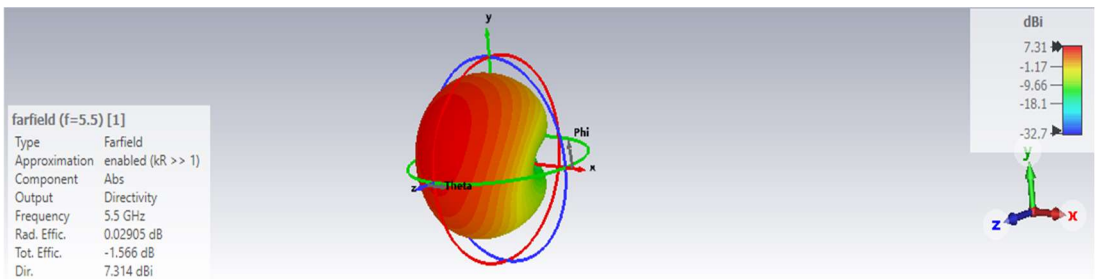


Şekil 5.8. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

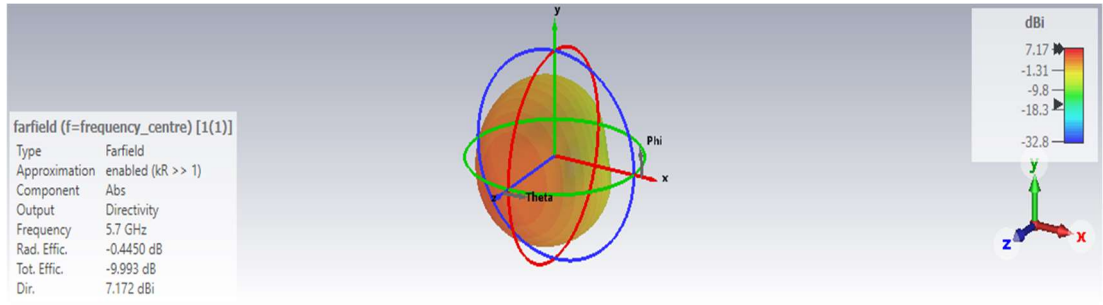
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger 4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait 3D simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de verilmiştir.



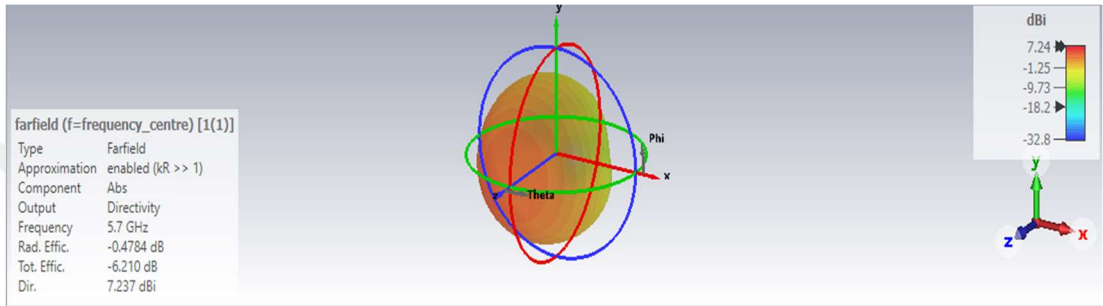
Şekil 5.9. 5.7 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.10. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.11. 5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.12. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşa kare geometrik mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.

5.1.2. Daire yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları

5.7 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan daire geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin boyutları Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. 5.7GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.

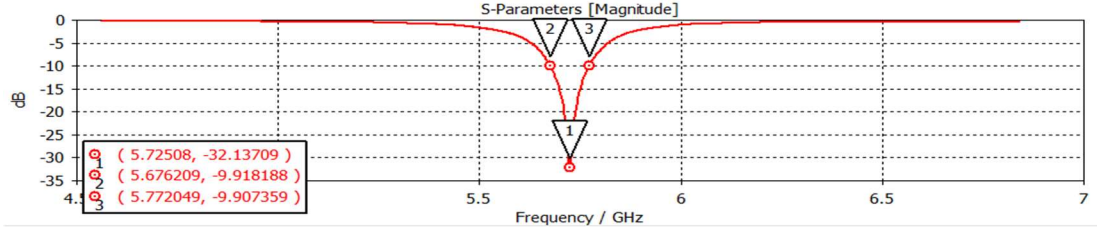
Yama Çapı			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
14.75	20.95	16.47	16.24
Alttaş Kalınlığı			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
1.575	0.508	0.508	0.508
Feed Genişliği			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
0.852	1.454	0.586	0.615

5.7 GHz çalışma frekansında çalışmak üzere tasarlanan daire geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin simülasyon sonuçları Çizelge 5.4’te verilmiştir.

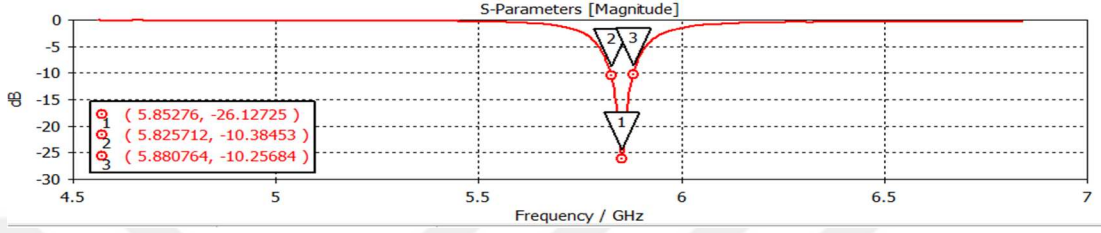
Çizelge 5.4. 5.7 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

Merkez Frekansı (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
5.72	5.66	5.76	5.8
S11 Parametresi (dB)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-32.13	-29.23	-36.68	-39.85
Bant Genişliği (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0.1	0.04	0.05	0.05
VSWR			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
1.56	1.12	1.42	1.95
Reflektans Impedans			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
45.31	47.51	47.63	47.61
Main Lobe (dBi)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
6.71	8.03	7.13	7.2
Side Lob			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-11.5	-15.3	-18.1	-16.5
Main Lobe Direction (deg)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
7.0	6.0	6.0	10
Angular Width (3 dB) (deg)			
75.3	71.4	83.8	82.1

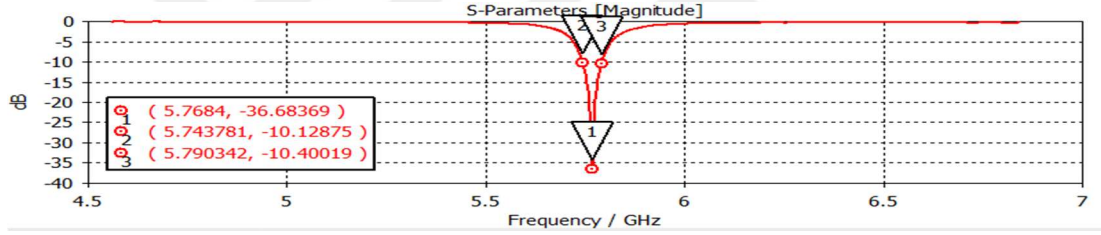
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen S11 parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’da verilmiştir.



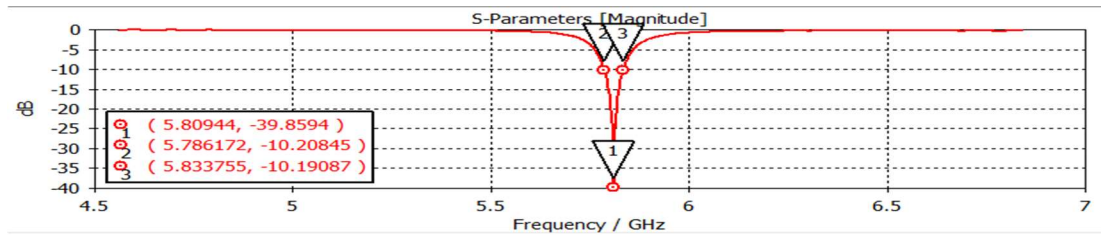
Şekil 5.13. 5.7 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.14. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



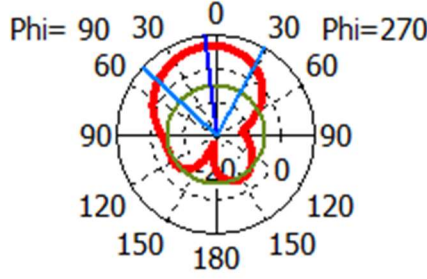
Şekil 5.15. 5.7 GHz için Rogger4003C dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.16. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de verilmiştir.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

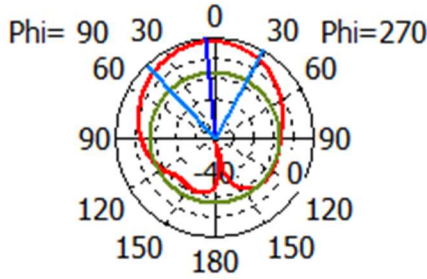


Frequency = 5.7 GHz
Main lobe magnitude = 6.71 dBi
Main lobe direction = 7.0 deg.
Angular width (3 dB) = 75.3 deg.
Side lobe level = -11.5 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.17. 5.7 GHz için FR4 dielektrik alttäta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiğı simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

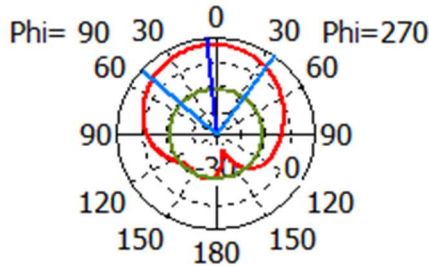


Frequency = 5.7 GHz
Main lobe magnitude = 8.03 dBi
Main lobe direction = 6.0 deg.
Angular width (3 dB) = 71.4 deg.
Side lobe level = -15.3 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.18. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttäta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiğı simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

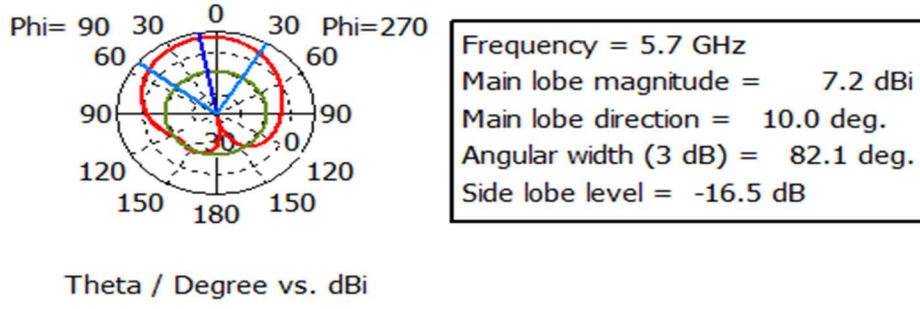


Frequency = 5.7 GHz
Main lobe magnitude = 7.13 dBi
Main lobe direction = 6.0 deg.
Angular width (3 dB) = 83.8 deg.
Side lobe level = -18.1 dB

Theta / Degree vs. dBi

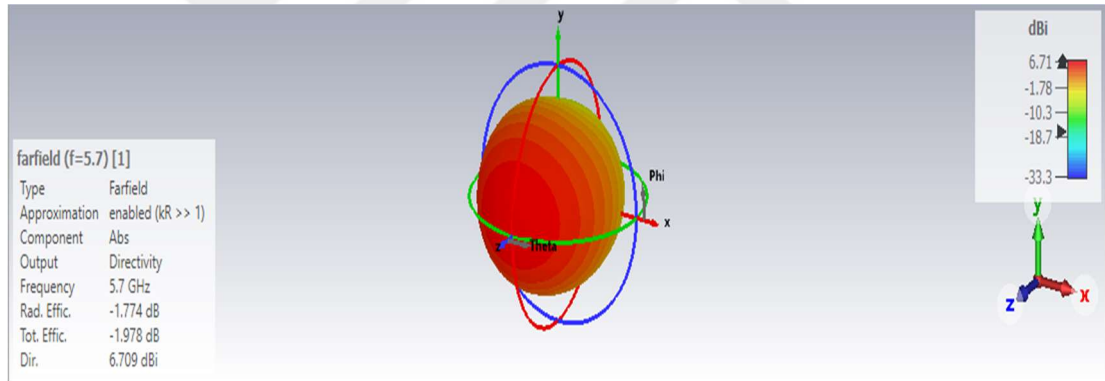
Şekil 5.19. 5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttäta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiğı simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

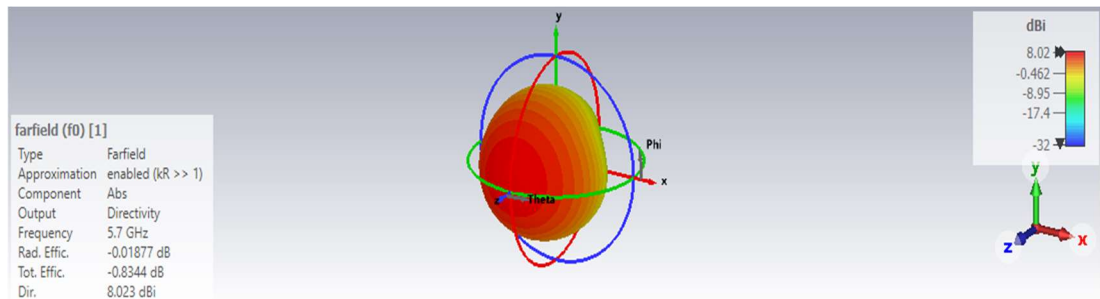


Şekil 5.20. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

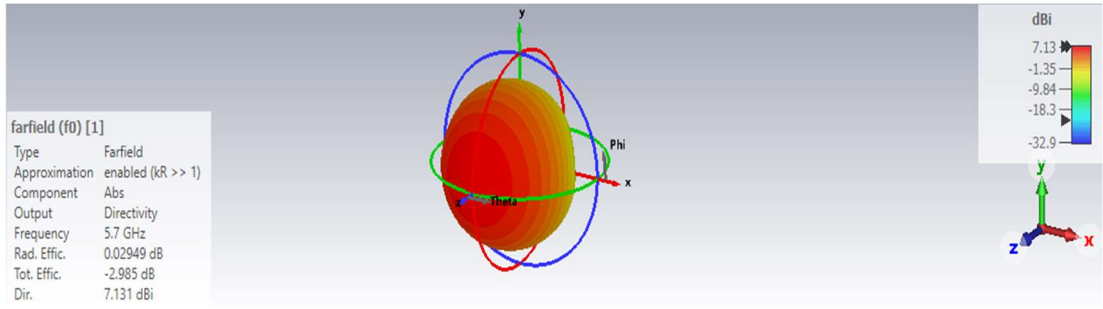
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait 3D simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’de verilmiştir.



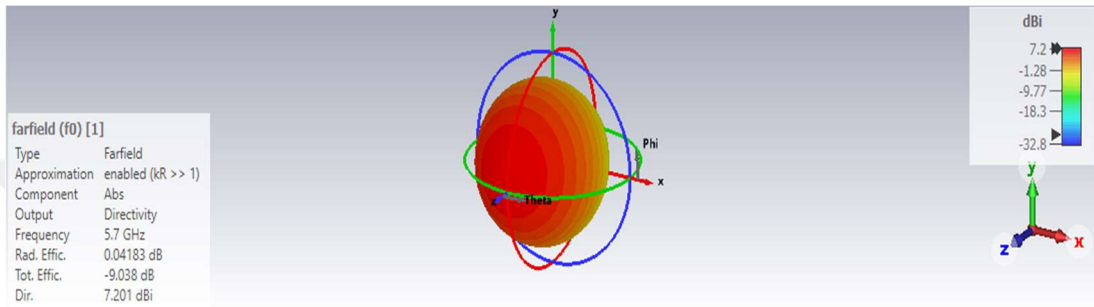
Şekil 5.21. 5.7 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.22. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.23. 5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşa tasarlanan daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.24. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşa tasarlanan daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.

5.1.3. Üçgen yamaya antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları

5.7 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin boyutları Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. 5.7 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları.

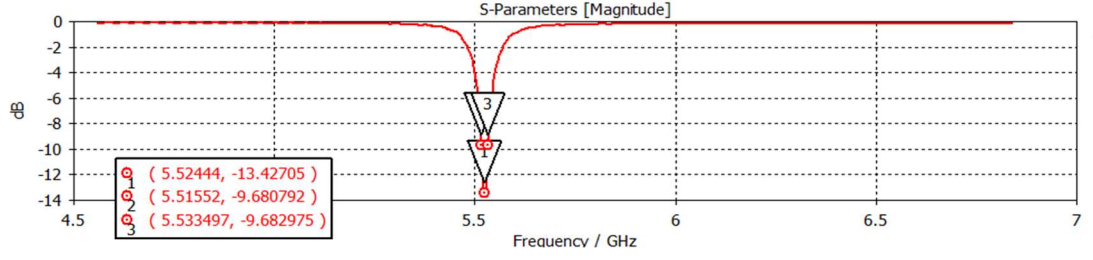
Yama Genişliği			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
17.84	25.05	20.22	19.93
Yama 1. Uzunluk			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
12.60	17.71	14.29	14.09
Yama 2. Uzunluk			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
12.60	17.71	14.29	14.09
Alttaş Kalınlığı			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
0.4	0.508	0.508	0.508

5.7 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin simülasyon sonuçları Çizelge 5.6’da verilmiştir.

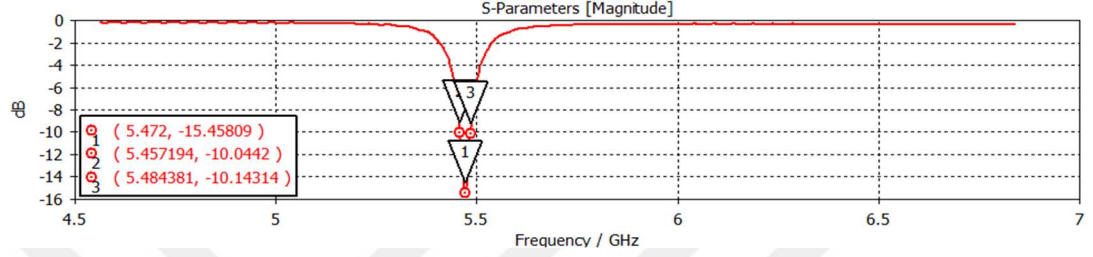
Çizelge 5.6. 5.7 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

Merkez Frekansı (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
5.52	5.47	5.43	5.6
S11 Parametresi (dB)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-13.42	-15.45	-18.51	-18.32
Bant Genişliği			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0.02	0.02	0.03	0.04
VSWR			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
1.61	1.50	1.25	1.27
Reflektans İmpedans			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
50	50	50	50
Main Lob (dBi)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
6.18	6.87	6.44	6.42
Side Lob			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
	-19.1	-13.7	
Main Lobe Direction (deg)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
6.0	5.0	6.0	4.0
Angular Width (3 dB) (deg)			
104.2	91.8	99.4	102.4

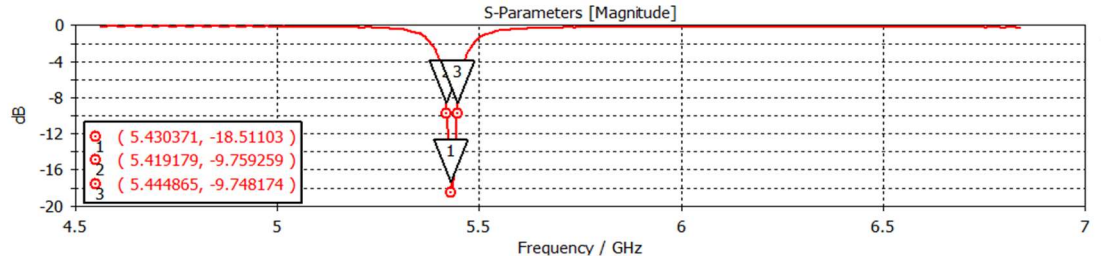
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen S11 parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27 ve Şekil 5.28’de verilmiştir.



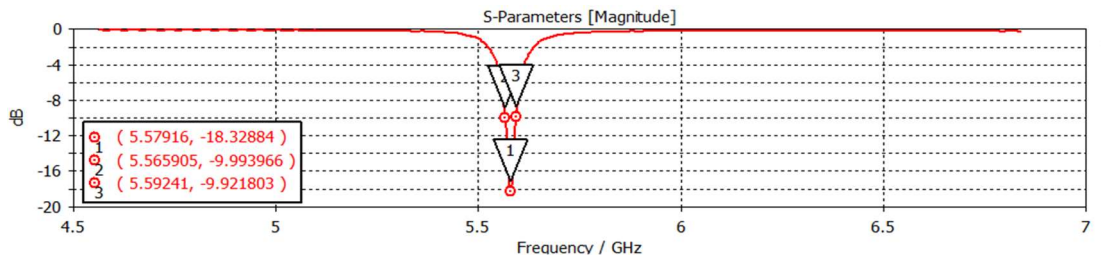
Şekil 5.25. 5.7 GHz için FR4 dielektrik altaışta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.26. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaışta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



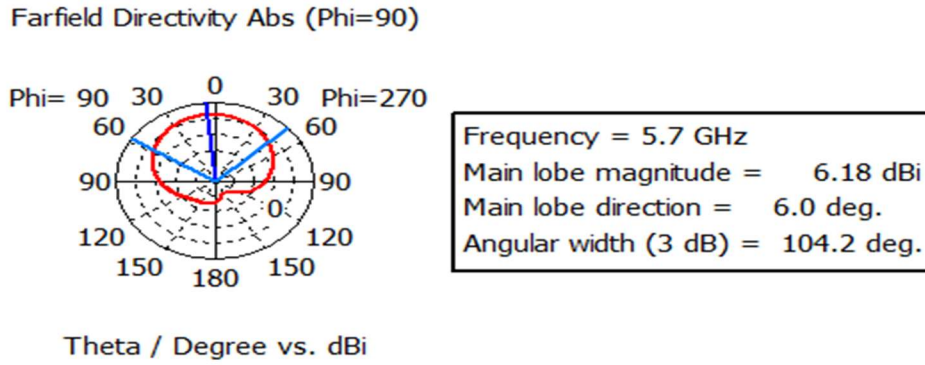
Şekil 5.27. 5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaışta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



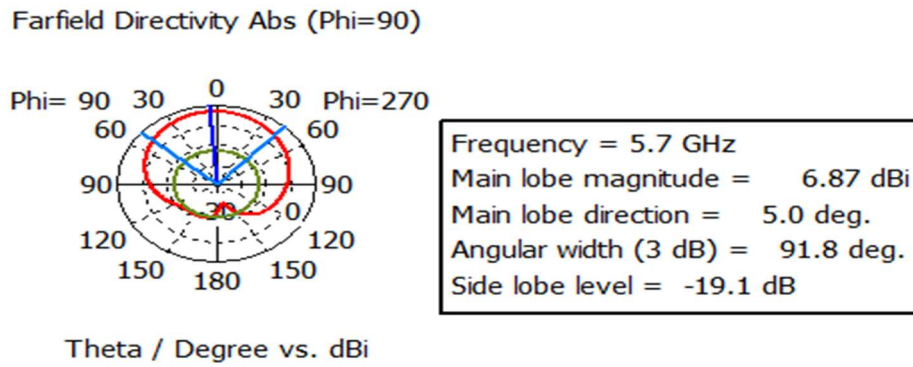
Şekil 5.28. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaışta tasarlanan üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield

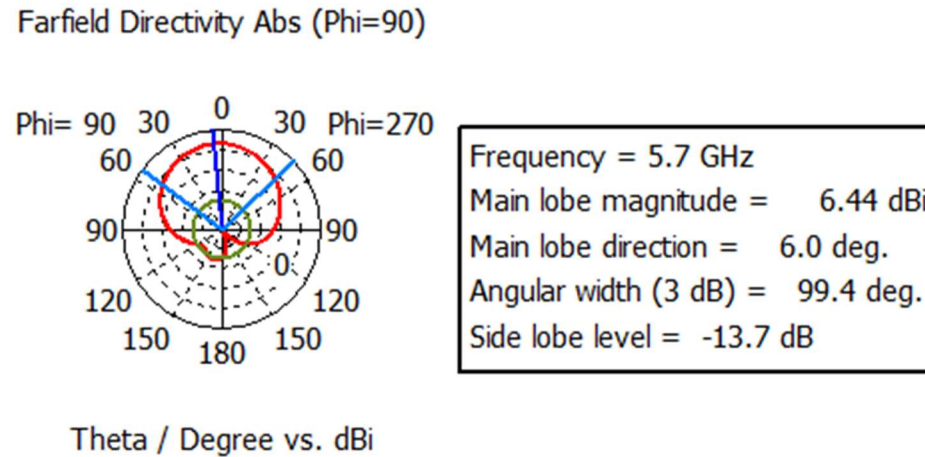
Directivity parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.29, Şekil 5.30, Şekil 5.31 ve Şekil 5.32’de verilmiştir.



Şekil 5.29. 5.7 GHz için FR4 dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

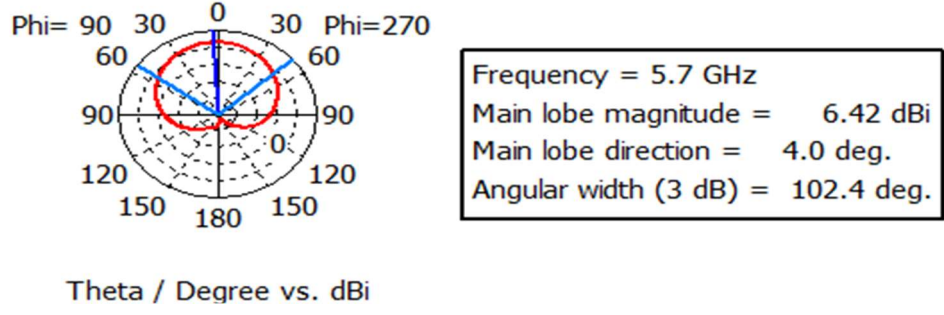


Şekil 5.30. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.



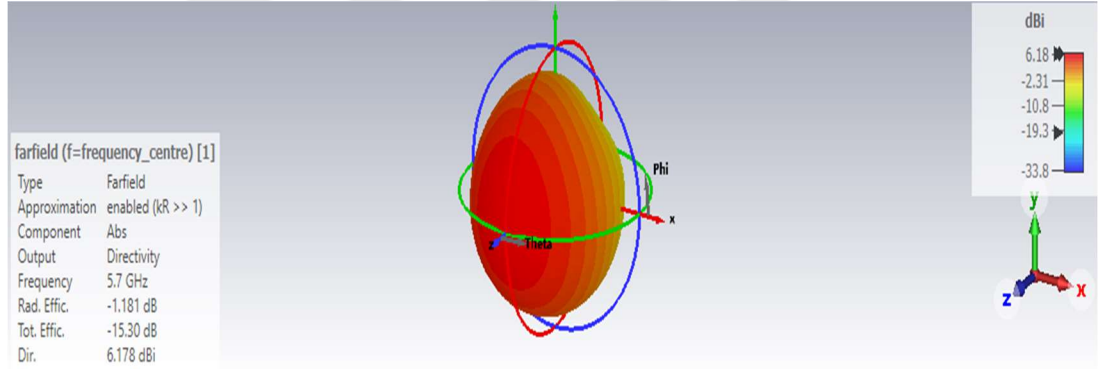
Şekil 5.31. 5.7 GHz için Rogger4003C dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

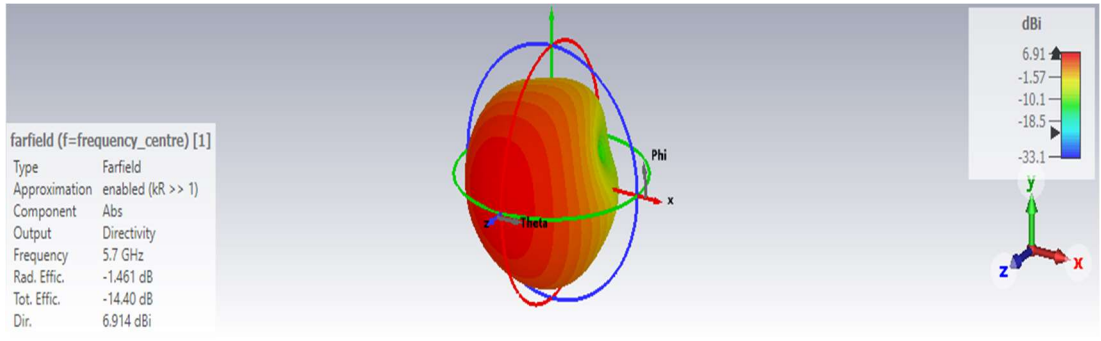


Şekil 5.32. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

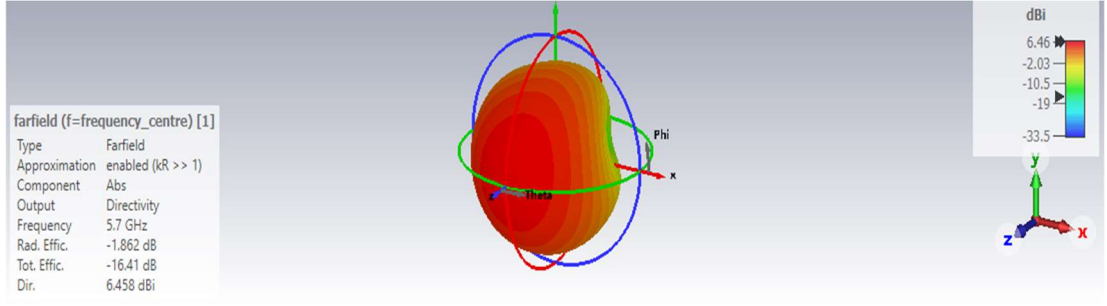
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait 3D simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.33 Şekil 5.34, Şekil 5.35 ve Şekil 5.36’da verilmiştir.



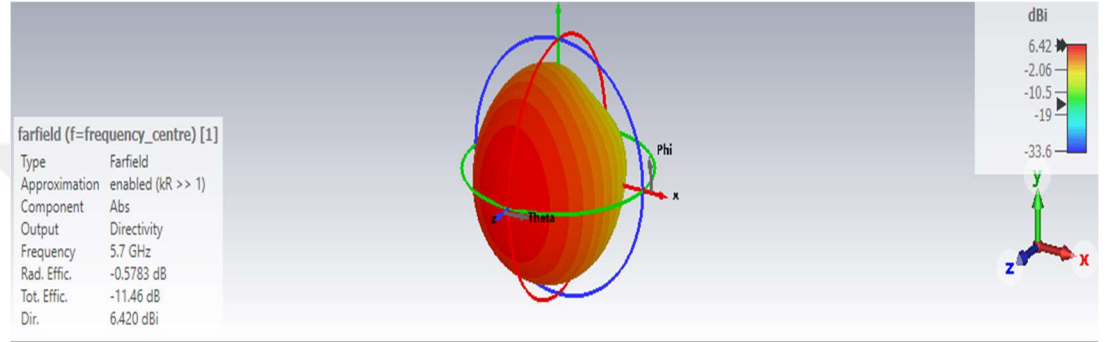
Şekil 5.33. 5.7 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.34. 5.7 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.35. 5.7 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.36. 5.7 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.

5.2. 7.1 GHz Frekansındaki Antenlerin Boyutları ve Simülasyon Sonuçları

Kare, daire ve üçgen geometrik şekillere sahip antenler Rogger 5880, FR4, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik alttaşları kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan antenlerde performans parametrelerinin karşılaştırılmanın uygun olması açısından dielektrik alttaş kalınlıklarının aynı veya çok yakın değerlere sahip olmasına özen gösterilmiştir.

5.2.1. Kare yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları

7.1GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan kare geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin boyutları Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip anten boyutları.

Yama Genişliği			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B

Çizelge 5.7 (devam). 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip anten boyutları.

12.5	16.69	14.26	14.10
Yama Uzunluğu			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
15	13.98	11.33	11.17
Altaş Kalınlığı			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
1.575	0.508	0.508	0.508
Feed Genişliği			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
2.5	0.586	0.676	0.7

7.1 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan kare yamalı mikroşerit yama antenin simülasyon sonuçları Çizelge 5.8’de verilmiştir.

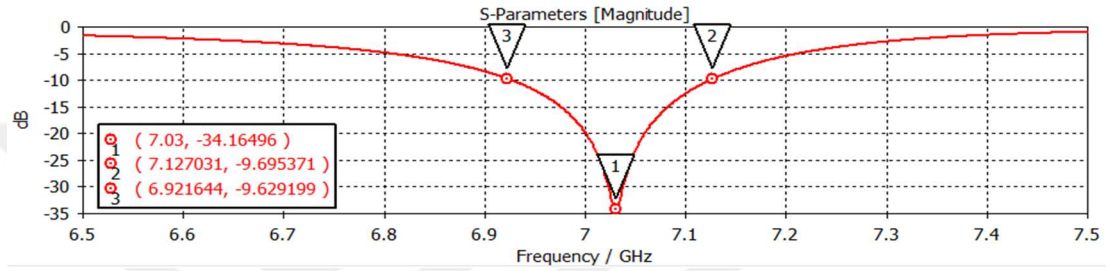
Çizelge 5.8. 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

Merkez Frekansı (GHz)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
7.03	7.00	6.98	6.98
S11 Parametresi (dB)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
-34.16	-29.48	-37.11	-29.64
Bant Genişliği (GHz)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
0.2	0.1	0.06	0.05
VSWR			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
1.13	1.26	1.05	1.30
Reflektans Impedans			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
51.14	49.9	49.56	49.52
Main Lob (dBi)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
8.5	8.17	7.34	7.22
Side Lob			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
-4.9	-15.3		
Main Lobe Direction (deg)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
21	8.0	8.0	7.0

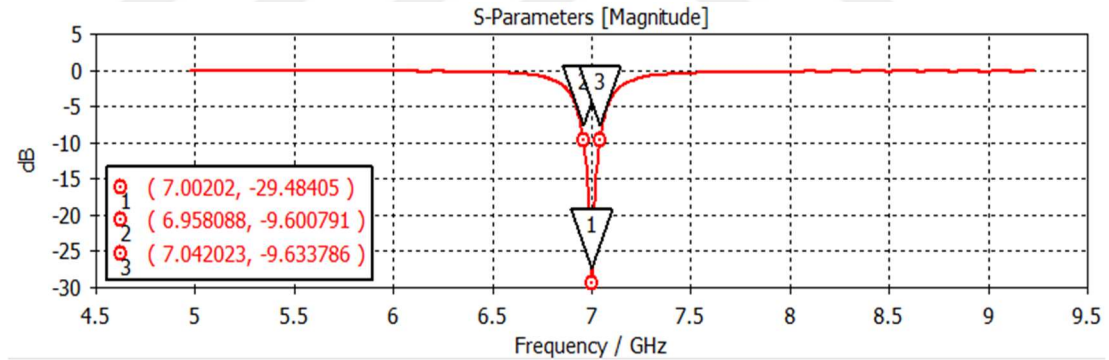
Çizelge 5.8 (devam). 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

Angular Width (3 dB) (deg)			
67.3	72.1	81.7	82.9

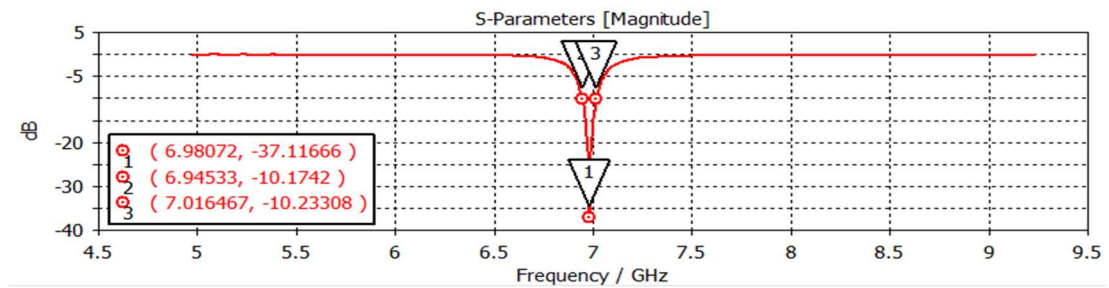
FR4, Rogers 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen S11 parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.37, Şekil 5.38, Şekil 5.39 ve Şekil 5.40’da verilmiştir.



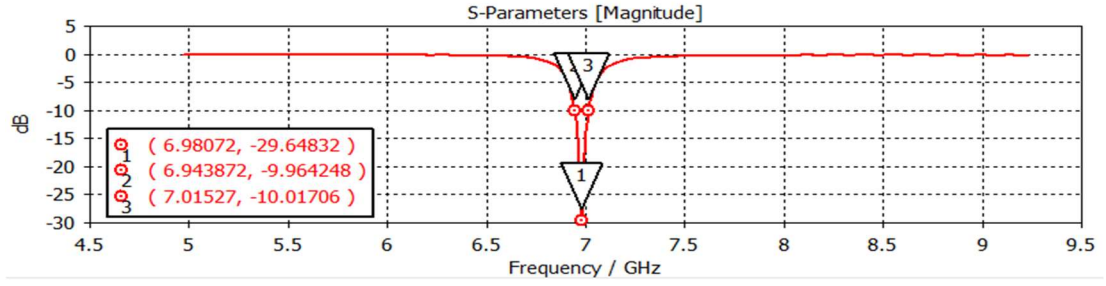
Şekil 5.37. 7.1GHz için FR4 dielektrik alttaştta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.38. 7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaştta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



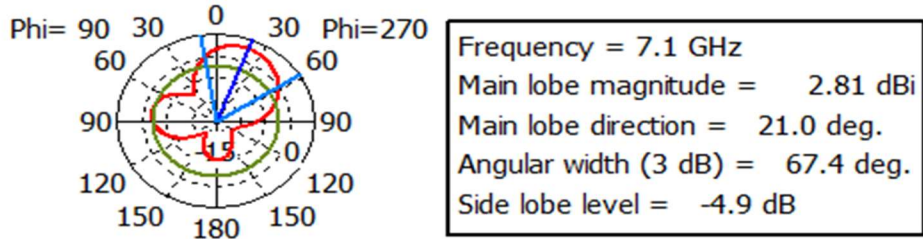
Şekil 5.39. 7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaştta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.40. 7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.41, Şekil 5.42, Şekil 5.43 ve Şekil 5.44’de verilmiştir.

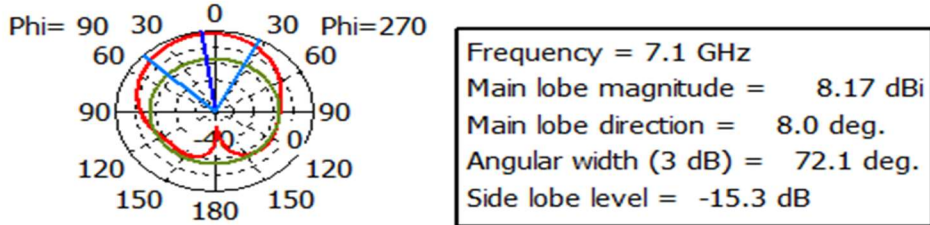
Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.41. 7.1 GHz için FR4 dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

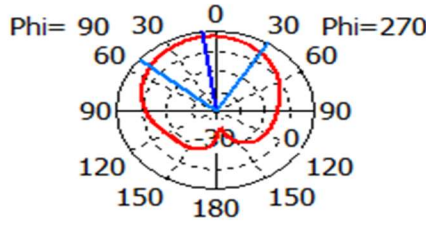
Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.42. 7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

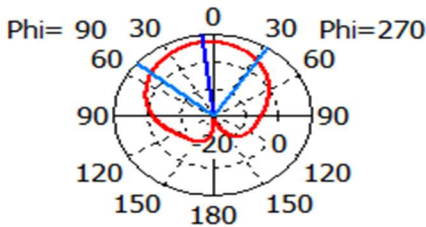


Frequency = 7.1 GHz
Main lobe magnitude = 7.34 dBi
Main lobe direction = 8.0 deg.
Angular width (3 dB) = 81.7 deg.

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.43. 7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

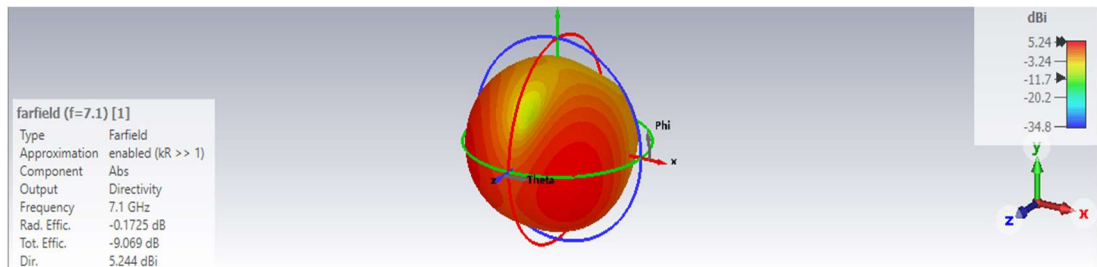


Frequency = 7.1 GHz
Main lobe magnitude = 7.22 dBi
Main lobe direction = 7.0 deg.
Angular width (3 dB) = 82.9 deg.

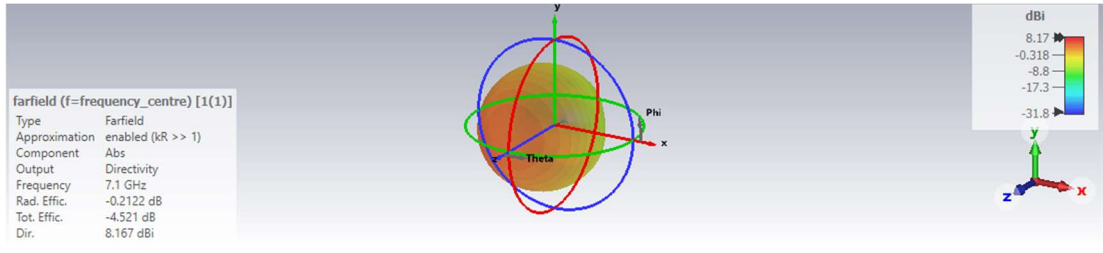
Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.44. 7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

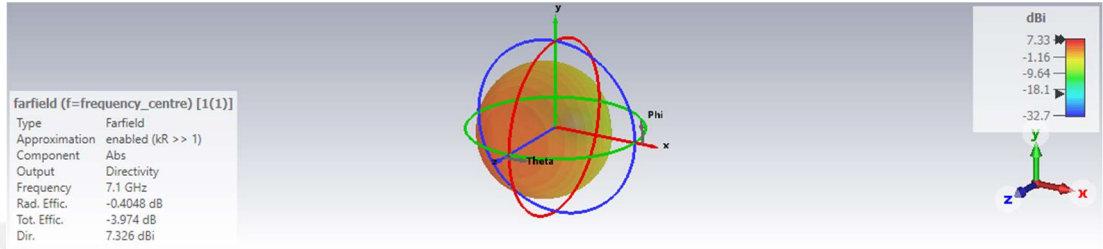
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait 3D simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.45, Şekil 5.46, Şekil 5.47 ve Şekil 5.48’de verilmiştir.



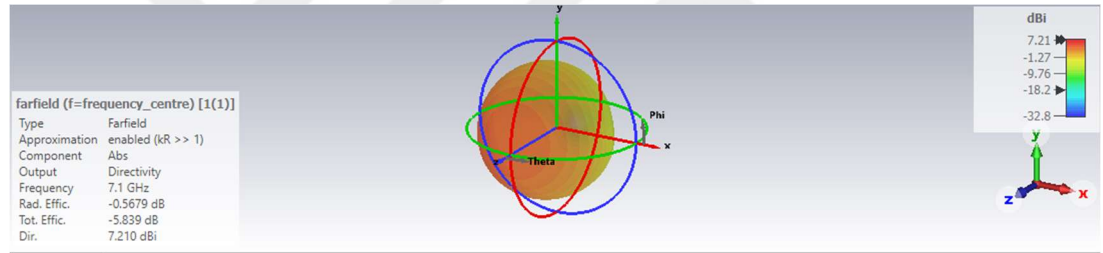
Şekil 5.45. 7.1 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.46. 7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.47. 7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.48. 7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.

5.2.2. Daire yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları

7.1GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan daire geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin boyutları Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. 7.1 GHz frekansındaki daire yamaya sahip anten boyutları.

Yama Çapı			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
11.72	16.24	13.94	13.05
Altaş Kalınlığı			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
0.508	0.66	0.508	0.508
Feed Genişliği			

Çizelge 5.9 (devam). 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten boyutları

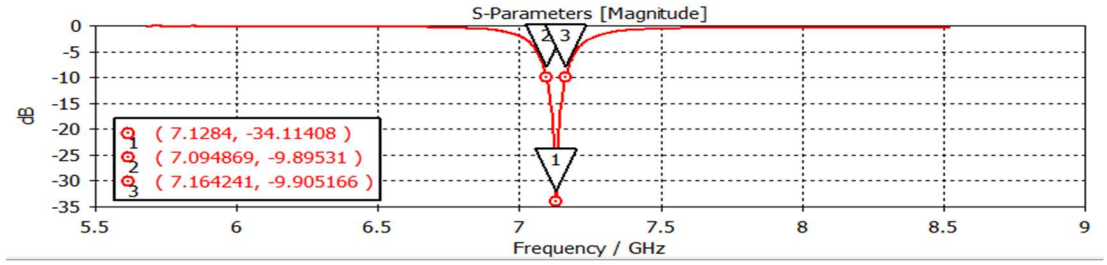
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
0.40	0.28	0.42	0.448

7.1 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan daire geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin simülasyon sonuçları Çizelge 5.10’da verilmiştir.

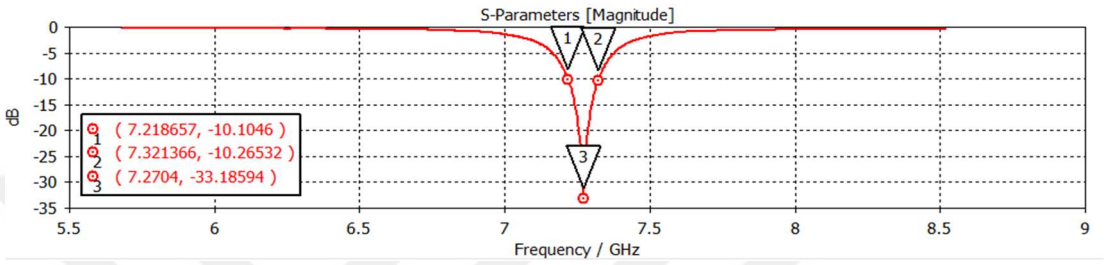
Çizelge 5.10. 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

Merkez Frekansı (GHz)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
7.12	7.27	7.21	7.26
S11 Parametresi (dB)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
-34.11	-33.18	-34.49	-33.40
Bant Genişliği (GHz)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
0.07	0.01	0.07	0.1
VSWR			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
1.84	1.11	1.14	9
Ref. Imp			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
47.71	24.08	47.82	47.80
Main Lobe (dBi)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
6.64	11.5	7.13	7.28
Side Lob			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
-16.4	-14.3	-16.9	-11.1
Main Lobe Direction (deg)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
6.0	9	8.0	16
Angular Width (3 dB) (deg)			
89.2	71.1	82.3	76.5

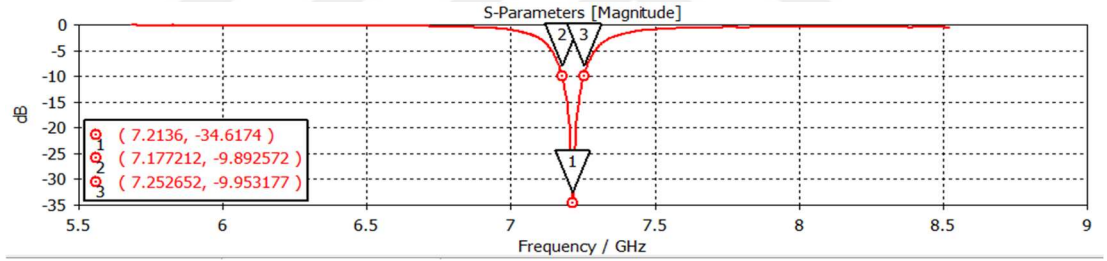
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen S11 parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.49, Şekil 5.50, Şekil 5.51 ve Şekil 5.52’de verilmiştir.



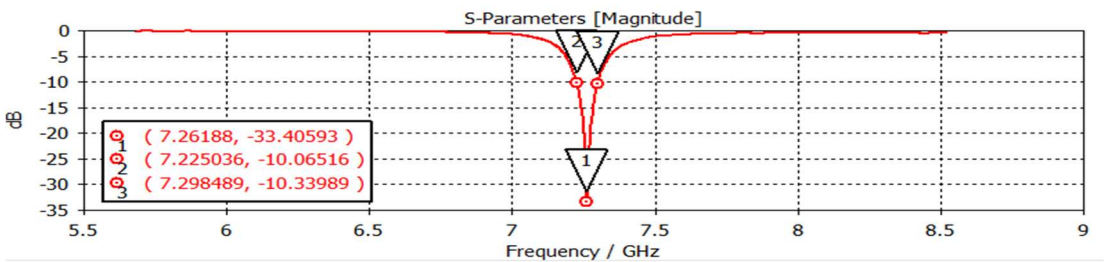
Şekil 5.49. 7.1 GHz için FR4 dielektrik alttta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.50. 7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.51. 7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

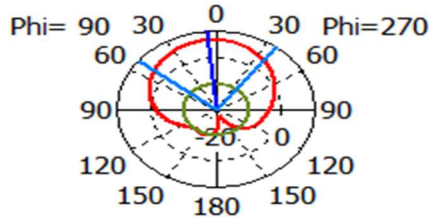


Şekil 5.52. 7.1 GHz için Rogger RO435B dielektrik alttta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield

Directivity parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.53, Şekil 5.54, Şekil 5.55 ve Şekil 5.56’da verilmiştir.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

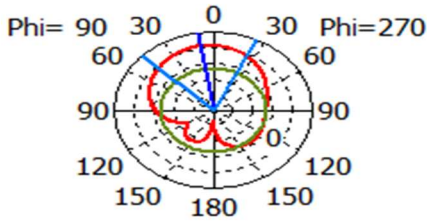


Frequency = 7.1 GHz
Main lobe magnitude = 6.64 dBi
Main lobe direction = 6.0 deg.
Angular width (3 dB) = 89.2 deg.
Side lobe level = -16.4 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.53. 7.1 GHz için FR4 dielektrik alttaşta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

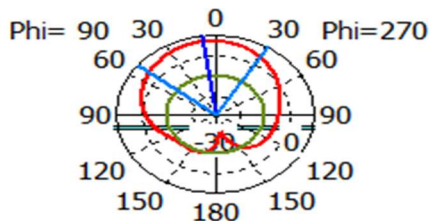


Frequency = 7.1 GHz
Main lobe magnitude = 11.5 dBi
Main lobe direction = 9.0 deg.
Angular width (3 dB) = 71.1 deg.
Side lobe level = -14.3 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.54. 7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

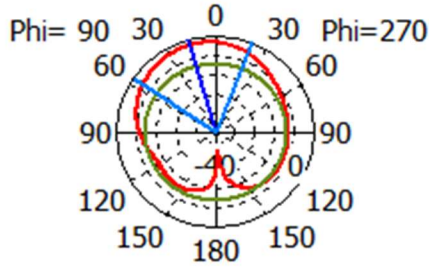


Frequency = 7.1 GHz
Main lobe magnitude = 7.13 dBi
Main lobe direction = 8.0 deg.
Angular width (3 dB) = 82.3 deg.
Side lobe level = -16.9 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.55. 7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

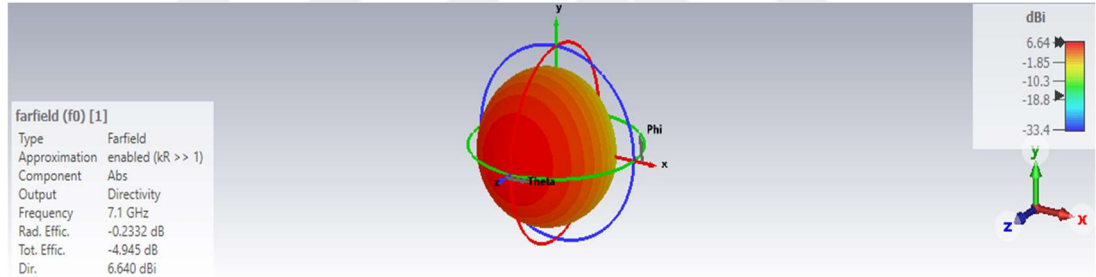


Frequency = 7.1 GHz
Main lobe magnitude = 7.28 dBi
Main lobe direction = 16.0 deg.
Angular width (3 dB) = 76.5 deg.
Side lobe level = -11.1 dB

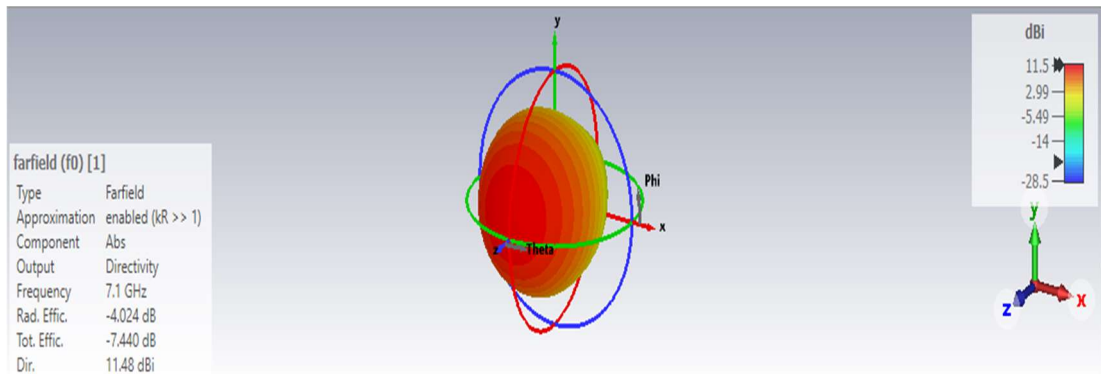
Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.56. 7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta daire geometrilili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

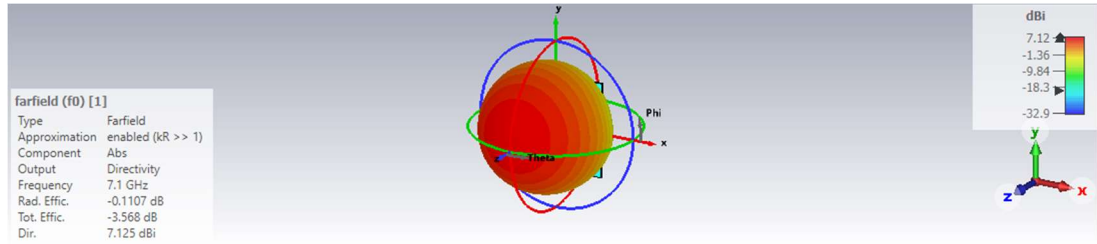
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait 3D simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.57, Şekil 5.58, Şekil 5.59 ve Şekil 5.60’da verilmiştir.



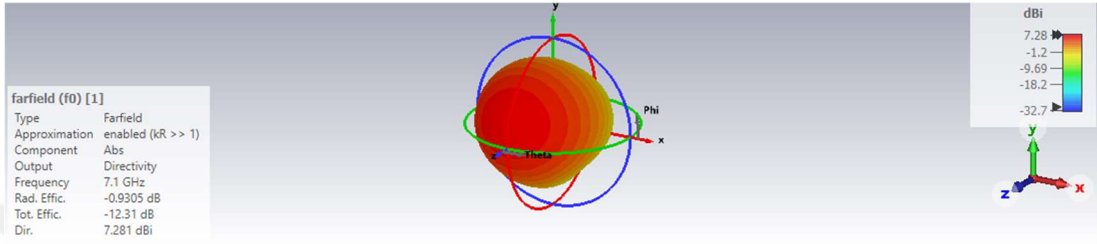
Şekil 5.57. 7.1 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta daire geometrilili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.58. 7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta daire geometrilili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.59. 7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.60. 7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşa daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.

5.2.3. Üçgen yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları

7.1 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin boyutları Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11. 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip anten boyutları.

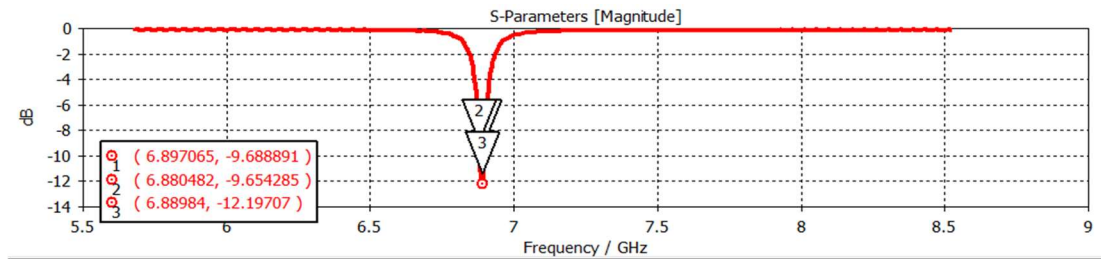
Yama Genişliği			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
14.30	20.13	16.24	16.01
Yama 1. Uzunluk			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
10.11	14.23	11.48	11.31
Yama 2. Uzunluk			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
10.11	14.23	11.48	11.31
Alttaş Kalınlığı			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
0.254	0.254	0.254	0.254

7.1 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin simülasyon sonuçları Çizelge5.12’de verilmiştir.

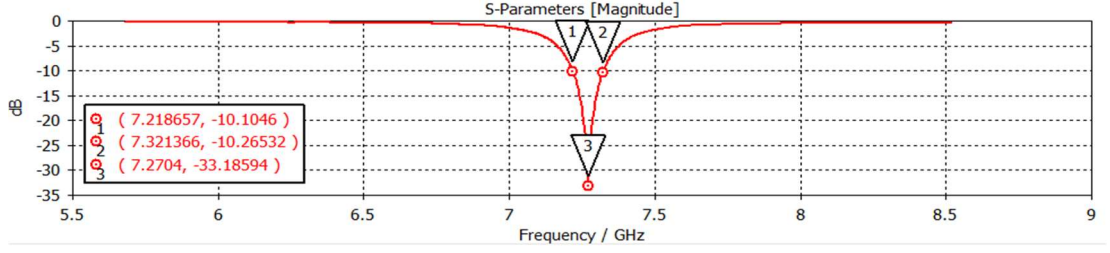
Çizelge 5.12. 7.1 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

Merkez Frekansı (GHz)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
6.9	6.89	6.8	7.03
S11 Parametresi (dB)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
-12.19	-14.65	-17.13	-16.32
Bant Genişliği (GHz)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
0.01	0.05	0.02	0.01
VSWR			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
1.66	1.49	1.54	1.42
Reflektans Impedans			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
50	50	50	50
Main Lob (dBi)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
6.16	7.14	6.5	6.34
Side Lob			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
		-14.5	
Main Lobe Direction (deg)			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
5.0	2.0	4.0	2.0
Angular Width (3 dB) (deg)			
104.5	92.0	99.7	104.1

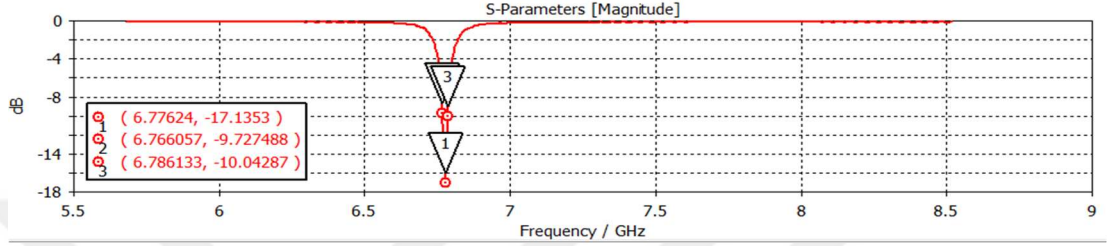
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen S11 parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.61, Şekil 5.62, Şekil 5.63 ve Şekil 5.64’de verilmiştir.



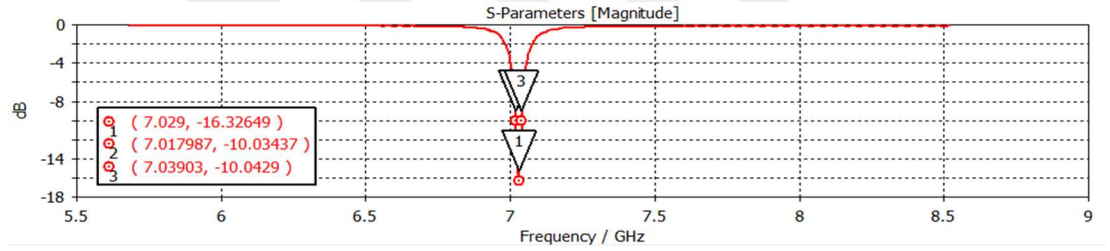
Şekil 5.61. 7.1 GHz için FR4 dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.62. 7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

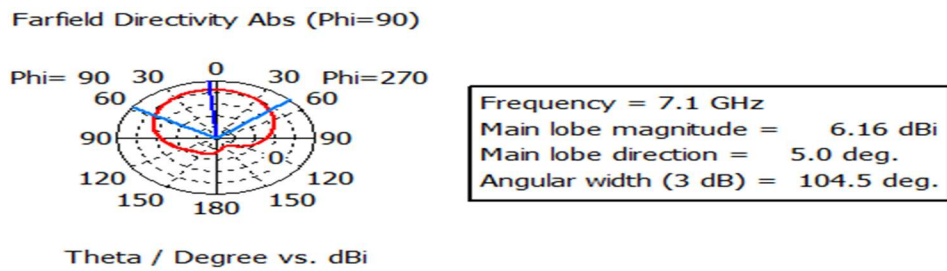


Şekil 5.63. 7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



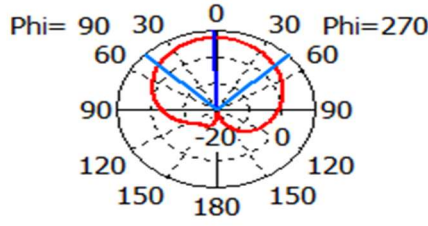
Şekil 5.64. 7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.65, Şekil 5.66, Şekil 5.67 ve Şekil 5.68’de verilmiştir.



Şekil 5.65. 7.1 GHz için FR4 dielektrik alttta tasarlanan üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

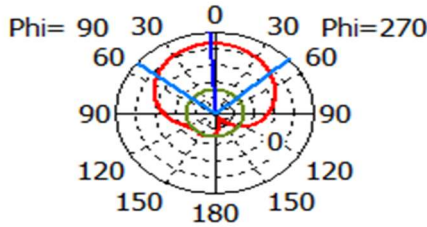


Frequency = 7.1 GHz
Main lobe magnitude = 7.14 dBi
Main lobe direction = 2.0 deg.
Angular width (3 dB) = 92.0 deg.

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.66. 7.1 GHz için Rogger5880 dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

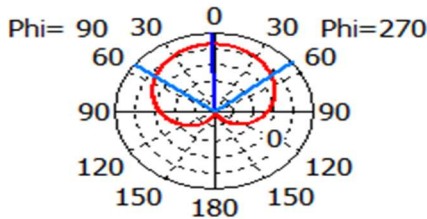


Frequency = 7.1 GHz
Main lobe magnitude = 6.5 dBi
Main lobe direction = 4.0 deg.
Angular width (3 dB) = 99.7 deg.
Side lobe level = -14.0 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.67. 7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

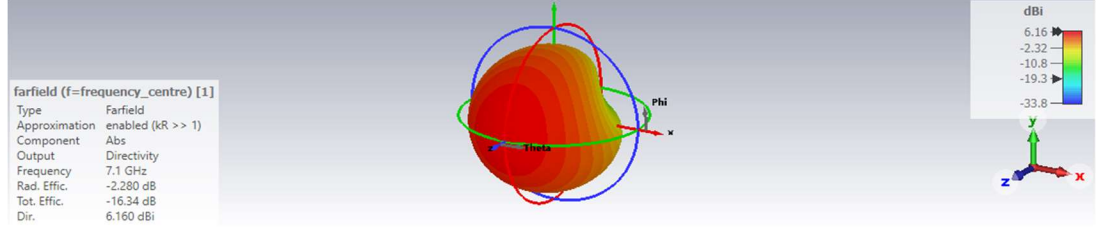


Frequency = 7.1 GHz
Main lobe magnitude = 6.34 dBi
Main lobe direction = 2.0 deg.
Angular width (3 dB) = 104.1 deg.

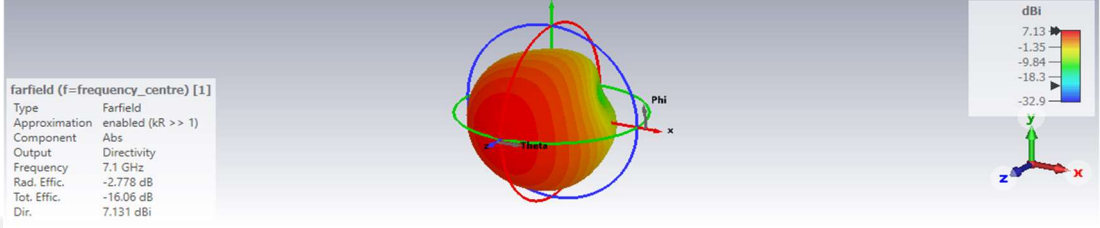
Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.68. 7.1 GHz için Roger RO4350B dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

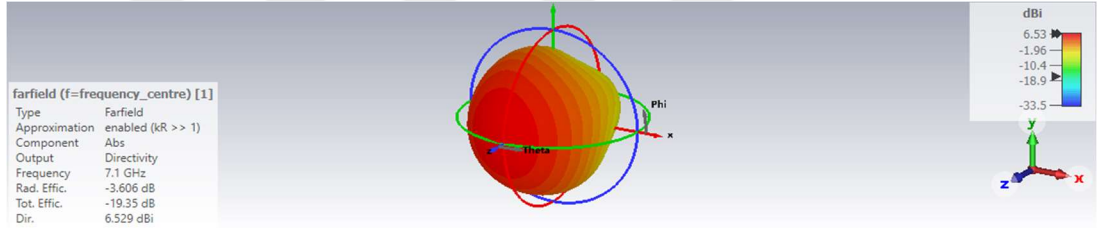
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait 3D simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.69, Şekil 5.70, Şekil 5.71 ve Şekil 5.72’de verilmiştir.



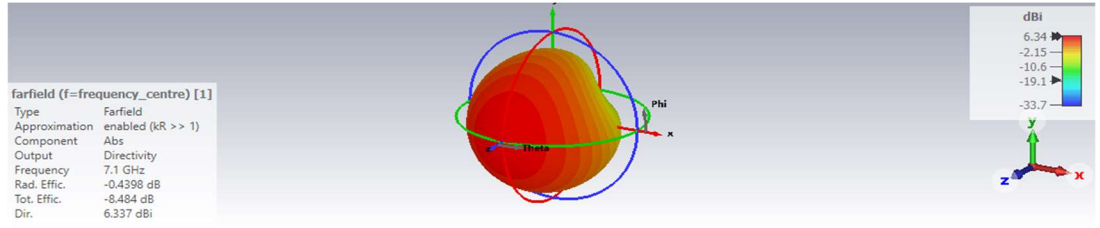
Şekil 5.69. 7.1 GHz için FR4 dielektrik altaışta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.70. 7.1 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaışta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.71. 7.1 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaışta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.72. 7.1 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaış, üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.

5.3. 28 GHz Frekansındaki Antenlerin Boyutları ve Simülasyon Sonuçları

Kare, daire ve üçgen geometrik şekillere sahip antenler Rogger 5880, FR4, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altaışları kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan antenlerde performans parametrelerinin karşılaştırılmanın uygun olması açısından

dielektrik alttaş kalınlıklarının aynı veya çok yakın değerlere sahip olmasına özen gösterilmiştir.

5.3.1. Kare yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları

28 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan kare geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin boyutları Çizelge 5.13’de verilmiştir.

Çizelge 5.13. 28 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip anten boyutları.

Yama Genişliği			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
3.28	4.23	3.61	3.57
Yama Uzunluğu			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
1.70	3.56	2.88	2.84
Alttaş Kalınlığı			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
1.575	0.101	0.101	0.101
Feed Genişliği			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogers RO4350B
0.1	0.111	0.133	0.129

28 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan kare geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin simülasyon sonuçları Çizelge 5.14’de verilmiştir.

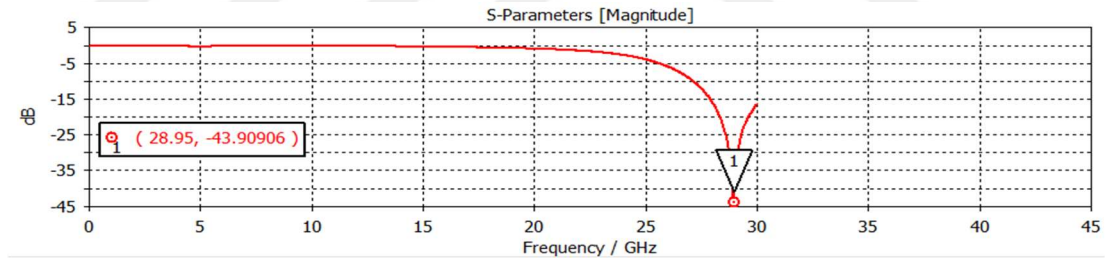
Çizelge 5.14. 28 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

Merkez Frekansı (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
28.95	27.57	27.47	27.4
S11 Parametresi (dB)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-43.9	-23.36	-22,12	-20,94
Bant Genişliği (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
3.64	0.3	0.44	0.2
VSWR			
FR4	Rogger5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
1.14	1.16	1.14	1.15
Reflektans Impedans			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B

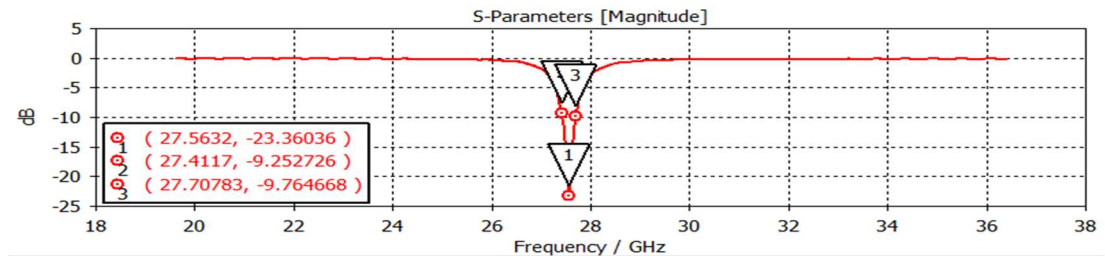
Çizelge 5.14 (devam). 28 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

50	49.70	49.31	49.34
Main Lob (dBi)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
4.74	7.97	6.8	6.97
Side Lob			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-10.7	-16.9	-17.7	-17.9
Main Lobe Direction (deg)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
39	6.0	1.0	6
Angular Width (3 dB) (deg)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
59	73.3	88.4	84.1

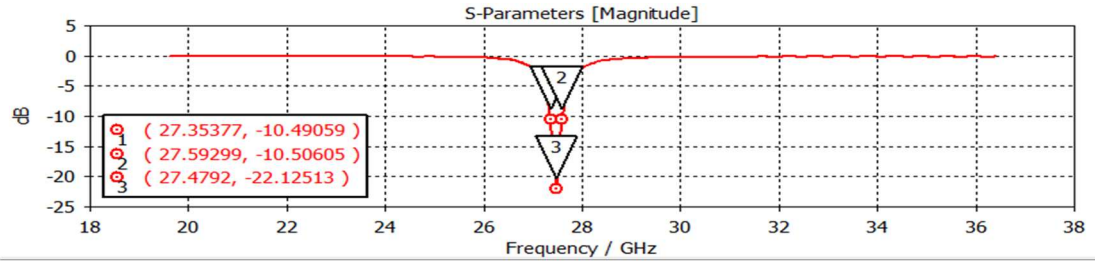
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen S11 parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.73, Şekil 5.74, Şekil 5.75 ve Şekil 5.76’da verilmiştir.



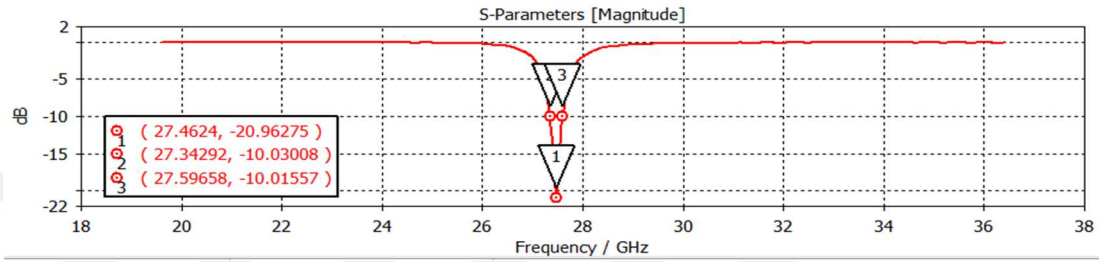
Şekil 5.73. 28 GHz için FR4 dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.74. 28 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



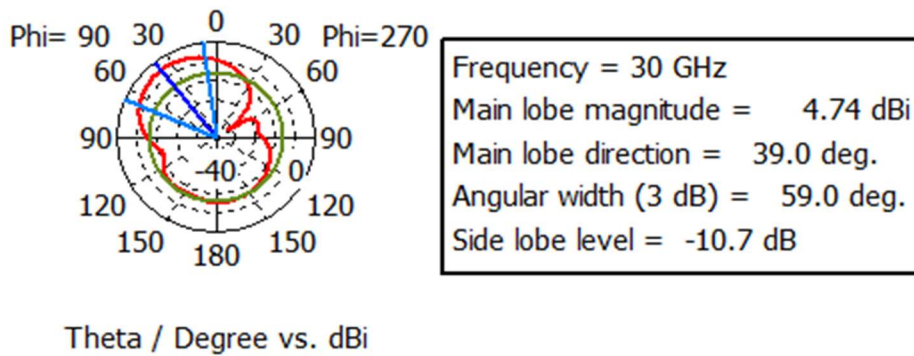
Şekil 5.75. 28 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.76. 28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

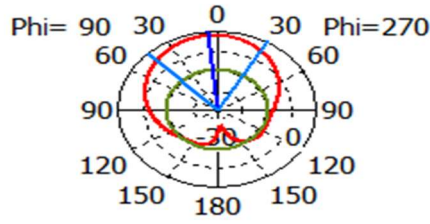
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.77, Şekil 5.78, Şekil 5.79 ve Şekil 5.80’da verilmiştir.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Şekil 5.77. 28 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

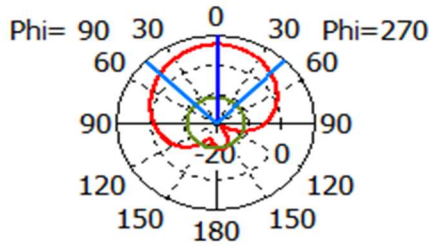


Frequency = 28 GHz
Main lobe magnitude = 7.97 dBi
Main lobe direction = 6.0 deg.
Angular width (3 dB) = 73.3 deg.
Side lobe level = -16.9 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.78. 28 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

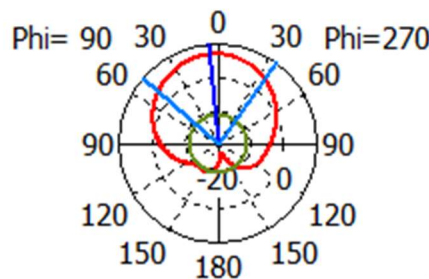


Frequency = 28 GHz
Main lobe magnitude = 6.8 dBi
Main lobe direction = 1.0 deg.
Angular width (3 dB) = 88.4 deg.
Side lobe level = -17.7 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.79. 28 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

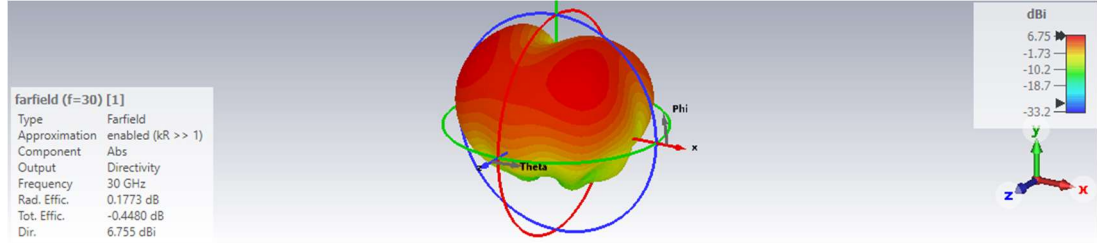


Frequency = 28 GHz
Main lobe magnitude = 6.97 dBi
Main lobe direction = 6.0 deg.
Angular width (3 dB) = 84.1 deg.
Side lobe level = -17.9 dB

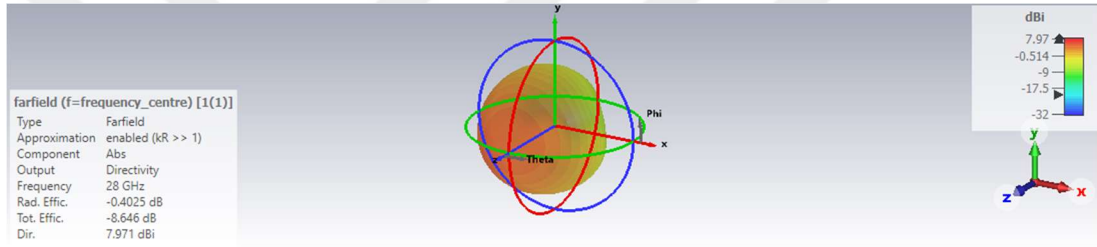
Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.80. 28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

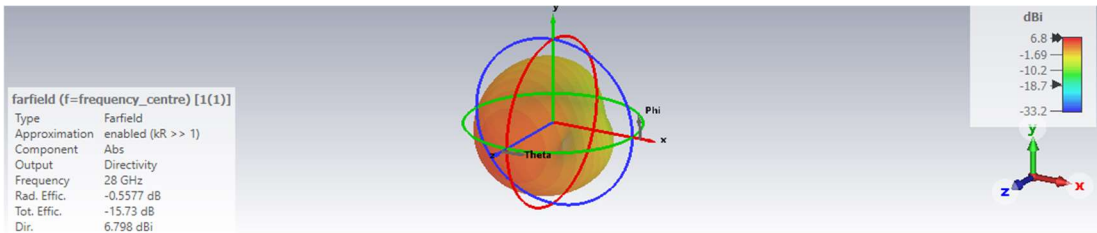
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait 3D simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.81, Şekil 5.82, Şekil 5.83 ve Şekil 5.84’de verilmiştir.



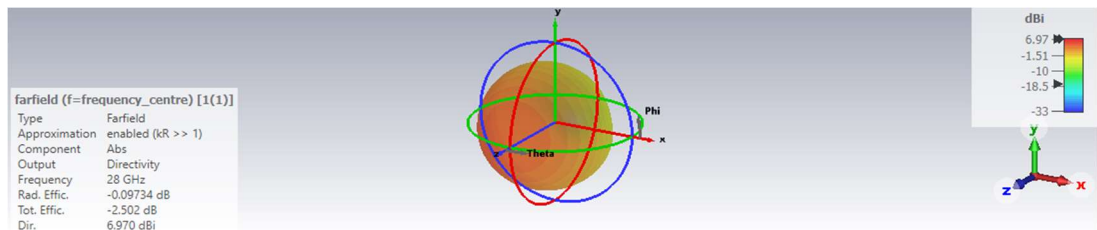
Şekil 5.81. 28 GHz için FR4 dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.82. 28 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.83. 28 GHz, Rogger 4003C dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.84. 28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.

5.4.2. Daire yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları

28 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan daire geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin boyutları Çizelge 5.15’de verilmiştir.

Çizelge 5.15. 28 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip anten boyutları.

Yama Çapı			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
2.96	4.12	3.30	3.30
Alttaş Kalınlığı			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0.101	0.127	0.101	0.101
Feed Genişliği			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0.091	0.108	0.097	0.168

28 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan daire geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin simülasyon sonuçları Çizelge 5.16’da verilmiştir.

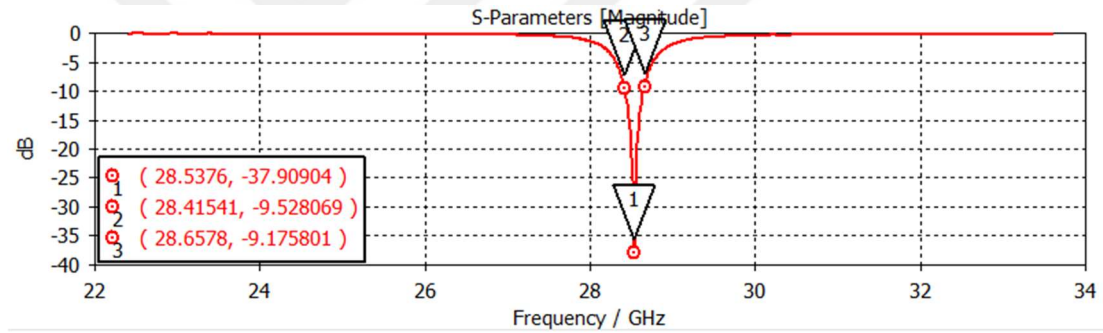
Çizelge 5.16. 28 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

Merkez Frekansı (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
28.5	28.6	28.41	28.51
S11 Parametresi (dB)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-37.9	-42.11	-25.09	-23.43
Bant Genişliği (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0.24	0.4	0.23	0.2
VSWR			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
1.38	1.09	1.13	1.15
Ref. Imp			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
47.53	47.75	47.61	47.01
Main Lobe (dBi)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
6.72	8.08	7.09	7.13
Side Lob			

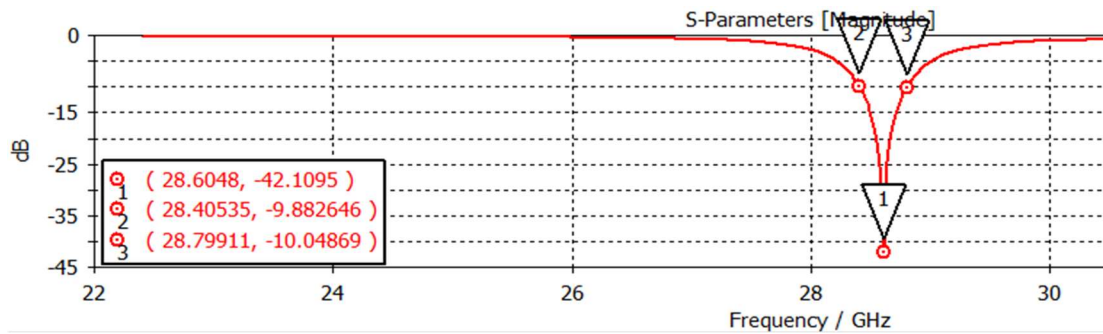
Çizelge 5.16 (devam). 28 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-16.4	-13.9	-17.9	-17.5
Main Lobe Direction (deg)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
4.0	11.0	6.0	7.0
Angular Width (3 dB) (deg)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
89.7	71.6	84.4	83.7

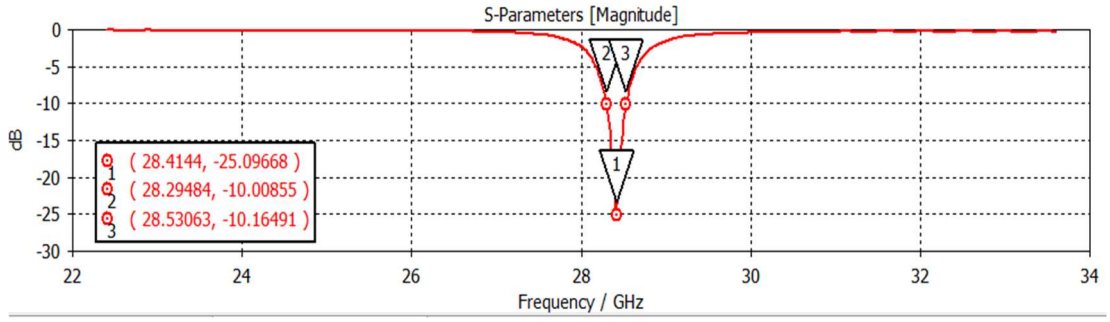
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen S11 parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.85, Şekil 5.86, Şekil 5.87 ve Şekil 5.88’de verilmiştir.



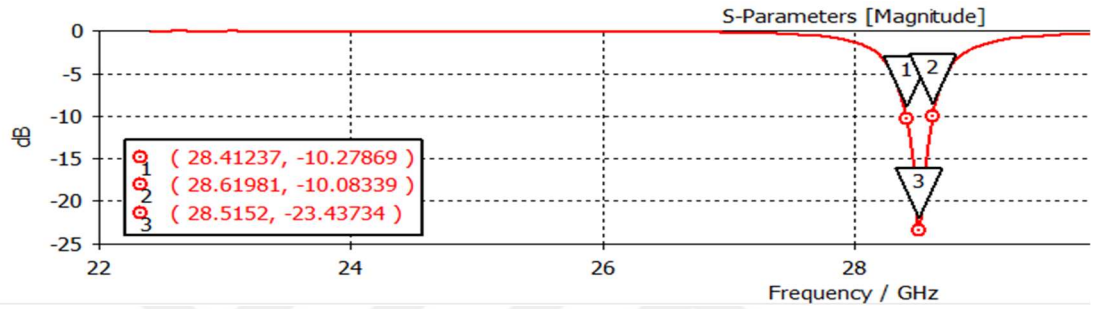
Şekil 5.85. 28 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.86. 28 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



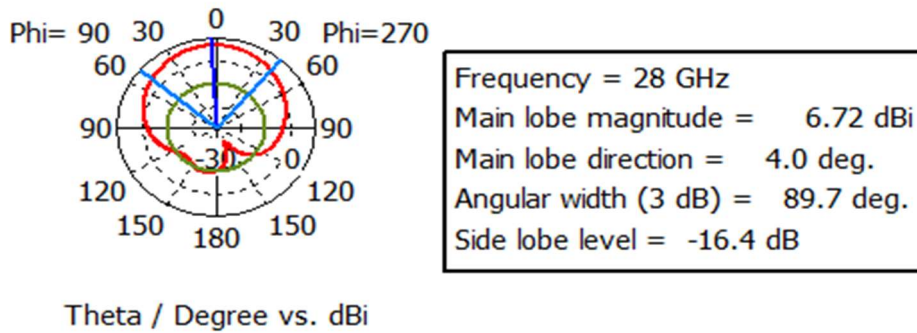
Şekil 5.87. 28 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaışta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.88. 28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaışta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

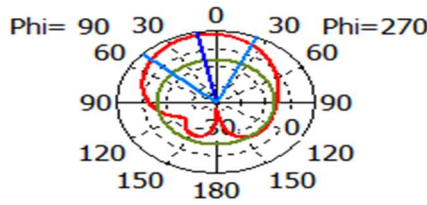
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.89, Şekil 5.90, Şekil 5.91 ve Şekil 5.92’de verilmiştir.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Şekil 5.89. 28 GHz için FR4 dielektrik altaışta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiğı simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

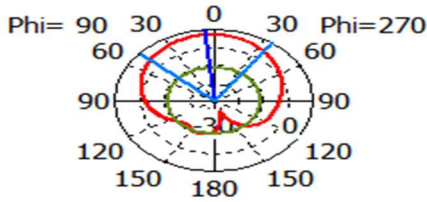


Frequency = 28 GHz
Main lobe magnitude = 8.08 dBi
Main lobe direction = 11.0 deg.
Angular width (3 dB) = 71.6 deg.
Side lobe level = -13.9 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.90. 28 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

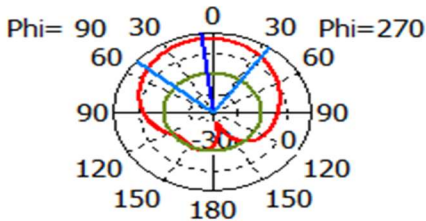


Frequency = 28 GHz
Main lobe magnitude = 7.09 dBi
Main lobe direction = 6.0 deg.
Angular width (3 dB) = 84.4 deg.
Side lobe level = -17.9 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.91. 28 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

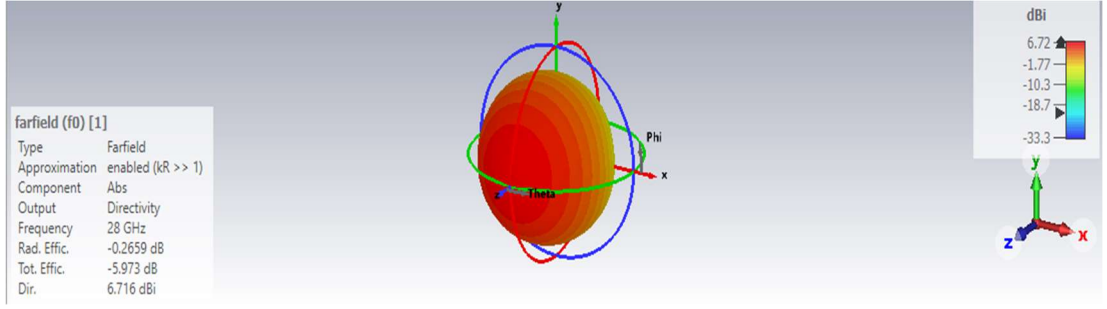


Frequency = 28 GHz
Main lobe magnitude = 7.13 dBi
Main lobe direction = 7.0 deg.
Angular width (3 dB) = 83.7 deg.
Side lobe level = -17.5 dB

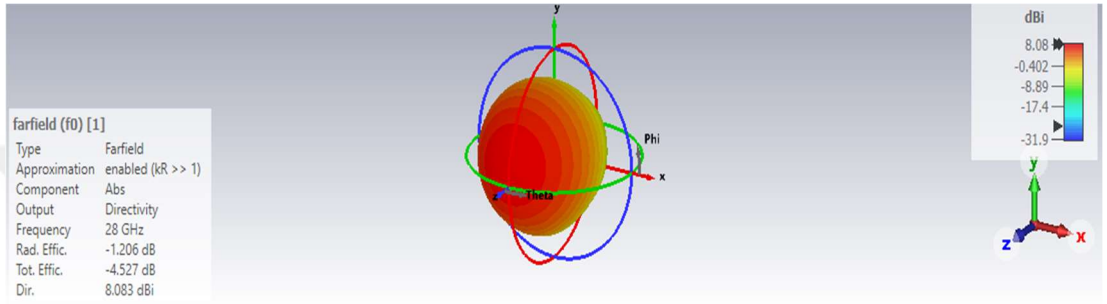
Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.92. 28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

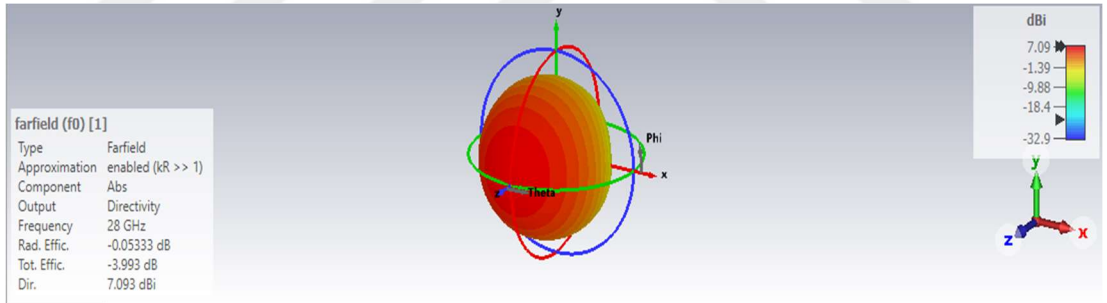
FR4, Rogers 5880, Rogers 4003C ve Rogers RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait 3D simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.93, Şekil 5.94, Şekil 5.95 ve Şekil 5.96'de verilmiştir.



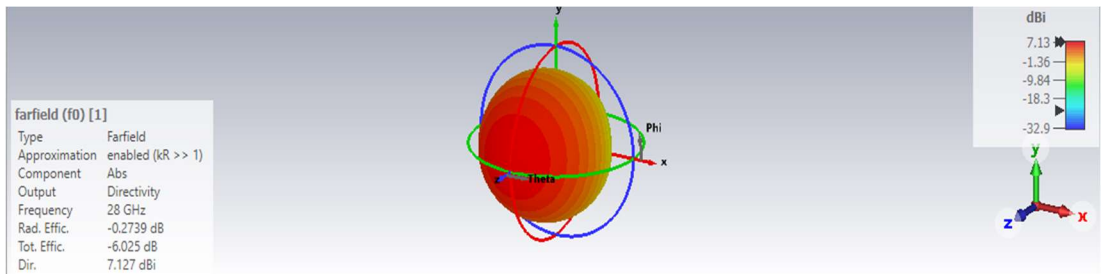
Şekil 5.93. 28 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.94. 28 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.95. 28 GHz, Rogger 4003C dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.96. 28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.

5.4.3. Üçgen yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları

28 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin boyutları Çizelge 5.17’de verilmiştir.

Çizelge 5.17. 28GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip anten boyutları.

Yama Genişliği			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
3.62	5.1	4.11	4.05
Yama 1. Uzunluk			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
2.58	3.60	2.91	2.87
Yama 2. Uzunluk			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
2.58	3.60	2.91	2.87
Alttaş Kalınlığı			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0.101	0.101	0.101	0.101

28 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin simülasyon sonuçları Çizelge 5.18’ de verilmiştir.

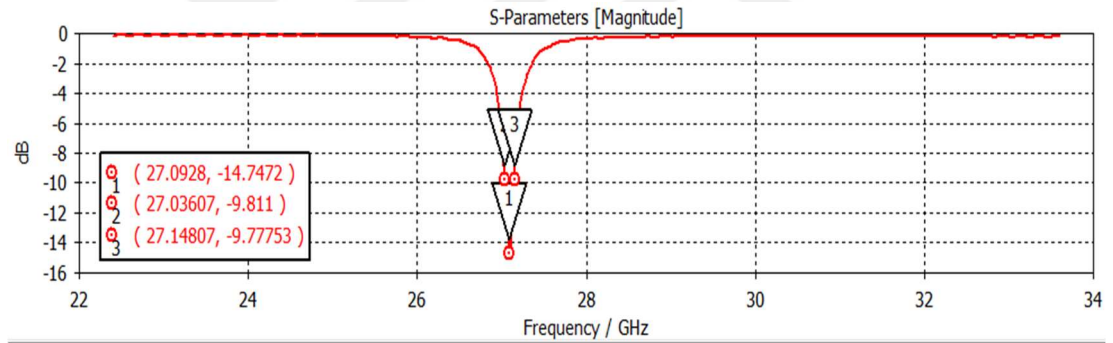
Çizelge 5.18. 28 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

Merkez Frekansı (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
27.01	26.89	26.67	27.42
S11 Parametresi (dB)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-14.74	-16.13	-18.89	-18.02
Bant Genişliği (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0.1	0.13	0.12	0.12
VSWR			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
1.53	1.43	1.32	1.28
Ref. Imp			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
50	50	50	50
Main Lob (dBi)			

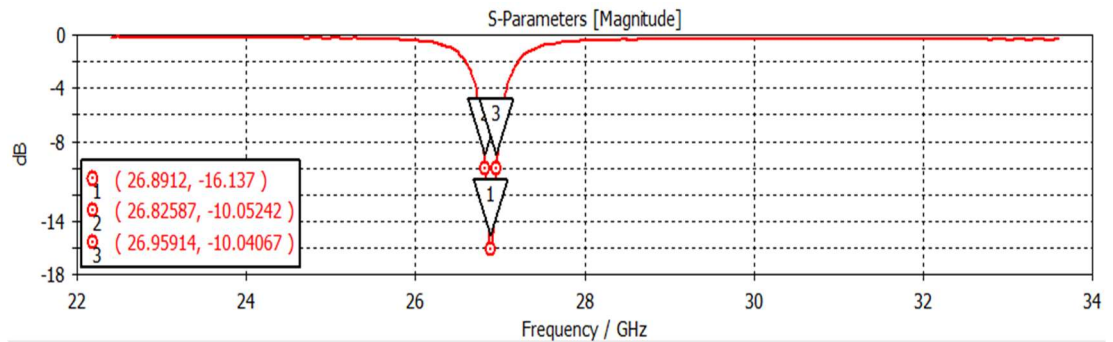
Çizelge 5.18 (devam). 28 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
6.2	6.89	6.45	6.42
Side Lob			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-13.3	-19.1	-13.7	Ulaşılamadı
Main Lobe Direction (deg)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
6.0	5	6.0	4.0
Angular Width (3 dB) (deg)			
103.8	91.7	-13.7	102.5

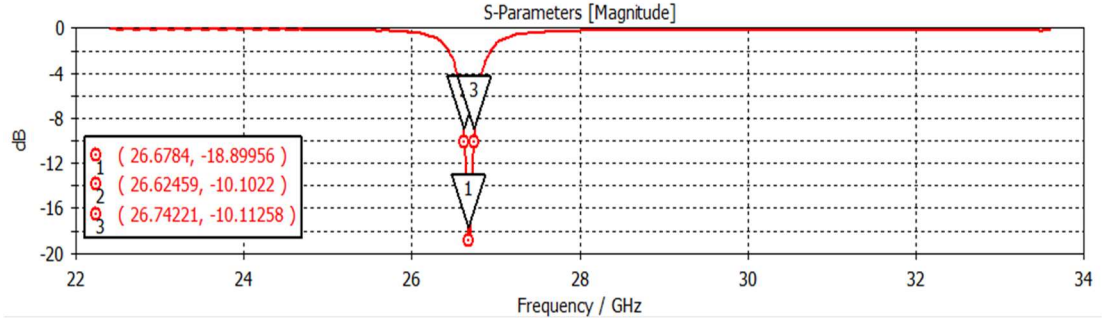
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen S11 parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.97, Şekil 5.98, Şekil 5.99 ve Şekil 5.100’da verilmiştir.



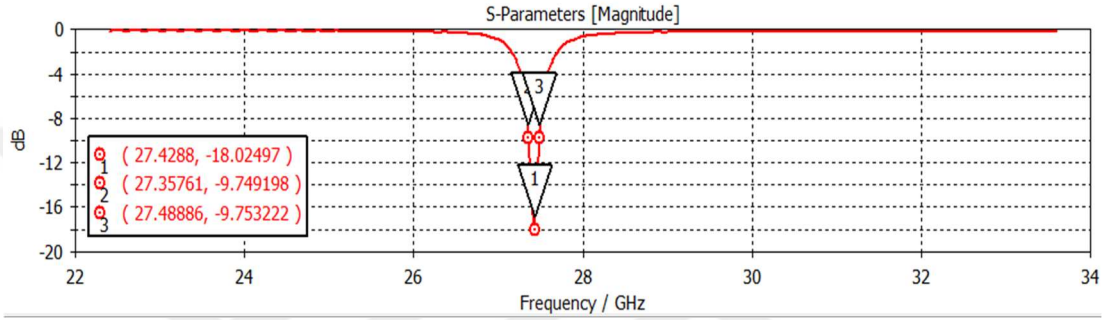
Şekil 5.97. 28 GHz için FR4 dielektrik altaışta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.98. 28 GHz için Rogger 5800 dielektrik altaışta üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



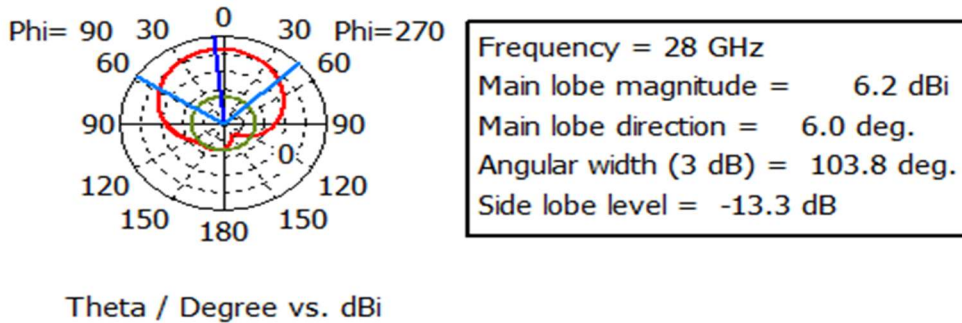
Şekil 5.99. 28 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.100. 28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

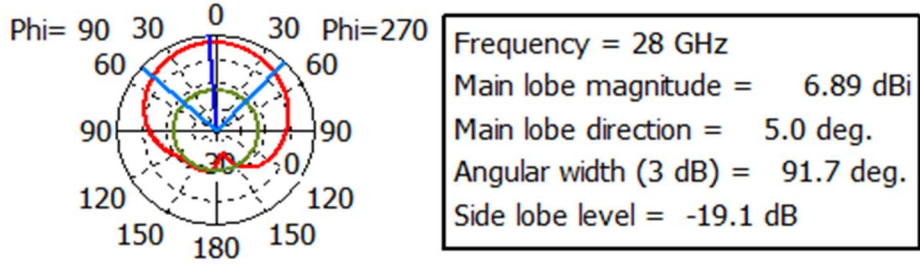
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.101, Şekil 5.1002, Şekil 5.103 ve Şekil 5.104’de verilmiştir.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Şekil 5.101. 28 GHz için FR4 dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

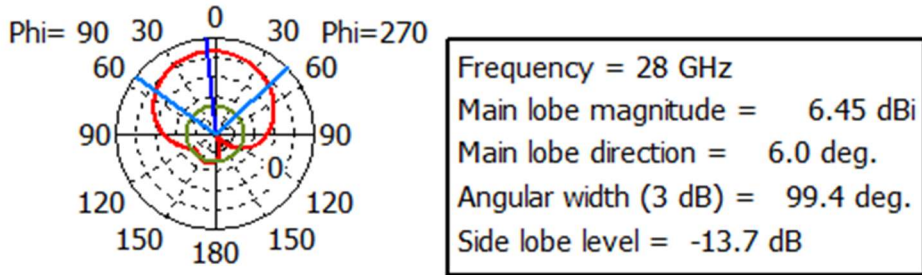
Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.102. 28 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaışta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiğı simölasyon sonucu.

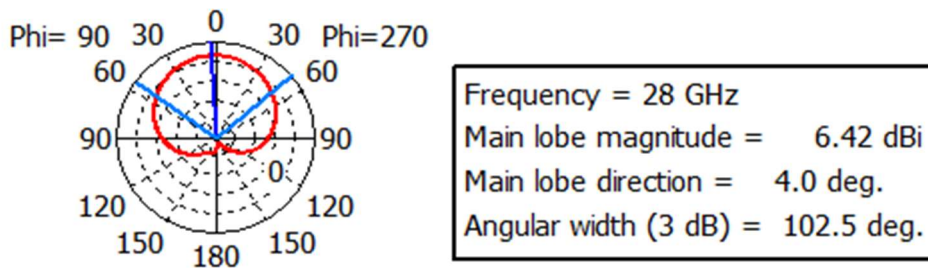
Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.103. 28 GHz için Rogger 4003C dielektrik altaışta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiğı simölasyon sonucu.

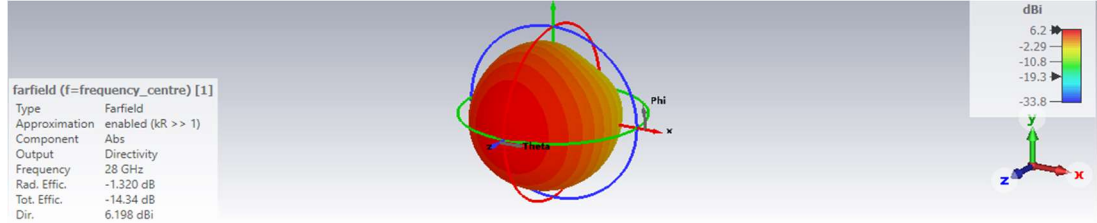
Farfield Directivity Abs (Phi=90)



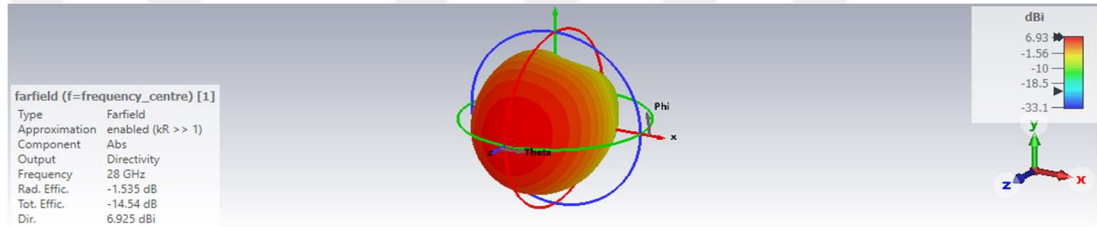
Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.104. 28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaışta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiğı simölasyon sonucu.

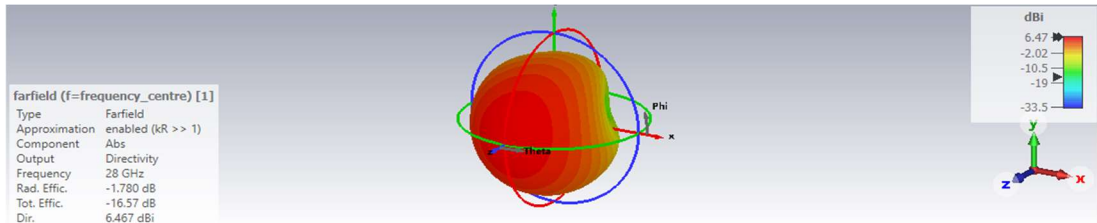
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait 3D simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.105, Şekil 5.106, Şekil 5.107 ve Şekil 5.108’de verilmiştir.



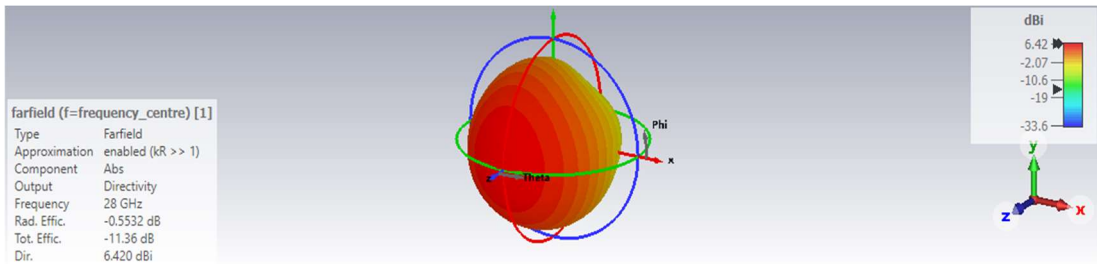
Şekil 5.105. 28GHz için FR4 dielektrik altaştta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.106. 28 GHz için Rogger 5880 dielektrik altaştta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.107. 28GHz için Rogger 4003C dielektrik altaştta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.108. 28 GHz için Rogger RO4350B dielektrik altaştta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.

5.4. 38 GHz Frekansındaki Antenlerin Boyutları ve Simülasyon Sonuçları

Kare, daire ve üçgen geometrik şekillere sahip antenler Rogger5880, FR4, Rogger4003C ve Rogger 4350B dielektrik alttaşları kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan antenlerde performans parametrelerinin karşılaştırılmanın uygun olması açısından dielektrik alttaş kalınlıklarının aynı veya çok yakın değerlere sahip olmasına özen gösterilmiştir.

5.4.1. Kare yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları

38 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan kare geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin boyutları Çizelge 5.19’da verilmiştir.

Çizelge 5.19. 38 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip anten Boyutları.

Yama Genişliği			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
2,41	3,11	2,66	2,63
Yama Uzunluğu			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
1,86	2,6	2,11	2,08
Alttaş Kalınlığı			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0,101	0,101	0,101	0,101
Feed Genişliği			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0,144	0,106	0,127	0,148

38 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan kare geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin simülasyon sonuçları Çizelge 5.20’de verilmiştir.

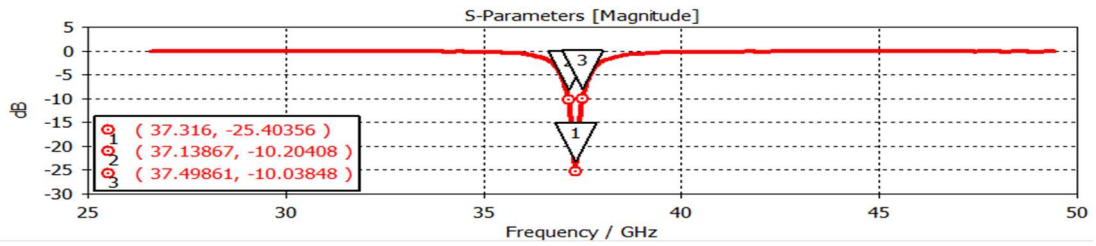
Çizelge 5.20. 38 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

Merkez Frekansı (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
37,31	37,49	37,38	37,36
S11 Parametresi (dB)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-25,4	-33,76	-47,48	-23,54
Bant Genişliği (GHz)			

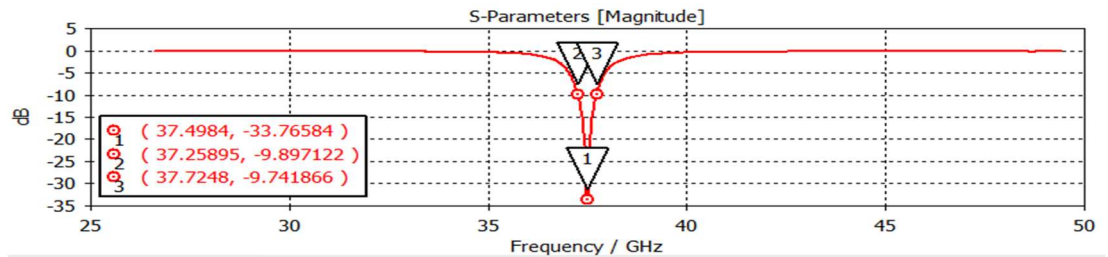
Çizelge 5.20 (devam). 38 GHz çalışma frekansında çalışan kare geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0,36	0,49	0,4	0,37
VSWR			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
1,11	1,04	1,02	1,2
Reflektans Impedans			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
49,32	49,74	49,49	49,42
Main Lob (dBi)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
6,11	8,24	7,37	6,53
Side Lob			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-15,8	-14,7	-6,7	-14,3
Main Lobe Direction (deg)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0	9	9	21

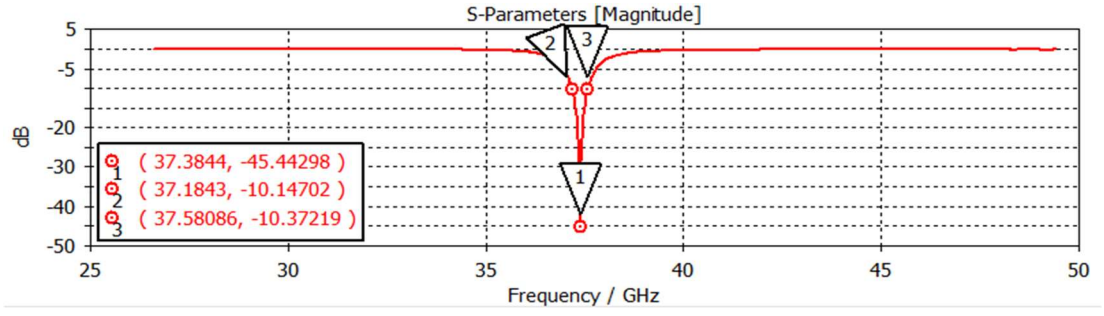
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen S11 parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.109, Şekil 5. 110, Şekil 5.111 ve Şekil 5.112’de verilmiştir.



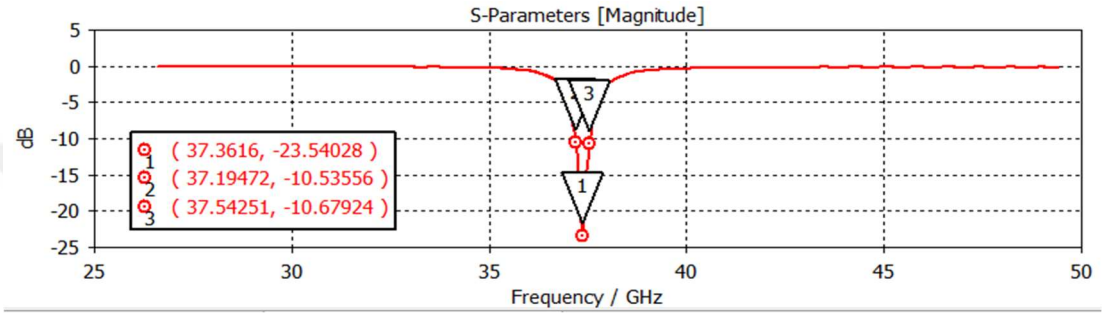
Şekil 5.109. 38 GHz için FR4 dielektrik alttaştaki kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.110. 38 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaştaki kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



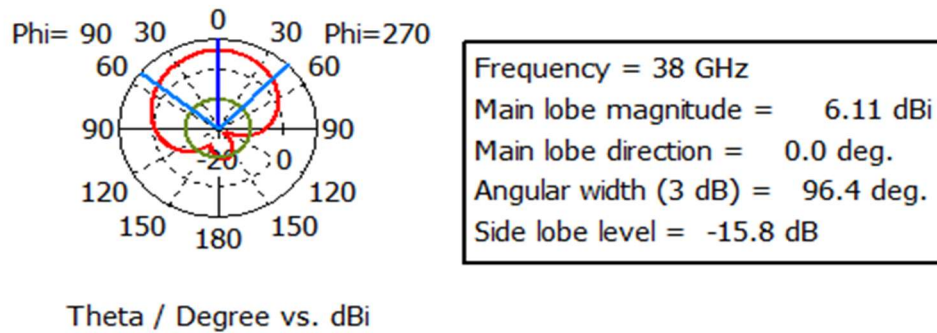
Şekil 5.111. 38 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.112. 38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

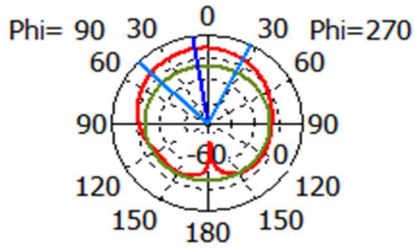
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.113, Şekil 5.114, Şekil 5.115 ve Şekil 5.116’de verilmiştir.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Şekil 5.113. 38 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

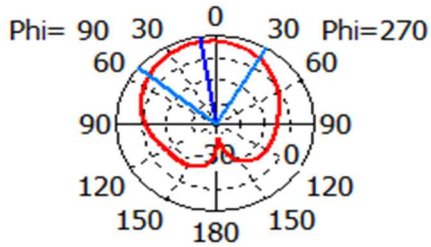


Frequency = 38 GHz
Main lobe magnitude = 8.24 dBi
Main lobe direction = 9.0 deg.
Angular width (3 dB) = 72.1 deg.
Side lobe level = -14.7 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.114. 38 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşı kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

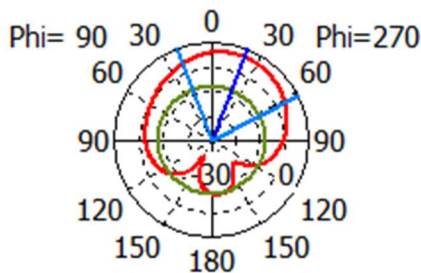


Frequency = 38 GHz
Main lobe magnitude = 7.37 dBi
Main lobe direction = 9.0 deg.
Angular width (3 dB) = 80.8 deg.

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.115. 38 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaş kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

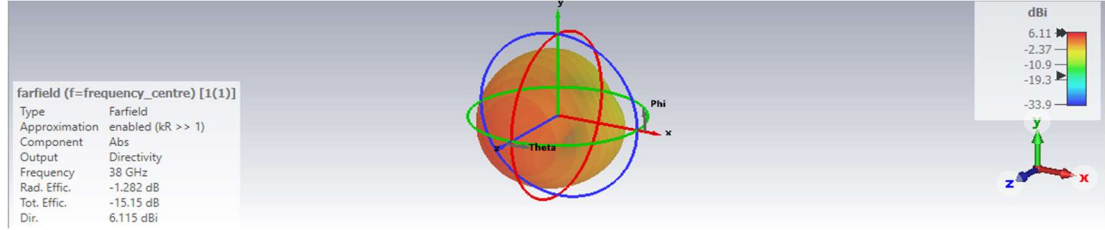


Frequency = 38 GHz
Main lobe magnitude = 6.53 dBi
Main lobe direction = 21.0 deg.
Angular width (3 dB) = 83.7 deg.
Side lobe level = -14.3 dB

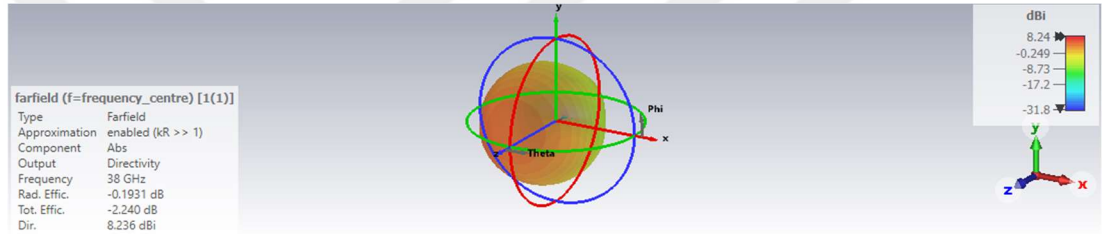
Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.116. 38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaş kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

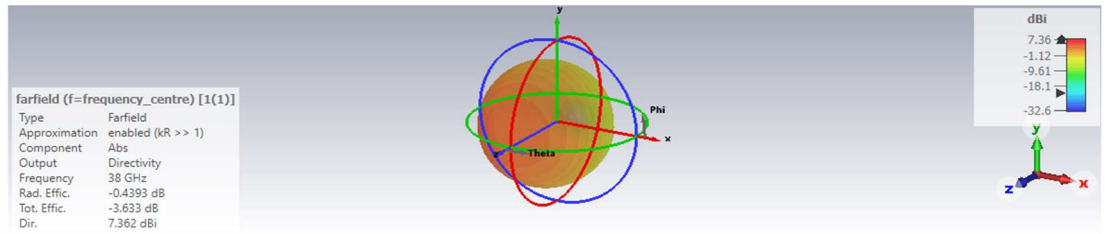
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait 3D simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.117, Şekil 5.118, Şekil 5.119 ve Şekil 5.120’de verilmiştir.



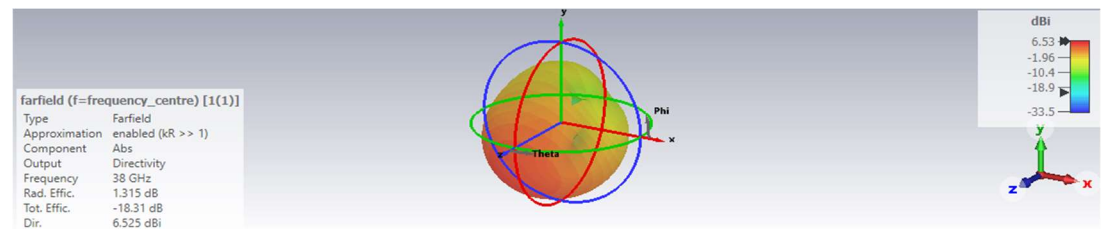
Şekil 5.117. 38 GHz, FR4 dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.118. 38 GHz, Rogger 5880 dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.119. 38 GHz, Rogger 4003C dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.120. 38 GHz, Rogger RO4350B dielektrik alttaşa kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.

5.4.2. Daire yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları

38 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan daire geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin boyutları Çizelge 5.21’de verilmiştir.

Çizelge 5.21. 38 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip anten boyutları.

Yama Çapı			
FR4	Rogger r5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
2,18	3.03	2.47	2,44
Alttaş Kalınlığı			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0,025	0.127	0.101	0,101
Feed Genişliği			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0,10	0.08	0.98	0,66

38 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan daire geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin simülasyon sonuçları Çizelge 5.22’de verilmiştir.

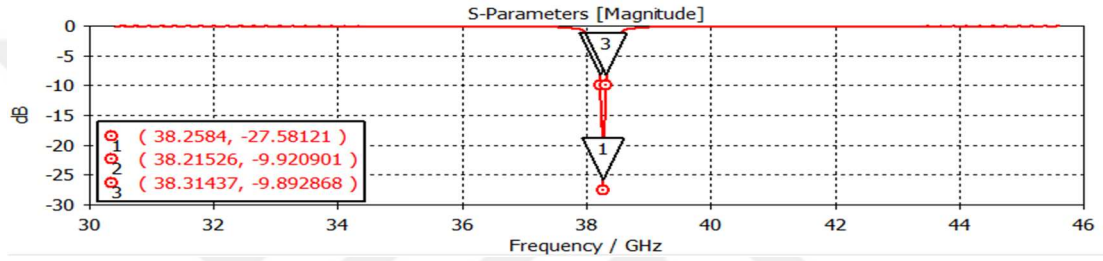
Çizelge 5.22. 38 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

Merkez Frekansı (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
38,25	38,5	38.92	37,46
S11 Parametresi (dB)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-27,58	-41,14	-46,63	-41,68
Bant Genişliği (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0,17	0,63734	0,4617	0,47
VSWR			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
2,24	1.33	1.89	1.27
Reflektans Impedans			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
43,75	46,99	47,85	46,86
Main Lobe (dBi)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
6.85	8.1	7.21	6,7
Side Lob			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B

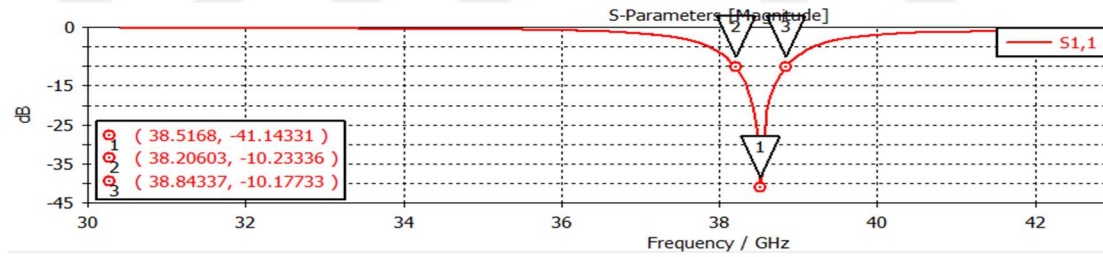
Çizelge 5.22 (devam). 38 GHz çalışma frekansında çalışan daire geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

-16.1	-13.5	-12.7	13.1
Main Lobe Direction (deg)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
4	12.0	80.0	4

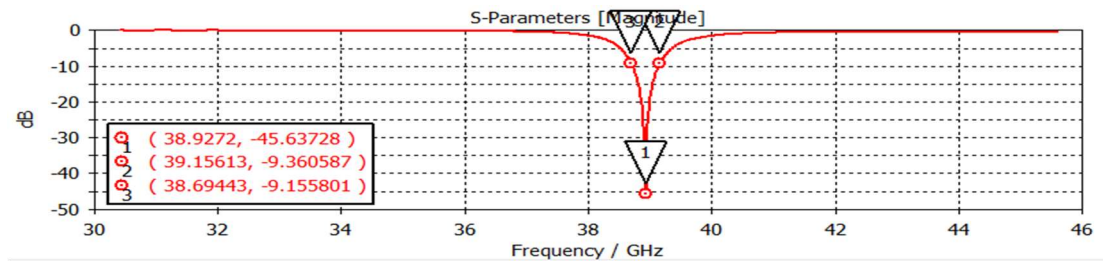
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen S11 parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.121, Şekil 5.122, Şekil 5.123. ve Şekil 5.124’de verilmiştir.



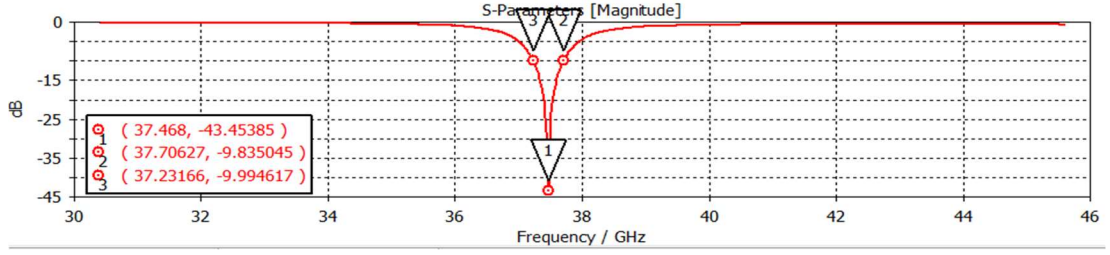
Şekil 5.121. 38 GHz, FR4 dielektrik alttaşa daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.122. 38 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşa daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



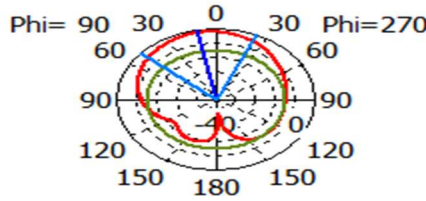
Şekil 5.123. 38 GHz, Rogger 4003C dielektrik alttaşa daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.124. 38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.125, Şekil 5.126, Şekil 5.127 ve Şekil 5.128’de verilmiştir.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

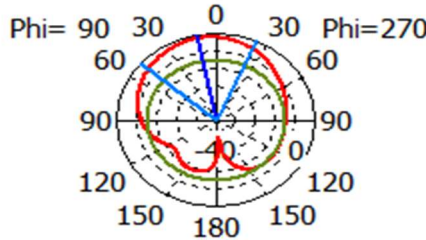


Theta / Degree vs. dBi

Frequency = 38 GHz
Main lobe magnitude = 8.1 dBi
Main lobe direction = 12.0 deg.
Angular width (3 dB) = 72.3 deg.
Side lobe level = -13.5 dB

Şekil 5.125. 38 GHz FR4 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

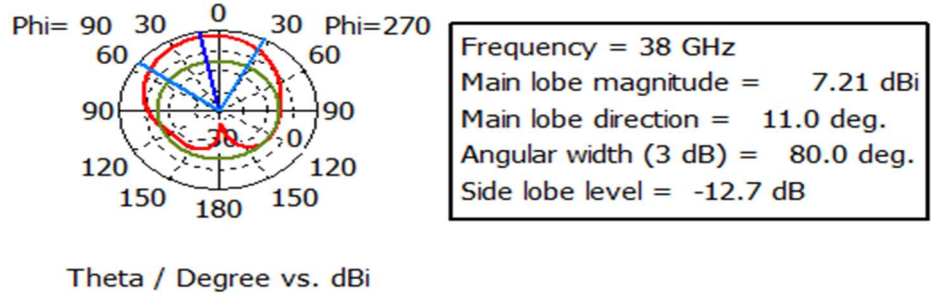


Theta / Degree vs. dBi

Frequency = 38 GHz
Main lobe magnitude = 8.1 dBi
Main lobe direction = 12.0 deg.
Angular width (3 dB) = 72.3 deg.
Side lobe level = -13.5 dB

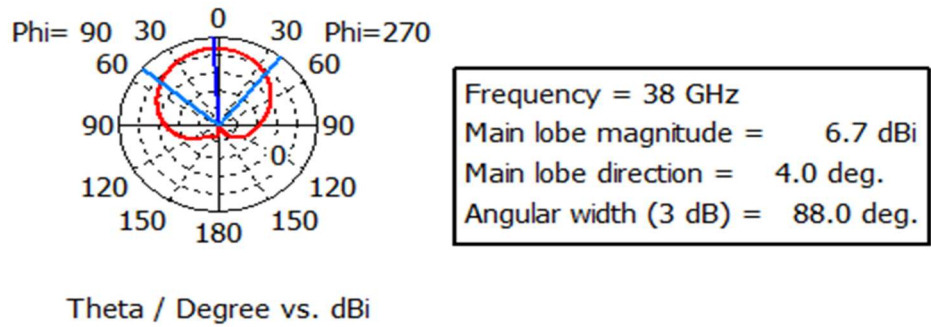
Şekil 5.126. 38 GHz için Rogger5880 dielektrik alttaşıta kare geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)



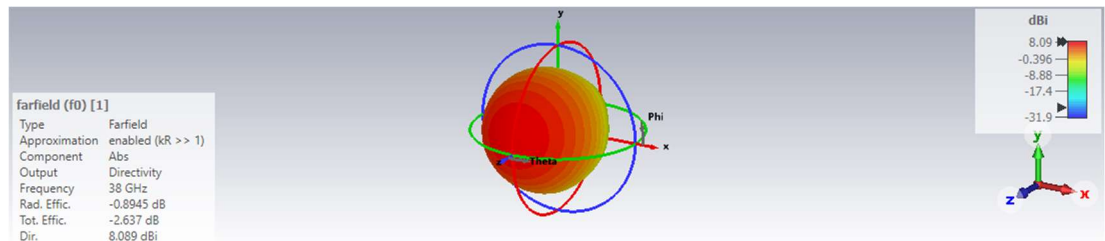
Şekil 5.127. 38 GHz için Rogger4003C dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

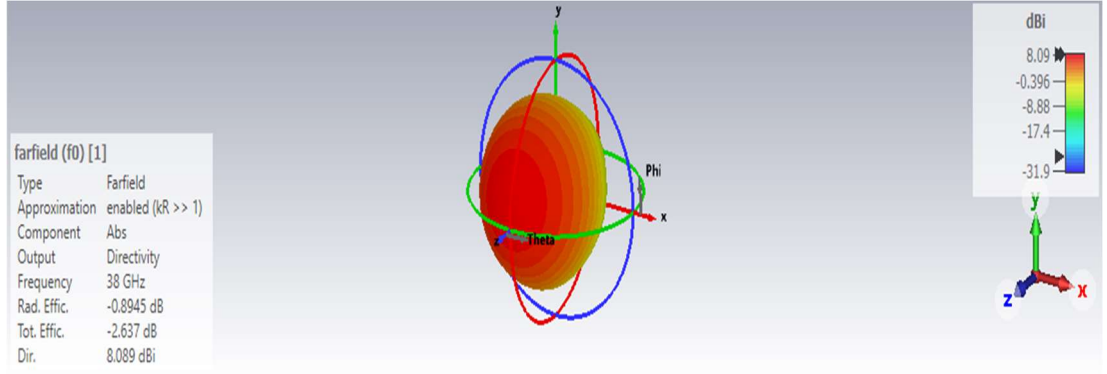


Şekil 5.128. 38 GHz, Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

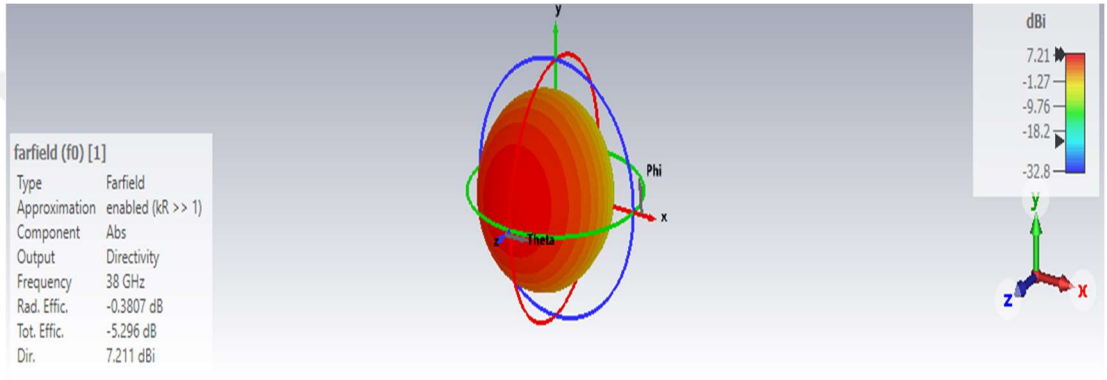
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait 3D simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.129, Şekil 5.130, Şekil 5.131 ve Şekil 5.132’de verilmiştir.



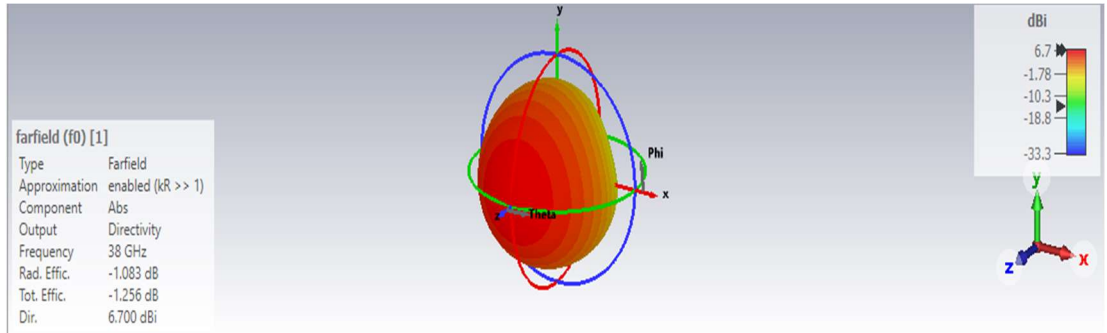
Şekil 5.129. 38 GHz, FR4 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.130. 38 GHz, Rogger 5880 dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.131. 38 GHz, Rogger 4003C dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.132. 38 GHz, Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta daire geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.

5.4.3. Üçgen yamaya sahip antenlerin boyutları ve simülasyon sonuçları

38 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin boyutları Çizelge 5.23’de verilmiştir.

Çizelge 5.23. 38 GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip anten boyutları.

Yama Genişliği			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
2.67	3.75	3.03	2.99
Yama 1. Uzunluk			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
1.89	2.65	2.14	2.11
Yama 2. Uzunluk			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
1.89	2.65	2.14	2.11
Alttaş Kalınlığı			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0.035	0.035	0.035	0.035

38 GHz çalışma frekansında çalışması için tasarlanan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit yama antenin simülasyon sonuçları Çizelge 5.24’de verilmiştir.

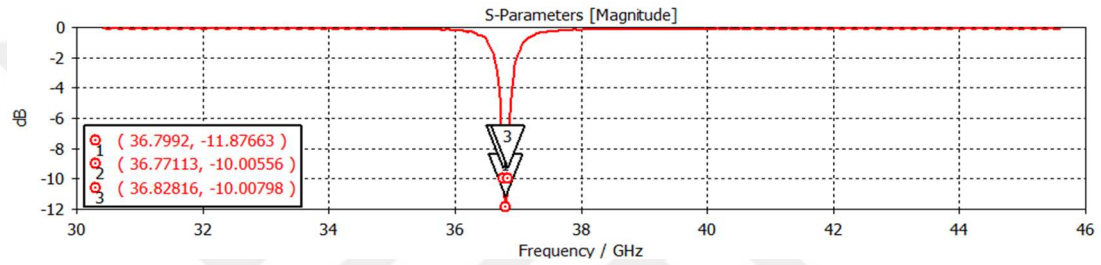
Çizelge 5.24. 38GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

Merkez Frekansı (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
36,79	36,89	36,2	37,84
S11 Parametresi (dB)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
-11.87	-15,03	-16,73	-16,19
Bant Genişliği (GHz)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
0.05	0.1	0.1	0.1
VSWR			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
1.74	1.46	1.46	1.36
Reflektans Impedans			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
50	50	50	50
Main Lob (dBi)			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
6.14	7.19	6.51	6.29
Side Lob			
FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
ulaşılamadı	ulaşılamadı	-13,9	ulaşılamadı
Main Lobe Direction (deg)			

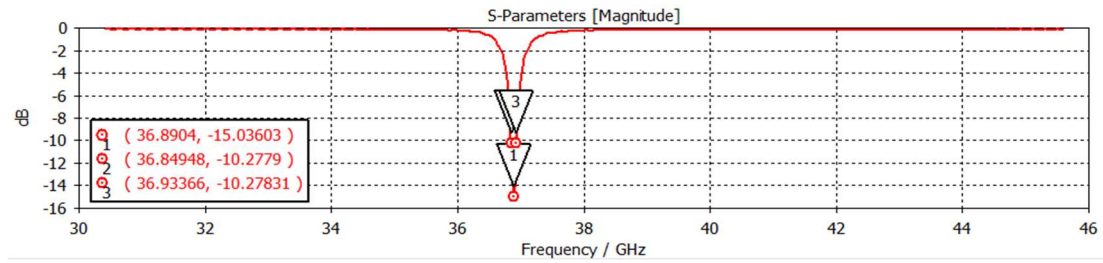
Çizelge 5.24 (devam). 38GHz çalışma frekansında çalışan üçgen geometrik şekle sahip mikroşerit anten simülasyon sonuçları.

FR4	Rogger 5880	Rogger 4003C	Rogger RO4350B
5.0	1.0	3.0	1.0
Angular Width (3 dB) (deg)			
104.7	92.4	100	105

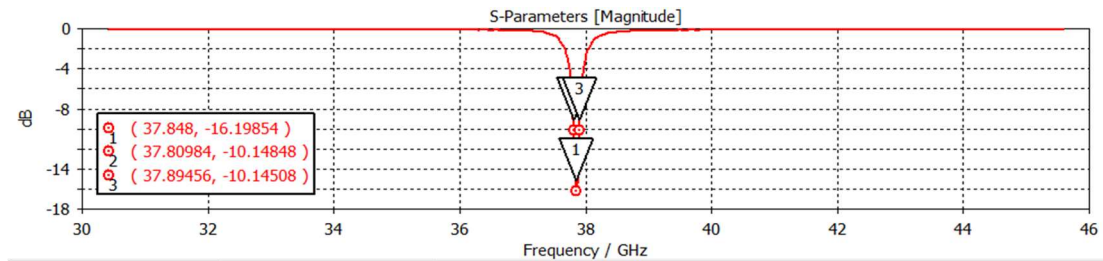
FR4, Rogers 5880, Rogers 4003C ve Rogers 4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen S11 parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.133, Şekil 5.134, Şekil 5.135 ve Şekil 5.136.'da verilmiştir.



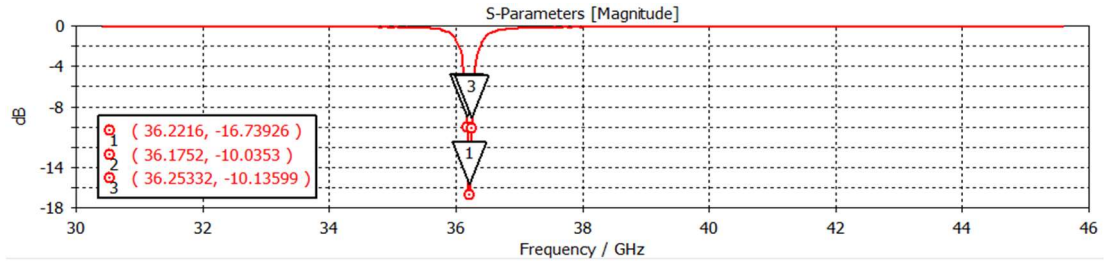
Şekil 5.133. 38 GHz için FR4 dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.134. 38 GHz için Rogger5880 dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



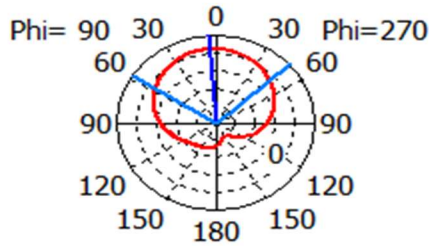
Şekil 5.135. 38 GHz için Rogger4003C dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.



Şekil 5.136. 38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin S11 parametresi simülasyon sonucu.

FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.137, Şekil 5.138 Şekil 5.139 ve Şekil 5.140’da verilmiştir.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

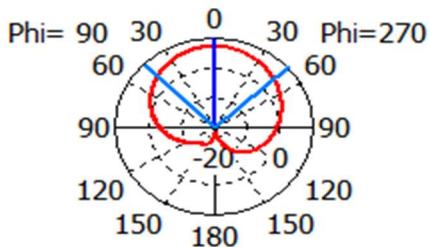


Frequency = 38 GHz
Main lobe magnitude = 6.14 dBi
Main lobe direction = 5.0 deg.
Angular width (3 dB) = 104.7 deg.

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.137. 38 GHz için FR4 dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

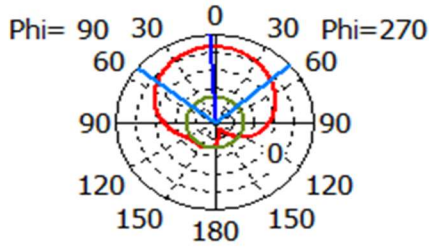


Frequency = 38 GHz
Main lobe magnitude = 7.19 dBi
Main lobe direction = 1.0 deg.
Angular width (3 dB) = 92.4 deg.

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.138. 38 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

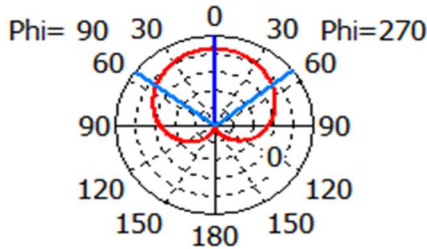


Frequency = 38 GHz
Main lobe magnitude = 6.51 dBi
Main lobe direction = 3.0 deg.
Angular width (3 dB) = 100.0 deg.
Side lobe level = -13.9 dB

Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.139. 38 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

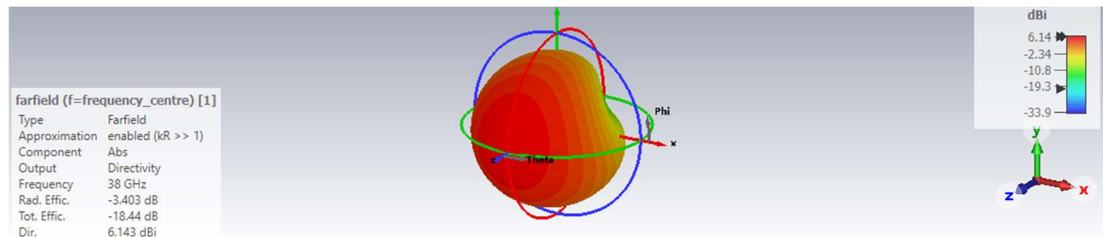


Frequency = 38 GHz
Main lobe magnitude = 6.29 dBi
Main lobe direction = 1.0 deg.
Angular width (3 dB) = 105.0 deg.

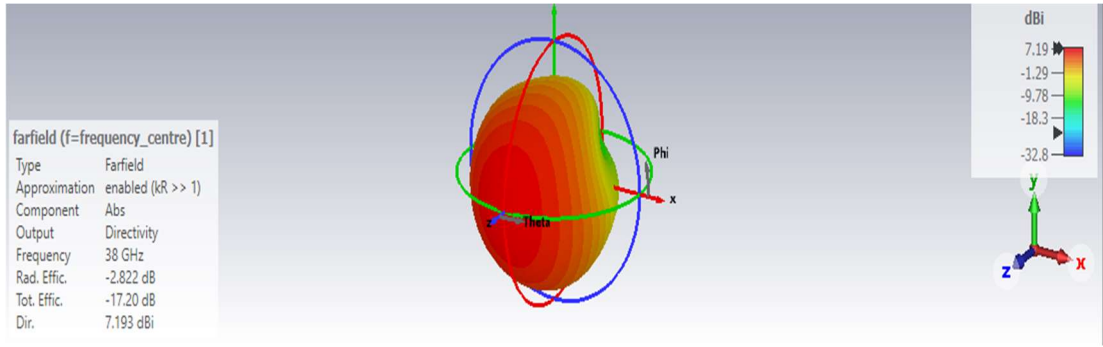
Theta / Degree vs. dBi

Şekil 5.140. 38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity grafiği simülasyon sonucu.

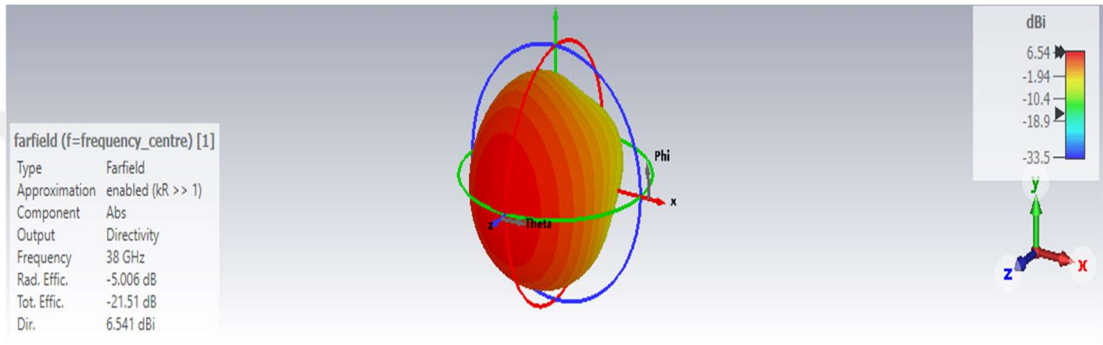
FR4, Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B dielektrik altlıkları kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenlerin CST programı ile elde edilen Farfield Directivity parametresine ait 3D simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 5.141, Şekil 5.142, Şekil 5.143 ve Şekil 5.144’de verilmiştir.



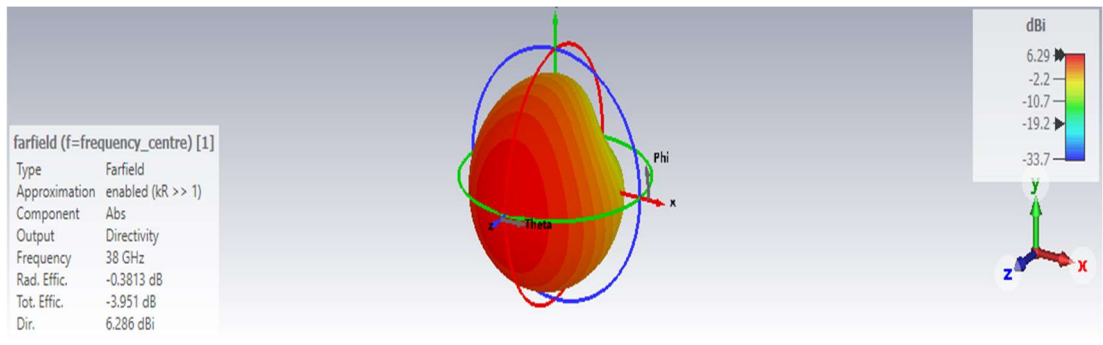
Şekil 5.141. 38 GHz için FR4 dielektrik alttaşıta üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.142. 38 GHz için Rogger 5880 dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.143. 38 GHz için Rogger 4003C dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.



Şekil 5.144. 38 GHz için Rogger RO4350B dielektrik alttaşa üçgen geometrili mikroşerit antenin Farfield Directivity 3D simülasyon sonucu.

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

6.1. 5.7 GHz Çalışma Frekansına Sahip Antenlerin Performans Karşılaştırması

5.7 GHz çalışma frekansı için simülasyonu yapılan mikroşerit antenlerin performans karşılaştırması Çizelge 6.1’de sunulmuştur.

Çizelge 6.1. 5.7 GHz çalışma frekansında tasarlanan antenlerin performans karşılaştırması.

Anten Tipi	Malzeme	S11 (dB)	Kazanç (dBi)	Bant Genişliği (GHz)	Yönlülük (3 dB Açısı)	Avantajları	Dezavantajları	Olası Kullanım Alanları
Kare	FR4	- 48.43	6.71	0.25	95.9°	Geniş bant, düşük geri yansımaya	Düşük yönlülük	Geniş kapsama isteyen düşük maliyetli sistemler
Kare	Rogger 5880	- 30.05	7.32	0.02	96.4°	Yüksek kazanç, düşük VSWR	Çok dar bant	Uydu haberleşme, sabit frekanslı radar
Kare	Rogger 4003C	- 13.10	7.18	0.04	84.9°	Dengeli yönlülük	Geri yansımaya yüksek	Uygun fiyatlı kablosuz sistemler
Kare	Rogger RO4350B	- 24.14	7.24	0.15	84.6°	Genişletilmiş bant, yönlülük iyi	Geri yansımaya orta	5G küçük hücre baz istasyonları
Daire	FR4	- 32.13	6.71	0.10	75.3°	İyi S11, geniş bant	Yönlülük sınırlı	RFID, geniş kapsamlı IoT ağları
Daire	Rogger 5880	- 29.23	8.03	0.04	71.4°	Yüksek kazanç ve yönlülük	Dar bant	Uydu ve yönlü RF sistemleri
Daire	Rogger 4003C	- 36.68	7.13	0.05	83.8°	Çok düşük geri yansımaya	Orta bant genişliği	Kablosuz sensör ağları
Daire	Rogger RO4350B	- 39.85	7.20	0.05	82.1°	Düşük geri yansımaya ve iyi yönlülük	Orta kazanç	WiFi, WLAN uygulamaları
Üçgen	FR4	- 13.42	6.18	0.02	104.2°	Kompakt yapı	Yüksek geri yansımaya, geniş açısı	Gömülü sistemler, kısa menzilli haberleşme
Üçgen	Rogger 5880	- 15.45	6.87	0.02	91.8°	Dengeli kazanç	Dar bant genişliği	Anten entegrasyonu kolay sistemler
Üçgen	Rogger 4003C	- 18.51	6.44	0.03	99.4°	Uygun S11 ve kazanç	Düşük yönlülük	Küçük cihazlar, portatif RF sistemler
Üçgen	Rogger RO4350B	- 18.32	6.42	0.04	102.4°	Orta kazanç, geniş açısı	Geri yansımaya orta	IoT uygulamaları, kısa menzilli radar

Kare geometrik şekle sahip anten tasarımları arasında FR4 alttaşı anten tasarımı bant genişliği ve S11 performans sonuçları ile tasarlanan diğer antenlerden daha iyi sonuç elde edilmiştir. Antenin kazanç performans sonuçları incelendiğinde en iyi performans sonuçlarına sahip antenin alttaşı Rogger 5880’dir. Yuvarlak geometrik şekle sahip antenler incelendiğinde Rogger RO4350B alttaşının S11 performans değeri diğer anten tasarımlarına göre daha yüksektir. Bant genişliği performans değerleri incelendiğinde en iyi performans değerini FR4 alttaşında görülmüştür. Kazanç

performans değerinde Rogger 5880 alttaşındaki görülmüştür. Üçgen geometrik şekle sahip anten tasarımları arasında S11 performans değeri en iyi olan tasarım Rogger 4003C alttaşı kullanılan tasarımdır. Bant genişliği performans kriteri değerleri arasında en iyi sonuç Rogger RO4350B alttaşına sahip anten tasarımında elde edilmiştir. Kazanç performans kriteri en iyi olan anten tasarımı Rogger 5880 alttaşına sahip anten tasarımıdır. Yapılan çalışmaya göre gönderilen güçte en az yansımaya sahip anten tasarımı için kare geometrik şekle sahip FR4 alttaşı anten önerilir. En yüksek kazanç değerine sahip anten tasarımı için yuvarlak geometrik şekle sahip Rogger5880 anten tasarımı önerilir. En geniş bant genişliğine sahip anten tasarımı için kare geometrik şekle sahip FR4 anten tasarımı önerilir. Literatür taramasında önerilen antenlere göre kare geometrik şekle sahip FR4 alttaşı ile tasarlanan antenin S11 performans değeri -48.43dB olan anten karşılaştırıldığında tasarlanan antenin önerilen antenlere göre iletilen sinyalin daha az yansıma yaptığı ve literatüre göre daha avantajlı olduğu sonucuna varılır. Rogger RO4350B alttaşına sahip yuvarlak geometrik şekle sahip antenin S11 performans değeri -39.85dB olan anten ile literatürde önerilen antenlerin S11 performans değerleri karşılaştırıldığında Rogger RO4350B alttaşına sahip yuvarlak geometrik şekle sahip antenin daha az yansıma yaptığı ve literatüre göre daha iyi sonuç elde edildiği görülür.

6.2. 7.1 GHz Çalışma Frekansına Sahip Antenlerin Performans Karşılaştırması

7.1 GHz çalışma frekansı için simülasyonu yapılan mikroşerit antenlerin performans karşılaştırması Çizelge 6.2’de sunulmuştur.

Çizelge 6.2. 7.1 GHz çalışma frekansında tasarlanan antenlerin performans karşılaştırması.

Anten Tipi	Malzeme	S11 (dB)	Kazanç (dBi)	Bant Genişliği (GHz)	Yönlülük (3 dB Açısı)	Avantajları	Dezavantajları	Olası Kullanım Alanları
Kare	FR4	-34.16	8.50	0.20	67.3°	Yüksek kazanç, geniş bant	Side lob seviyesi düşük değil	Geniş kapsama, kablosuz ağlar
Kare	Rogger 5880	-29.48	8.17	0.10	72.1°	Yüksek kazanç ve yönlülük	Bant genişliği orta düzeyde	Radar sistemleri, IoT
Kare	Rogger 4003C	-37.11	7.34	0.06	81.7°	Çok iyi S11	Dar bant	Yüksek hassasiyetli sistemler
Kare	Rogger RO4350B	-29.64	7.22	0.05	82.9°	Düşük yansıma, iyi yönlülük	En dar bant	5G altyapıları
Daire	FR4	-34.11	6.64	0.07	89.2°	Düşük yansıma	Düşük kazanç	Genel amaçlı RF uygulamaları

Çizelge 6.2 (devam). 7.1 GHz çalışma frekansında tasarlanan antenlerin performans karşılaştırması.

Daire	Rogger 5880	- 33.18	11.50	0.01	71.1°	En yüksek kazanç, iyi yönlülük	Çok dar bant	Uydu haberleşmesi
Daire	Rogger 4003C	- 34.49	7.13	0.07	82.3°	İyi denge	-	Mobil RF çözümleri
Daire	Rogger RO4350B	- 33.40	7.28	0.10	76.5°	Geniş bant, dengeli kazanç	VSWR çok yüksek (9.0)	Performansı sınırlı olabilir
Üçgen	FR4	- 12.19	6.16	0.01	104.5°	Basit yapı	Çok dar bant, düşük kazanç	Gömülü sistemlerde sınırlı kullanım
Üçgen	Rogger 5880	- 14.65	7.14	0.05	92.0°	Orta düzey kazanç	Geri yansıma yüksek	Küçük cihazlar
Üçgen	Rogger 4003C	- 17.13	6.50	0.02	99.7°	S11 fena değil	Dar bant	Kısa mesafeli RF
Üçgen	Rogger RO4350B	- 16.32	6.34	0.01	104.1°	Düşük karmaşıklık	Düşük yönlülük, düşük kazanç	IoT, düşük güçlü iletim

Kare geometrik şekle sahip anten tasarımları arasında S11 performans değeri en iyi olan Rogger 4003C alttaşına sahip antendir. Kare geometrik şekle sahip anten tasarımları arasında bant genişliği performans değeri en iyi olan FR4 dielektrik alttaşına sahip anten tasarımıdır. Kare geometrik şekle sahip anten tasarımları arasında en iyi kazanç değerine sahip antenin alttaşı FR4'dür. Yuvarlak geometrik şekle sahip anten tasarımları arasında en iyi S11 performans değerine sahip anten tasarımı Rogger 4003C alttaşına elde edilmiştir. Yuvarlak geometrik şekle sahip anten tasarımlarında en geniş bant aralığı Rogger RO4350B alttaşına sahip anten tasarımı elde edilmiştir. Yuvarlak şekle sahip anten tasarımlarında en iyi kazanç değeri Rogger5880 alttaşına sahip anten tasarımlarında elde edilmiştir. Üçgen geometrik şekle sahip anten tasarımlarında en iyi S11 performans değeri Rogger4003C alttaşına elde edilmiştir. Üçgen geometrik şekle sahip anten tasarımlarında en geniş bant aralığı Rogger 5880 alttaşına elde edilmiştir. Üçgen geometrik şekle sahip anten tasarımlarında en yüksek kazanç performans değeri Rogger 5880 alttaşıda elde edilmiştir. Tasarlanan antenlerin performans kriterlerine göre en az güç yansımaya sahip anten tasarımı için kare geometrik şekle sahip dielektrik alttaşı Rogger 4003C yama anten tasarımı önerilir. En yüksek kazanç değerine sahip anten tasarımı için yuvarlak geometrik şekle sahip Rogger5880 alttaşı kullanılan mikroşerit yama anten tasarımı önerilir. En geniş bant genişliğine sahip anten tasarımı için kare geometrik şekle sahip dielektrik alttaşı FR4 mikroşerit yama anten tasarımı önerilir. Yuvarlak ve kare geometrik şekle sahip yama antenlerde literatüre göre S11 parametresinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

6.3. 28 GHz Çalışma Frekansına Sahip Antenlerin Performans Karşılaştırması

28 GHz çalışma frekansı için simülasyonu yapılan mikroşerit antenlerin performans karşılaştırması Çizelge 6.3’de sunulmuştur.

Çizelge 6.3. 28 GHz çalışma frekansında tasarlanan antenlerin performans karşılaştırması.

Anten Tipi	Malzeme	S11 (dB)	Kazanç (dBi)	Bant Genişliği (GHz)	Yönlülük (3 dB Açısı)	Avantajları	Dezavantajları	Uygun Kullanım Alanı
Kare	FR4	-43.9	4.74	3.64	59.0°	En geniş bant	Düşük kazanç	Ultra geniş bant RF
Kare	Rogger 5880	- 23.36	7.97	0.3	73.3°	Yüksek kazanç, düşük VSWR	Orta bant	5G mmWave
Kare	Rogger 4003C	- 22.12	6.8	0.44	88.4°	Geniş bant, düşük yan lob	-	Uygulama esnekliği
Kare	Rogger RO4350B	- 20.94	6.97	0.2	84.1°	Düşük yan lob	Bant dar	Düşük kayıplı 5G sistemleri
Daire	FR4	-37.9	6.72	0.24	89.7°	İyi S11 ve yönlülük	-	Uygun maliyetli RF
Daire	Rogger 5880	- 42.11	8.08	0.4	71.6°	En yüksek kazanç, düşük VSWR	-	Yönlü yüksek frekans iletim
Daire	Rogger 4003C	- 25.09	7.09	0.23	84.4°	Dengeli performans	-	Radar/algılama sistemleri
Daire	Rogger RO4350B	- 23.43	7.13	0.2	83.7°	Düşük yansıma, dengeli	-	5G küçük hücre antenleri
Üçgen	FR4	- 14.74	6.2	0.1	103.8°	Basit tasarım	Düşük bant	Gömülü RF uygulamaları
Üçgen	Rogger 5880	- 16.13	6.89	0.13	91.7°	Dengeli kazanç ve VSWR	-	Kompakt yönlü sistemler
Üçgen	Rogger 4003C	- 18.89	6.45	0.12	-	Düşük VSWR	Açısal veri eksik	Genel RF
Üçgen	Rogger RO4350B	- 18.02	6.42	0.12	102.5°	-	Side lob verisi eksik	-

Kare geometrik şekle sahip anten tasarımları arasında S11 performans değeri en iyi olan FR4 altaşına sahip antendir. Kare geometrik şekle sahip anten tasarımları arasında bant genişliği performans değeri en iyi olan FR4 dielektrik altaşına sahip anten tasarımıdır. Kare geometrik şekle sahip anten tasarımları arasında en iyi kazanç değerine sahip antenin altaşı Rogger 5880 yama anten tasarımıdır. Daire geometrik

şekle sahip anten tasarımları arasında en iyi S11 performans değerine sahip anten tasarımı Rogger 5880 alttaşı elde edilmiştir. Daire geometrik şekle sahip anten tasarımlarında en geniş bant aralığı Rogger 5880 alttaşına sahip anten tasarımında elde edilmiştir. Daire şekle sahip anten tasarımlarında en iyi kazanç değeri Rogger 5880 alttaşına sahip anten tasarımlarında elde edilmiştir. Üçgen geometrik şekle sahip anten tasarımlarında en iyi S11 performans değeri Rogger 4003C alttaşı elde edilmiştir. Üçgen geometrik şekle sahip anten tasarımlarında en geniş bant aralığı Rogger 5880 alttaşı elde edilmiştir. Üçgen geometrik şekle sahip anten tasarımlarında en yüksek kazanç performans değeri Rogger 5880 alttaşına sahip yama anten tasarımında elde edilmiştir. Tasarlanan antenlerin performans kriterlerine göre en az güç yansımaya sahip anten tasarımı için kare geometrik şekle sahip dielektrik alttaşı FR4 yama anten tasarımı önerilir. En yüksek kazanç değerine sahip anten tasarımı için daire geometrik şekle sahip Rogger 5880 alttaşı kullanılan mikroşerit yama anten tasarımı önerilir. En geniş bant genişliğine sahip anten tasarımı için kare geometrik şekle sahip dielektrik alttaşı FR4 mikroşerit yama anten tasarımı önerilir. Literatüre göre yapılan anten çalışmalarında daha minimal boyutlarda anten tasarımı gerçekleştirilmiş. Yapılan çalışmada en iyi performans değeri Rogger 5800 yuvarlak yama şekline sahip antende gözlemlenmiştir.

6.4. 38 GHz Çalışma Frekansına Sahip Antenlerin Performans Karşılaştırması

38 GHz çalışma frekansı için simülasyonu yapılan mikroşerit antenlerin performans karşılaştırması Çizelge 6.4’de sunulmuştur.

Çizelge 6.4. 38 GHz çalışma frekansında tasarlanan antenlerin performans karşılaştırması.

Anten Tipi	Malzeme	S11 (dB)	Kazanç (dBi)	Bant Genişliği (GHz)	Yönlülük (3 dB Açısı)	Avantajları	Dezavantajları	Uygun Kullanım Alanı
Kare	FR4	-25.4	6.11	0.36	59.0° (yaklaşık)	Düşük maliyet, kabul edilebilir yönlülük	Orta kazanç, orta bant	Geniş bant RF uygulamaları
Kare	Rogger 5880	-33.76	8.24	0.49	73.3°	Yüksek kazanç, en geniş bant, düşük VSWR	Biraz daha yüksek üretim maliyeti	5G mmWave, yüksek hızlı iletişim
Kare	Rogger 4003C	-47.48	7.37	0.4	88.4°	En iyi S11, düşük VSWR	Side lob seviyesi yüksek	Radar, yönlü RF uygulamaları

Çizelge 6.4 (devam). 38 GHz çalışma frekansında tasarlanan antenlerin performans karşılaştırması.

Kare	Rogger RO4350B	-23.54	6.53	0.37	84.1° (yaklaşık)	Düşük kayıplı iletim	Side lob bilgisi sınırlı	5G küçük hücre sistemleri
Daire	FR4	-27.58	6.85	0.17	89.7° (yaklaşık)	Düşük maliyet, dengeli performans	Dar bant, yüksek VSWR	Uygun maliyetli RF sistemleri
Daire	Rogger 5880	-41.14	8.1	0.637	71.6°	Geniş bant, yüksek kazanç	Side lob nispeten yüksek	Yüksek hızlı yönlü sistemler
Daire	Rogger 4003C	-46.63	7.21	0.462	84.4°	İyi S11 ve dengeli yapı	Side lob yüksek	Radar/algılama sistemleri
Daire	Rogger RO4350B	-41.68	6.7	0.47	83.7°	Dengeli bant ve yönlülük	Side lob yüksek (13.1 dB)	Küçük hücre anten sistemleri
Üçgen	FR4	-11.87	6.14	0.05	104.7°	Basit yapı, düşük maliyet	Çok dar bant	Gömülü sistemler, dar band RF
Üçgen	Rogger 5880	-15.03	7.19	0.10	92.4°	Dengeli kazanç ve yönlülük	Side lob verisi yok	Kompakt yönlü sistemler
Üçgen	Rogger 4003C	-16.73	6.51	0.10	100.0°	En düşük VSWR (1.46)	Side lob bilgisi sınırlı	Genel amaçlı yönlü uygulamalar
Üçgen	Rogger RO4350B	-16.19	6.29	0.10	105.0°	Stabil kazanç ve yön	Side lob bilgisi eksik	RF haberleşme sistemleri

Kare geometrik şekle sahip anten tasarımları arasında S11 performans değeri en iyi olan Rogger 4003C alttaşına sahip antendir. Kare geometrik şekle sahip anten tasarımları arasında bant genişliği performans değeri en iyi olan Rogger 5880 dielektrik alttaşına sahip anten tasarımıdır. Kare geometrik şekle sahip anten tasarımları arasında en iyi kazanç değerine sahip antenin alttaşı Rogger5880 yama anten tasarımıdır. Daire geometrik şekle sahip anten tasarımları arasında en iyi S11 performans değerine sahip anten tasarımı Rogger 4003C alttaşına elde edilmiştir. Daire geometrik şekle sahip anten tasarımlarında en geniş bant aralığı Rogger5880 alttaşına sahip anten tasarımı elde edilmiştir. Daire şekle sahip anten tasarımlarında en iyi kazanç değeri Rogger5880 alttaşına sahip anten tasarımlarında elde edilmiştir. Üçgen geometrik şekle sahip anten tasarımlarında en iyi S11 performans değeri Rogger 4003C alttaşına elde edilmiştir. Üçgen geometrik şekle sahip anten tasarımlarında en geniş bant aralığı Rogger 5880, Rogger 4003C ve Rogger RO4350B alttaşına sahip yama anten tasarımlarında elde edilmiştir. Üçgen geometrik şekle sahip anten tasarımlarında en yüksek kazanç performans değeri Rogger 5880 alttaşına sahip yama anten tasarımı elde edilmiştir. Tasarlanan antenlerin performans kriterlerine göre en az güç yansımaya sahip anten tasarımı için kare geometrik şekle sahip

dielektrik alttaşı Rogger 4003C yama anten tasarımı önerilir. En yüksek kazanç değerine sahip anten tasarımı için daire geometrik şekle sahip Rogger 5880 alttaşı kullanılan mikroşerit yama anten tasarımı önerilir. En geniş bant genişliğine sahip anten tasarımı için daire geometrik şekle sahip dielektrik alttaşı Rogger 5880 mikroşerit yama anten tasarımı önerilir. 38 GHz’de tasarlanan antenler arasında 4003C alttaşı kullanılan anten literatüre göre iyi performans değerlerine sahiptir. Bu alttaş ile kare, daire ve üçgen anten çalışmalarında diğer anten çalışmalarına göre daha iyi değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bant genişliği performans kriteri incelendiğinde en iyi değer kare yama antenlerde görülmüştür.



KAYNAKÇA

- Ahmed, Z., Yang, K., McEvoy, P. ve Ammann, M.J., 2017. Study of mm-Wave Microstrip Patch Array on Curved Substrate, Loughborough Antennas and Propagation Conference (LAPC), Loughborough, UK, 1-4.
- Alaoui, N., Kssena, S., Bouchra, G., Khaoula, C., Azzouz, A., Daoudi, S., Bouhamla, L., Özkaya, U., ve Yiğit, E., 2023. Design of a microstrip antenna array for 5G applications, International Conference on Frontiers in Academic Research, Konya, Bildiriler Kitabı, 1, 334–338.
- Ali, M. A., Gaid, A. S., Saeed, M. M., ve Saeed, R. A., 2023. Design and Performance Analysis of a 38 GHz Microstrip Patch Antenna with Slits Loading for 5G Millimeter-Wave Communications, In 2023 3rd International Conference on Emerging Smart Technologies and Applications (eSmarTA), Taiz, Yemen, Bildiriler Kitabı, 1-6.
- Balanis, C. A., 2013. Antenna Theory, 3rd ed., Wiley-Interscience, s. 1023, USA.
- Barışer, B., Umakoğlu, İ., Namdar, M., ve Başgümüş, A., 2024. Microstrip Patch Antenna Design for 5G and Beyond Wireless Communication Systems, Journal of Scientific Reports-A, 058, 83-98.
- Binshitwan, A. A. B., Keskeso, S. M., Alquzayzi, A. A., ve Elbarsha, A., 2021. 38GHz rectangular microstrip antenna with DGS for 5G applications, In 2021 International Congress of Advanced Technology and Engineering (ICOTEN), Taiz, Yemen, Bildiriler Kitabı, 1-4.
- Cengiz K., 5G ve Yeni Nesil Haberleşme Teknolojileri, 1. Baskı, Efe Akademi Yayınları, Mayıs 2020, s. 10-20.
- Dardeer, O. M., Amar, A. S., Parchin, N. O., Elfeky, A. H., ve Miligy, A. F., 2023. Analysis and Implementation of Single Feed Dual-Band Compact Slotted Antenna at 28/38 GHz for 5G Applications, In 2023 International Telecommunications Conference (ITC-Egypt), İskenderiye, Mısır, Bildiriler Kitabı, 54-57.
- Demirci, M., ve Ermiş, S., 2021. 5G teknolojisi için çift bantlı (28/38 GHz) dikdörtgen mikroşerit anten tasarımı, Bilişim Teknolojileri Dergisi, 14, 2, 171-181.
- Ege, GK, Kesen, U., Yüce, H., ve Genç, G., 2021. FR4 ve FR2 Baskı Devre Kartlarının Mikroşerit Anten Uygulamasında Tasarımı ve Simülasyonu, Malzeme ve Mekatronik Dergisi:A, 2, 1, 51-59.
- Elechi, P., ve John, P. R., 2022. Improved multiband rectangular microstrip patch antenna for 5G application, Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC), 14, 2, 7-14.
- Fernandez, M. D., Herraiz, D., Herraiz, D., Alomainy, A., ve Belenguer, A., 2023. Dielectricless floating-patch antenna at 28 ghz fed with an empty substrate integrated waveguide, IEEE Access, 11, 1, 65599-65607.
- Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., ve Ittipiboon, A. (2001). Microstrip Antenna Design Handbook. Artech House.

- Gemeda, M. T., Fante, K. A., Goshu, H. L., ve Goshu, A. L., 2021. Design and analysis of a 28 GHz microstrip patch antenna for 5G communication systems, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 8, 02, 881-886.
- Gnanamurugan, S., Narmdha, B., Shamina, A., ve Sindhu, M., 2017. Gain and directivity enhancement of rectangular microstrip patch antenna using HFSS, *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)*, 1, 2, 127-131.
- Hiçdurmaz, B., ve Gümüş, Ö. F., 2019. Design and analysis of 28 GHz microstrip patch antenna for different type FR4 claddings, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24, 2, 265-288.
- İbrahim, A. A., Ali, W. A., Alathbah, M., ve Sabek, A. R., 2023. Four-port 38 GHz MIMO antenna with high gain and isolation for 5G wireless networks, *Sensors*, 23, 7, 3557.
- İbrahimpaşa, C., ve Karamzadeh, S., 2019. A New Patch Antenna Design for X Band Applications, *International Journal of Electronics Mechanical and Mechatronics Engineering*, 9, 3, 1687-1696.
- Islam, M. M., Hasan, R. R., Rahman, M. M., Islam, K. S., ve Al-Amin, S. M., 2016. Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna Using Different Dielectric Materials for WiMAX Communication System, *International Journal of Recent Contributions from Engineering, Science and IT (iJES)*, 4, 1, 19-24.
- ITU, 2019. IMT Vision – Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond, ITU-R M.2083-0.
- James, J. R., ve Hall, P. S., 1989. *Handbook of Microstrip Antennas*. IET Electromagnetic Waves Series.
- Kavitha, K., Ganapathy, R. P., Ibrahim, S. M., ve Aakash, V. I., 2020. Design of microstrip fractal antenna for vehicle to vehicle communication, *Velammal College of Engineering and Technology*, 14, 8, 1127-1137.
- Khasiyev, M., 2023. 28 GHz Frekansında 5G Kablosuz Haberleşme için S-Şekilli Mikroşerit Anten Tasarımı ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Kikan, V., ve Kumar, A., 2024. Design and Analysis of 38GHz mmWave Modified MIMO Antenna on Low Permittivity Substrate for 5G Ka Band Applications, In 2024 First International Conference on Electronics, Communication and Signal Processing (ICECSP), Yeni Delhi, Hindistan, Bildiriler Kitabı, 1-6.
- Kiran, T., Mounisha, N., Mythily, C., Akhil, D., ve Kumar, T. P., 2018. Design of microstrip patch antenna for 5G applications, *IOSR J. Electron. Commun. Eng. (IOSR-JECE)*, 13, 1, 14-17.
- Kızılbey, O., 2022. RF ve Mikrodalga Devre Tasarımında Dielektrik Taban Kayıp Çarpanının Mikroşerit Hat Güç Kayıplarına Etkisinin Araştırılması, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 38, 2, 233-241.
- Liu, Y., Zhang, M., ve Kim, K., 2018. Design of microstrip patch antenna on RO4350B substrate for 5G applications, 2018 International Conference on Information and

- Mishra, R., 2016. An overview of microstrip antenna, HCTL Open International Journal of Technology Innovations and Research (IJTIR), 21, 2, 39-55.
- Mustari, N., Karabulut, M. A., Shah, A. F. M., ve Türeli, U., 2023. 1G'den 6G'ye Hücreli Evrim Üzerine Kapsamlı Bir Derleme, Politeknik Dergisi, 1, 1.
- Nusrat, T., ve Roy, S., 2022. On the Design of a Multiband Microstrip Patch Antenna by Introducing a Defected Ground Structure, In 2022 IEEE Research and Applications of Photonics in Defense Conference (RAPID), Miramar Beach Florida, ABD, Bildiriler Kitabı, 1-2.
- Pakfiliz A., 2021. Elektronik Harp. 1. Baskı. Ankara, Türkiye, Palme Yayınevi.
- Pozar, D. M., 2011. Microwave engineering (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Przesmycki, R., ve Bugaj, M., 2022. Crescent microstrip antenna for LTE-U and 5G systems. Electronics, 11, 8, 1201.
- Rappaport, T. S., Xing, Y., MacCartney, G. R., Molisch, A. F., Mellios, E., and Zhang, J. (2017). "Overview of millimeter wave communications for fifth-generation (5G) wireless networks", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 65(12), 6213–6230.
- Rogers Corporation. (2020). RO4000® Series High Frequency Circuit Materials – RO4350B Data Sheet. Rogers Corporation Teknik Doküman No: 92-004 / Rev. L.
- Sabek, A. R., Ibrahim, A. A., ve Ali, W. A., 2021. Dual-band millimeter wave microstrip patch antenna with StubResonators for 28/38 GHz applications, In Journal of Physics, Kahire, Mısır, 2128, 1, 012006.
- Sadasivam, S., Bai, V. T., Yuvaraj, R., Rahul, P. S., ve Thomas, M. R., 2022. Comparison of FR4 and Roger substrates in multiband two-slot rectangular patch antenna for 5G applications. Materials Today: Proceedings, 55, 452-454.
- Selvaraj, D., Chandrasekar, L., Su Sangeetha, G. S., Sowmiya, B., ve Varshini, P., 2018. Design of fractal antenna with modified Sierpinski Carpet for WiMAX applications, International Research Journal of Engineering Research and Technology, 7, 4, 1-9.
- Sethi, W. T., Ashraf, M. A., Ragheb, A., Alasaad, A., ve Alshebeili, S. A., 2018. Demonstration of Millimeter Wave 5G Setup Employing High-Gain Vivaldi Array, International Journal of Antennas and Propagation, 2018(1), 3927153.
- Soliman, M. M., Hakim, M. L., Uddin, M. J., Faisal, M. M. A., ve Rahaman, A., 2019. Optimization of design parameters of microstrip patch antenna at 28 ghz and 38 ghz for 5g applications, In 2019 IEEE International Conference on Telecommunications and Photonics (ICTP), Dhaka, Bangladeş, Bildiriler Kitabı, 1-4.
- Suneeyamu, M., Darimireddy, N. K., Reddy, R. R., ve Rajasekhar, N., 2023. Modified plus-Shaped Microstrip Patch Antenna with DGS for Ultra Wide-Band

- Applications, In 2023 IEEE Wireless Antenna and Microwave Symposium (WAMS), Ahmedabad, Hindistan, Bildiriler Kitabı, 1-5.
- Swaminathan, R., Gopal, D., ve Vanitha, N. S., 2019. Performance Analysis of Microstrip Patch Antenna at 28GHz over Rogers RT/Duroid 5880 (tm) and Neltec NY9220 (IM)(tm) Substrates with different thicknesses. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING DEVELOPMENT AND RESEARCH, 7(3), 352-356.
- Şeker, C., ve Güneşer, M. T., 2019. A single band antenna design for future millimeter wave wireless communication at 38 GHz, European Journal of Engineering and Formal Sciences, 3, 1, 65-70.
- Tansarıkaya, İ., 2007. Geniş bandlı yama anten tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tariq, S., Psychoudakis, D., Eliezer, O., ve Khan, F., 2018. A new approach to antenna beamforming for millimeter-wave fifth generation (5G) systems, In 2018 Texas Symposium on Wireless and Microwave Circuits and Systems (WMCS), Waco, TX, ABD, Bildiriler Kitabı, 1-5.
- Teker, A., 2021. Endüstri 4.0 uygulamalarındaki RTLS sistemleri için enerji hasatlayıcı tasarımı ve analizi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Tiwari, R., Sharma, R., ve Dubey, R., 2020. Microstrip patch antenna array design anaylsis for 5G communication applications. Smart Moves Journal Ijoscience, 6, 5, 1-5.
- Turgut, A., Engiz, B. K., ve Bayram, E. Z., 2023. Güven Bölgesi Çerçevesi Algoritması ile 28/38 GHz Anten Tasarımı, In 2023 5th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), İstanbul, Türkiye, Bildiriler Kitabı, 1-4.
- Türer, B., ve Yılmaz, M., 2022. 5G Hücreli Haberleşme Sistemlerinde Yeni Teknolojiler, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 36, 128-133.
- Yerlikaya, M., 2021. 5G mobil terminaller için yüksek kazançlı ve çoklu bant frekans seçici anten sistemi tasarımı, Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yıldıran, O., 2017. Designing a patch antenna for 5G communication system, Yüksek Lisans Tezi, Çankaya Üniversitesi, Ankara.
- Yang, P. H., Lao, Q. W., ve Huang, C. C., 2024. Double U-shaped Slot Microstrip Array Antenna for 28 GHz 5G System Applications, In 2024 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and INC/USNC-URSI Radio Science Meeting (AP-S/INC-USNC-URSI), Floransa, İtalya, Bildiriler Kitabı, 2375-2376.
- Zeain, M. Y., Abu, M., Althuwayb, A. A., Alsariera, H., Al-Gburi, A. J. A., Abdulbari, A. A., ve Zakaria, Z., 2024. A New Technique of FSS-Based Novel Chair-Shaped Compact MIMO Antenna to Enhance the Gain for Sub-6GHz 5G Applications, in IEEE Access, 12, 49489-49507.

Zhang, C., Zhao, Z., Xiao, P., ve Li, G., 2023. A Multi-Band High Gain Liquid Antenna Base on Spoof Surface Plasmons, In 2023 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES-China), Hangzhou, Çin, Bildiriler Kitabı, 01-03.

3GPP (3rd Generation Partnership Project), 2020. Release 16 Specifications: Technical Documents for 5G Mobile Communications. 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Technical Specification Group, Sophia Antipolis, Fransa.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Özlem ELÇİN

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2017-2022

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2022-2025

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Aksaray Teknokent Koleji / Elektrik Elektronik Öğretmeni / 2022-2023
2. ALB Enerji / Ar-Ge Mühendisi / 2024-Halen

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. Elçin Ö., 2025. 5G Haberleşme Sistemleri İçin Tasarlanan Mikroşerit Yama Antenlerin Performans Karşılaştırması, 15. Uluslararası İstanbul Bilimsel Araştırmalar Kongresi, İstanbul, Türkiye, Bildiriler Kitabı, 665-668.