

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

**DAİRESEL POLARİZASYONLU V2X ANTEN TASARIMI, ÜRETİMİ VE
ÖLÇÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin OKTAY
Danışman: Doç. Dr. Bilal TÜTÜNCÜ

VAN – 2024

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

**DAİRESEL POLARİZASYONLU V2X ANTEN TASARIMI, ÜRETİMİ VE
ÖLÇÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin OKTAY

Tez Savunma Sınavı Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi İshak PARLAR (Başkan)

Doç. Dr. Bilal TÛTÛNCÛ (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Samet YALÇIN (Üye)

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından
FYL-2024-10954 No'lu proje ile desteklenmiştir.

VAN – 2024

KABUL VE ONAY SAYFASI

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Bilal TÜTÜNCÜ danışmanlığında, Hüseyin OKTAY tarafından sunulan “**Dairesel Polarizasyonlu V2X Anten Tasarımı, Üretimi ve Ölçümü**” başlıklı bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 02 /04 /2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi İshak PARLAR

İmza:

Üye: Doç. Dr. Bilal TÜTÜNCÜ

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Samet YALÇIN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun /.... /..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hüseyin OKTAY



ÖZET

DAİRESEL POLARİZASYONLU V2X ANTEN TASARIMI, ÜRETİMİ VE ÖLÇÜMÜ

OKTAY, Hüseyin

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bilal TÜTÜNCÜ

Nisan 2024, 61 sayfa

Bu araştırma kapsamında, "Araçtan Her Şeye" (V2X) kavramı altında araçların birbirleriyle, altyapı ve diğer nesnelerle iletişim kurmasını sağlayan kablosuz haberleşme standardı için yeni bir çift bant mikroşerit anten tasarım, simülasyon ve ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu anten, WLAN uygulamalarında kullanılan 2.45 GHz ve DSRC (Dedicated Short Range Communications - Ayrılmış Kısa Menzilli İletişim) bandında yer alan 5.9 GHz çalışma frekanslarını kapsamaktadır.

Önerilen anten, dairesel polarizasyon özelliklerine sahip olup, yüksek kazanç ve verimlilik elde etmek amacıyla detaylı parametrik çalışmalar ve simülasyon süreçleri CST Studio Suite programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarım dört aşamada tamamlanmış olup her aşamada S11 (yansıma kaybı) eğrileri ayrı ayrı simüle edilerek çalışma frekansları ve bant genişliği gösterilmiştir. Önerilen antende kullanılan alttaş malzemenin kalınlığının anten performansına etkisini incelemek için beş farklı kalınlık değeriyle ayrı ayrı tasarımlar gerçekleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Kalınlık değeri 1.6 mm'ye ulaştığında optimum performans elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, dielektrik katsayısı analizi için FR4, Arlon AD250C, Rogers Ro3003 ve Aluminum Nitride olmak üzere dört farklı alttaş malzemeleri değerlendirilmiş ve bu dört malzeme arasından 4.3 elektriksel geçirgenlik ve 1.6 mm kalınlığındaki FR4 'ün en iyi anten çalışma performansını sergilediği görülmüştür. Optimize çalışmaları sonucunda 2.45 GHz'de 6.77 dBi ve 5.9 GHz'de 10.7 dBi kazanç değerleri elde edilmiştir. Ek olarak eksojen oran eğrileri simülasyon çalışmalarıyla elde edilerek önerilen antenin dairesel polarize özelliği ispatlanmıştır.

Son olarak bilgisayar ortamında tasarlanan yapının simülasyon sonuçlarını doğrulamak için antenin üretimi yapılmış ve RF/Mikrodalga laboratuvar ortamında kazanç ve saçılma parametre ölçümleri gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçları ile büyük oranda paralellik gösterdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: CST, Dairesel polarizasyon, Dual bant, Mikroşerit anten, V2X

ABSTRACT

CIRCULAR POLARIZATION V2X ANTENNA DESIGN, PRODUCTION AND MEASUREMENT

OKTAY, Hüseyin

M.Sc. Thesis, Department of Electrical and Electronic

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bilal TÜTÜNCÜ

April 2024, 61 pages

In this study, a new dual-band microstrip antenna design, simulation and measurements have been conducted for the wireless communication standard enabling vehicles to communicate with each other, infrastructure, and other objects under the concept of Vehicle-to-Everything (V2X). This antenna covers the operating frequencies of 2.45 GHz used in WLAN applications and 5.9 GHz in the Dedicated Short Range Communications (DSRC) band.

The proposed antenna, possessing circular polarization characteristics, was meticulously designed to achieve high gain and efficiency through detailed parametric studies and simulation processes utilizing the CST Studio Suite program. The design was completed in four stages, with S11 (reflection loss) curves simulated separately in each stage to demonstrate the operating frequencies and bandwidths. To examine the effect of the substrate thickness used in the proposed antenna on antenna performance, designs were carried out with five different thickness values, and the results were analyzed. It was observed that optimum performance was achieved when the thickness reached 1.6 mm. Additionally, four different substrate materials including FR4, Arlon AD250C, Rogers Ro3003, and Aluminum Nitride were evaluated for dielectric constant analysis, and among these materials, FR4 with an electrical permeability of 4.3 and a thickness of 1.6 mm exhibited the best antenna performance. Through optimization studies, gain values of 6.77 dBi at 2.45 GHz and 10.7 dBi at 5.9 GHz were obtained. Furthermore, axial ratio curves were obtained through simulation studies, confirming the circular polarization feature of the proposed antenna.

Finally, to validate the simulation results of the computer-designed structure, the antenna was manufactured and gain and scattering parameter measurements were conducted in an RF/Microwave laboratory environment, revealing a significant parallelism between the measurement results and the simulation results.

Keywords: Circular polarization, CST, Dual band, Microstrip antenna, V2X



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmamın her aşamasında büyük bir gayretle beni takip eden, yardımlarını esirgemeyen, özveriyle çalışmama odaklanmamı sağlayan, gösterdikleri sabır ve hoşgörü için çok değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Bilal TÜTÜNCÜ'ye teşekkürlerimi sunuyorum.

Desteklerini ve sevgilerini benden esirgemeyen babam Selahattin OKTAY ve annem Hanım OKTAY'a, kardeşlerim ve abilerime teşekkür ederim.

Yürüdüğü yolda beni de yürüten, kendi de öğretmen olan her daim bana yol gösteren, yüreklendiren çok değerli ablam, kıymetli Ayşe YONSUZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunar ve bu tezi kendisine ithaf ederim.

2024

Hüseyin OKTAY



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1 CST Studio Suite.....	11
3.2 LPKF- Lazer Kaynak Teknolojisi	13
4. MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE SİMÜLASYONU	15
4.1 Anten Yama Şekli Üzerinde Parametrik Çalışma	21
4.1.1 ‘Wr’ Değerinin Anten Yansıma Kaybına (S11) Etkisi.....	21
4.1.2 ‘Lm’ Değerinin Anten Yansıma Kaybına (S11) Etkisi	22
4.1.3 ‘Lr’ Değerinin Anten Yansıma Kaybına (S11) Etkisi	23
4.2 Alttaş Malzemenin Kalınlığının Anten Performansına Etkisi	24
4.3 Alttaş Elektriksel Geçirgenliğinin (ϵ) Anten Performansına Etkisi	25
4.4 Anten Işıma Örüntüsü.....	26
4.5 Eksenel Oran ve Kazanç.....	28
5. FABRİKASYON VE ÖLÇÜM.....	29
6. TARTIŞMA VE SONUÇ	33
KAYNAKLAR.....	35
ÖZ GEÇMİŞ.....	37



ÇİZELGELER LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Maxwell denklemlerinde bulunan sembollerin anlam ve birimleri (Griffiths, 1996; Kansu, 2012; Cheng, 2013).....	3
Çizelge 4.1 Anten boyut parametreleri	17



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil.1.1 Mikroşerit beslemeli anten	1
Şekil.1.2 Elektrik alan ve manyetik alan.....	4
Şekil.1.3 Elektromanyetik dalga boyu ve frekansı gösterimi.....	4
Şekil.1.4 Araçtan her şeye (V2X).....	5
Şekil.3.1 Uzunluk ve genişlik hesaplama formülleri	12
Şekil.3.2 V2X bir antenin araç üzerindeki ışıma örüntüsü	13
Şekil.4.1 CST STUDIO açılış ekranı.....	16
Şekil.4.2 CST STUDIO anten tasarım düzeni.....	16
Şekil.4.3 Alttaş tasarım aşaması a) Ön taraf b) Arka taraf.....	18
Şekil.4.4 Anten besleme empedans uyum ayarı	19
Şekil.4.5 Mikroşerit anten port ayarlanması	19
Şekil.4.6 Önerilen antenin tasarım adımları.....	20
Şekil.4.7 Tasarım adımları göre yansıma kaybı (S11) eğrileri.....	21
Şekil.4.8 W_r parametresinin anten yansıma kaybına etkisi	22
Şekil.4.9 L_m parametresinin anten yansıma kaybına etkisi	23
Şekil.4.10 L_r parametresinin anten yansıma kaybına etkisi	24
Şekil.4.11 Alttaş dielektrik malzeme kalınlığına göre S11 eğrileri.....	25
Şekil.4.12 Alttaş malzeme çeşidine göre anten S11 eğrileri	26
Şekil.4.13 Anten ışıma örüntüleri.....	27
Şekil.4.14 Kazanç ve eksenel orana göre anten S11 eğrileri.....	28
Şekil.5.1 a) Baskı devre kazıma cihazı b) Tasarımın prototip hali.....	30
Şekil.5.2 Üretilen anten ve s-parametre ölçüm düzeneği.....	31
Şekil.5.3 Antenin yansıma katsayılarının ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	31
Şekil.5.4 a) Maksimum kazanç b) Eksenel oran grafiği	32



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamalarıyla aşağıda sunulmuştur.

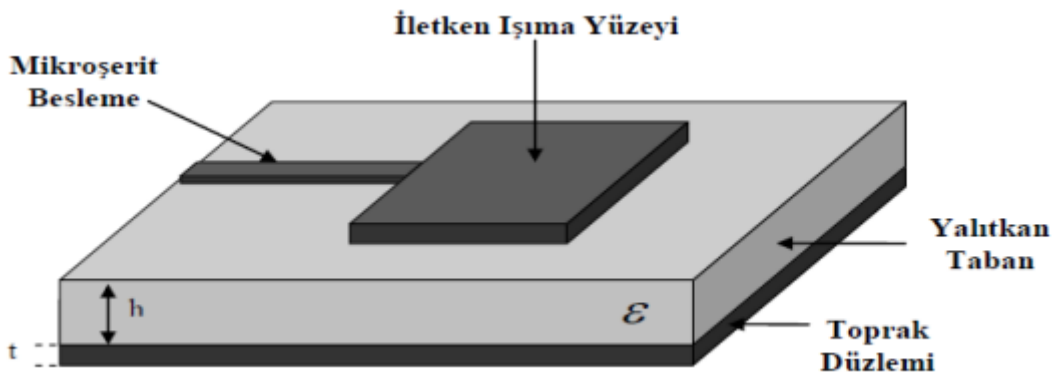
Simgeler	Açıklama
Ct	Bakır kalınlığı
F	Besleme genişliği
G	Yan yama ara uzunluk
G1	Besleme hat boşluğu
Gx	İç yama boşluk
K	Katsayı
L	Dielektrik malzeme uzunluk
Lg	Yan yama uzunluk
Lm	İç yama uzunluk
Lr	En iç yama uzunluk
R1	En iç yama yarıçap
R2	En iç yama yarıçap+boşluk
St	Dielektrik malzeme kalınlık
W	Dielektrik malzeme genişlik
Wg	Yan yama genişlik
Wr	En iç yama genişlik
Wt	İç yama genişlik
S11	Geri dönüş kaybı
ϵ	Dielektrik sabiti

Kısaltmalar	Açıklama
-------------	----------

CP	Dairesel Polarizasyon
CST	Computer Simulation Technology
DSRC	Ayrılmış Kısa Menzilli İletişim
GHz	Gigahertz
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
MHZ	Megahertz
PCB	Baskı Devre
RF	Radyo Frekansı
V2I	Araçtan Altyapıya
V2V	Araçtan Araca
V2X	Araçtan Her Şeye
YYÜ	Yüzüncü Yıl Üniversitesi

1. GİRİŞ

Mikroşerit yama antenler, ilk defa 1953 yılında keşfedilmesine ve 1955 yılında patenti alınmasına rağmen, 1970’li yıllarda dikkat çekerek popülaritesini arttırmaya başlamıştır. İlk etapta uçak, uzay mekiği, uydu ve füze uygulamaları gibi, boyut, ağırlık, performans, montaj kolaylığı açısından kısıtlayıcı uygulamalarda, ardından mobil radyo ve kablosuz haberleşme gibi, ticari ve kamusal uygulamalarda küçük profilli antenlere gereksinim duyulmaya başlanmıştır. Bu gereksinimi karşılayabilmek amacıyla mikroşerit yama antenler için geniş bir kullanım alanı doğdu ve bu süreçte bilimsel araştırmalar içinde bir odak noktası haline gelmiştir. Küçük profilli, düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere uyumlu basit yapıları, modern baskılı devre teknolojisi ile ucuza üretilibilmeleri, sert yüzeylere monte edildiklerinde mekanik anlamda sağlamlıkları en önemli avantajlarıdır. Basit yapıları, dielektrik profil tabaka üzerine çeşitli geometri ve konfigürasyonlarda ışıma amaçlı yapıştırılan yama ve alt yüzeyine yapıştırılan topraklama yamasından ibarettir. Yamanın beslemesi, genellikle genişliği yamanın genişliğine kıyasla oldukça dar olan iletken mikroşerit hat ile ya da yamanın uygun bir noktasından uygulanan prop vasıtasıyla yapılır. Özellikle yamanın şekli ve modu uygun seçildiğinde, rezonans frekansı, polarizasyon, ışıma paterni ve empedans açısından çok yönlüdürler(Çetme, 2009).



Şekil.1.1 Mikroşerit beslemeli anten

Mikroşerit anten tasarımının gerçekleşmesinde rezonans frekansının ayarlanması, doğrusal olmayan bir problem olduğundan analitik olarak çözülmesi oldukça zordur.

Şekil 1.1’de mikroşerit beslemeli anten örneği bulunmaktadır. Mikroşerit anten kapsamında literatürde, farklı alttaşlar ve dielektrik sabitlerine (ϵ) sahip materyaller kullanılarak tasarlanan antenlerin rezonans frekansındaki değişimleri inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Antenin etkin olarak çalışacağı bant genişliği ve dolayısıyla rezonans frekansının belirlenmesi oldukça önemlidir. Mikroşerit antenler, diğer anten çeşitlerine göre dar bir bant genişliği ile çalıştıkları için rezonans frekansının doğru bir şekilde belirlenmesi daha kritiktir. Çeşitli yöntemlerle alt tabakanın yüksekliğini artırarak veya başka yöntemlerle verimliliği (%90'a kadar) ve bant genişliğini (%35'e kadar) artırmak için çeşitli yollar mevcuttur (Tütüncü, 2022). Yüksek anten performansı için dielektrik malzemenin $2.2 \leq \epsilon_0 \leq 12$ aralığında seçilmelidir. Bunun nedeni, eleman boyutundan bağımsız olarak daha iyi verime, daha fazla bant genişliğine ve daha az güç tüketimine sahip olmasıdır (Balanis, 2016). Daha kalın bir dielektrik katman gücü artırır, gücü artırır ve empedans bant genişliğini artırır. Ancak ağırlık, dielektrik kaybı ve yüzey dalgaları gibi dezavantajlar ortaya çıkar. Herhangi bir mikroşerit türünü tasarlarken anten dizisinin en uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir (Tütüncü vd., 2022). Bu V2X bağlantılı araç sistemleri içinde özellikle önemlidir (Fang, 2017). Aynı zamanda elektromanyetik sayısal hesaplama yöntemlerini kullanan simülasyon programları, rezonans frekansını hesaplamak için kullanılmakta ve deneysel sonuçlarla en uygun sonuçları sağlamaktadır. Elektromanyetik dalga fikrini ilk olarak James Clerk Maxwell öne sürmüştür. Ardından Heinrich Hertz yapmış olduğu bir dizi başarılı deneyler ile Maxwell’in teoremini doğrulamıştır (Sengupta ve Sarkar, 2003).

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon} \quad (1.1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon} \quad (1.2)$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (1.3)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (1.4)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (1.5)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1.6)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu I + \varepsilon\mu \frac{d\Phi_E}{dt} \quad (1.7)$$

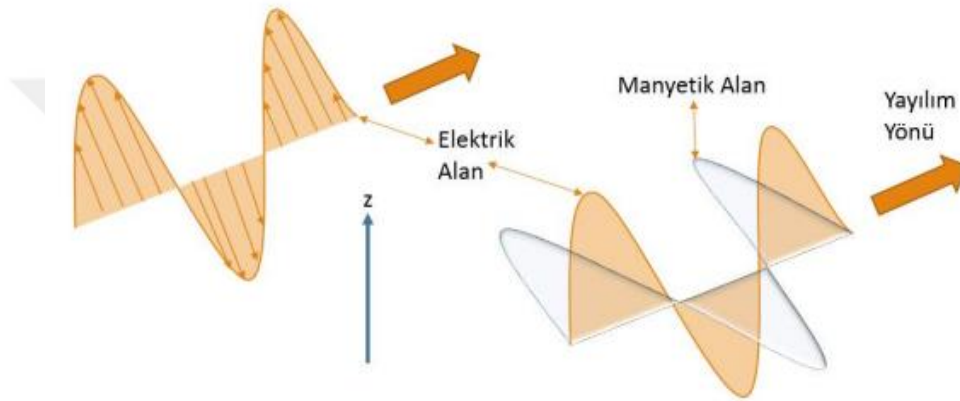
$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu \vec{j} + \varepsilon\mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (1.8)$$

Eşitlik (1.1) ve (1.2) Gauss Yasasının elektrik alan için kullandığı denklemlerdir. Elektrik alanı, üzerindeki etki akı yoğunluğu (D) ve elektrik geçirgenlik sabiti (ε) faktörlerine bağlıdır. Eşitlik (1.3) ve (1.4) Gauss Yasasının manyetik alan için kullanılan denklemleridir. Hareket eden bir elektrik yüküne etki eden kuvvete manyetik alan denilmektedir (Griffiths, 1996; Kansu, 2012). Eşitlik (1.5) ve (1.6) Faraday Yasası denklemleri olup zamanla değişen manyetik alanların bir elektrik alan oluşturduğunu göstermektedir (Griffiths, 1996; Kansu, 2012). Eşitlik (1.7) ve (1.8)'de gösterilen denklemler ise Maxwell'in de etkisiyle Amper ve Maxwell denklemleri olup, elektrik akımı ile, birlikte zamanla değişen elektrik alanın bir manyetik alan üreteceğini göstermektedir (Griffiths, 1996; Kansu, 2012; Uçar, 2019; Jackson, 2021).

Çizelge 1.1 Maxwell denklemlerinde bulunan sembollerin anlam ve birimleri (Griffiths, 1996; Kansu, 2012; Cheng, 2013)

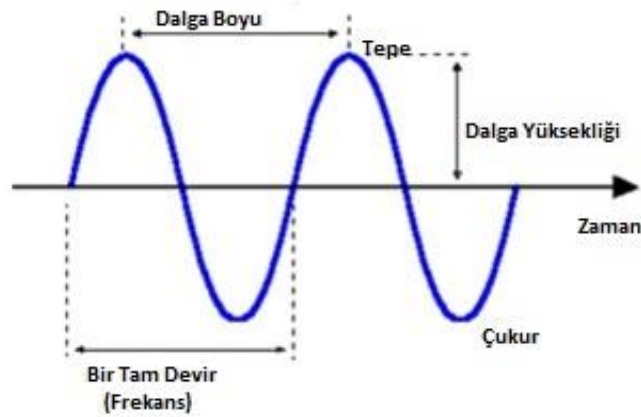
Sembol	Anlamı	SI Sistemde Birimi
Q	Elektriksel Yük	C
$\vec{E}$	Vektörel Elektrik Alan	V / m
$\vec{B}$	Vektörel Manyetik İndüksiyon	Wb / m ²
Φ_B	Manyetik Akı	Wb
Φ_E	Elektriksel Akı	N. m ² / C
ρ	Elektrik Yük Yoğunluğu	C / m ³
μ	Manyetik Geçirgenlik Sabiti	H / m
ε	Elektriksel Geçirgenlik Sabiti	C / N. m ²
$\vec{j}$	Elektrik Akım Yoğunluğu	A / m ²

Ortamda bulunan bir elektrik yükü hareketsizse çevresinde bir elektrik alan oluşturur. Ortamda bulunan elektrik yükü sabit değil de ivmeli hareket yapıyorsa, bu hareketinden ötürü elektrik alan dışında bir de manyetik alan oluşturur. Elektrik alanın ve manyetik alanın düzleme dik olarak oluşturdukları enine dalgalara elektromanyetik dalgalar denilmektedir (Sengupta ve Sarkar, 2003). Şekil 1.2’de görüldüğü üzere elektrik alan ve manyetik alanın yayılım yönüne doğru hareketi aksinel olarak verilmiştir.



Şekil.1.2 Elektrik alan ve manyetik alan

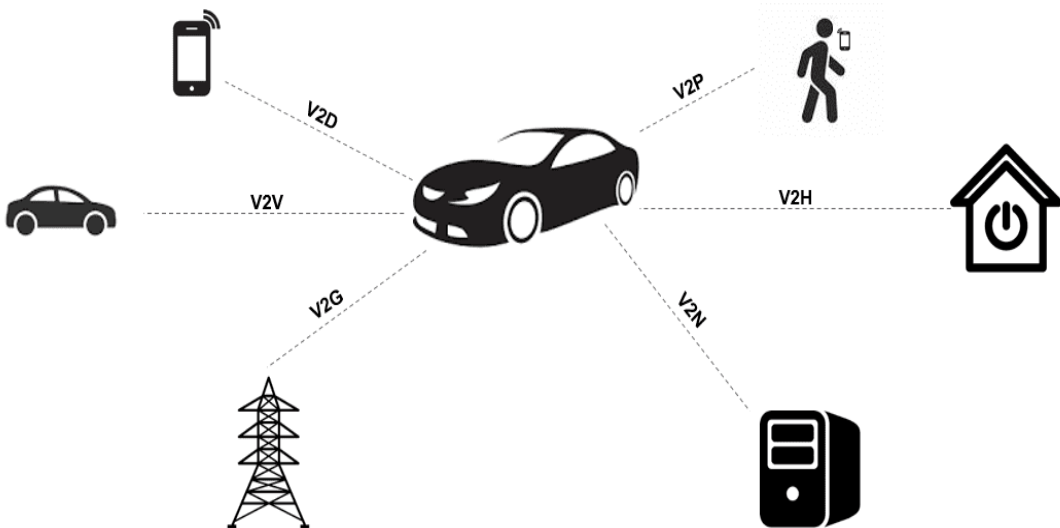
Gelen dalgalar bir dizi çukur ve tepeden oluşur. Bu iki çukur veya tepe arasındaki mesafe dalga boyunu gösterir. Dalga boyu λ olarak ifade edilir.



Şekil.1.3 Elektromanyetik dalga boyu ve frekansı gösterimi

Elektromanyetik dalga boyu ve frekans ise Şekil 1.3’de verilmektedir. Elektromanyetik dalgaların en önemli parametrelerinden biri frekanstır. Belirli bir noktadan geçen bir saniyedeki salınım sayısına o dalgaının frekansı denilmektedir. Anten tasarımında ise rezonans frekansı ayarlamak ve simüle etmek için CST Studio Suite programı ölçüm sonuçlarına yakın değerler elde etmek açısından oldukça kullanışlıdır.

Bu tez çalışması kapsamında, araçlar üzerinde etkili bir biçimde kullanılabilecek (genellikle araç üzerinde veya dışında yer alan) V2X teknolojisi için, en üst düzeyde performans elde etmek amacıyla CST programı yardımıyla kapsamlı bir optimizasyon çalışması gerçekleştirilerek yüksek verimlilikle yeni bir anten üretimi sağlanmıştır. Daha sonra gerçek dünya koşullarında test edilmek üzere üretilen antenin, ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu anten aynı zamanda otonom sürüş teknolojisi gibi gelişmiş sistemler için yüksek hassasiyetli veri iletimi sağlamak amacıyla da kullanılabilecek niteliktedir. V2X Teknolojisi, Şekil 1.4’de görüldüğü üzere Araçtan Altyapıya (V2I), Araçtan Araca (V2V), Araçtan Yayaya (V2P) ve Araçtan Ağa (V2N) gibi birçok sistemi kapsar. Karşılıklı aktarımla verileri V2X üzerinden araca yol bilgiside vermektedir. Bu da trafik koşullarını iyileştirir ve yaya güvenliğini artırır (Kutula vd., 2019).



Şekil.1.4 Araçtan her şeye (V2X)

Son olarak Yıllar geçtikçe araçtan araca iletişim ve Araçtan Altyapı iletişimine (toplu olarak V2X olarak bilinir) ilgi önemli ölçüde arttı (Storck vd., 2020). Operasyonel çeşitlilik nedeniyle ister IEEE 802.11p ister C V2X olsun, V2X bantları ve uygulamaları için 600 MHz'den 6 GHz'e kadar bir frekans aralığına uygulanabilir ölçüm performansını test etmek için ihtiyaç vardır (Garcia vd., 2021). Aynı zamanda, dairesel polarizasyonla bu V2X anten, trafik performansını artırma, trafik kontrolünü sağlama, araçtan araca iletişim gibi önemli işlevleri yerine getirme potansiyeline sahiptir. Dairesel polarize antenler hayati bir rol oynamaktadır. Farklı özellikleri nedeniyle birçok kablosuz iletişim sistemlerinde doğrusal polarize çok daha çekici özelliklere sahiptir. (Banerjee, 2020).

Sonuç olarak çalışma kapsamında araçtan her şeye iletişim, trafik yönetimi ve güvenlik odaklı V2X teknolojisinde önemli bir rol oynayacak DSRC (Dedicated Short Range Communications- Ayrılmış Kısa Menzilli İletişim) bantları ve özellikle WLAN gibi çeşitli kablosuz uygulamalar için çift bant dairesel polarizeye sahip mikroşerit anten tasarlanmış ve profesyonel bir program ile kazancı doğru bir şekilde hesaplanarak antenin uygulanabilirliği gösterilmiştir.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Mikroşerit yapıların anten olarak kullanılabileceği fikri ilk olarak Deschamps tarafından 1953 yılında ortaya atılmıştır (Deschamps, 1953). Bu konudaki ilk patent Gutton ve Baissinot (1955) tarafından alınmış olmasına rağmen yaklaşık 20 yıl boyunca pratik bir anten üretilmemiştir. Düşük kayıplı, mekanik ve ısıl açıdan uygun dielektrik taban malzemelerinin geliştirilmesiyle 1970’li yılların başında Munson (1974) ve Howell (1975) tarafından ilk mikroşerit antenler gerçekleştirilmiştir. Üretilen bu antenler ince ve yüzeye uyumlu olacak şekilde tasarlanmış, uzay mekikleri ve füzelerde kullanılmışlardır. Mikroşerit antenlerin üretim kolaylığının olması, küçük hacimler kaplamaları, maliyetlerinin az oluşu, ikili frekans özelliklerine sahip olmaları, tektaş mikrodalga entegre devrelerde kullanıma uygun olmaları gibi avantajlarının görülmesiyle bu konuda yapılan çalışmalar oldukça yoğunlaştırılmıştır (Bahl and Bartia, 1980; Sainati, 1996).

Sateesh vd. (2022)’nin yaptıkları “6 GHz altı bant V2X uygulamaları için uyumlu CP anteni” adlı çalışmada; 6 GHz altı kablosuz ve trafik güvenliği uygulamaları için tutarlı, dairesel polarize bir anten sunmaktadır. Tek düzlemli dalga kılavuzuyla donatılmış kare yuvalı anten, geniş bir empedans bant genişliğine ulaşır. Keskin bir enine elektrik alanı oluşturmak için dört nitrojen hattına sahip L şeklinde bir besleme yapısı dahil edilmiştir. Dairesel polarizasyon (CP) özelliklerini geliştirmek için L şeklinde üç şerit iletken toprağa bağlanır. CP bant genişliğindeki kazanç, toprak yüzeyi değiştirilerek elde edilmiştir. Anten, dielektrik sabiti $\epsilon_r = 3.5$ ve yüksekliği $h = 0.1$ mm olan esnek bir altlık üzerinde üretilmiştir. Anten 3.23 – 6.26 GHz bandında çalışır ve 3.02 – 4.25 GHz ve 5.30 – 6.07 GHz CP bant genişliğine sahiptir.

Tales vd. (2021)’nin yaptığı “5.9 GHz bandında V2X iletişimde uygulama için kompakt dairesel polarizasyon mikroşerit fraktal anten tasarımı” adlı çalışmada; Araçtan Araca Yönelik Tasarlanmış Kompakt Bir Yerleştirme anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. 5.9 GHz çalışma bandında tamamen işlevsel bir mikroşerit fraktal anten şeması sunulmaktadır. Yama olarak kullanılan fraktal yapılar, Lindenmayer sisteminin sembolik uygulamasındaki aynı dönüşümler kullanılarak MATLAB™’da oluşturulmuş ve anteni beslemek için bitişik bir iletim hattı kullanılmıştır. Kare düzlem 45° döndürülmüş ve iki ortogonal dairesel polarizasyon modunu harekete geçirmek için iletim hattının sonunda köşeler kesilmiştir. Ayrıca projenin boyutunu ve operasyonel bant genişliğini azaltmak

için dielektrik malzemelerle FR-4, RO3006 ve RO3010 olmak üzere üç anten tasarlanmıştır. Bu nedenle RO3010 malzemeden üretilen mikroşerit fraktal anten 5.86 GHz çalışma frekansına, 0.49 dB eksen oranına ve $|S_{11}| -43.05$, kazanç yönü 6.93 dBi ve bant genişliği 255 MHz olan anten tasarlanmıştır.

Zhou vd. (2020)'nin yılında yaptığı “Araçların İnternetine Doğru Evrimsel V2X Teknolojileri: Zorluklar ve Fırsatlar” adlı çalışmada; V2X teknolojisinin durumu ve önceki durumuna ilişkin kapsamlı bir analiz ve V2X teknolojisine genel bir bakış sağlar. İlk olarak, DSRC başlangıç noktası olarak tanıtıldığı yerlere bakılmış ve bunun avantajlarını ve dezavantajlarını Hücreli V2X ve IEEE 802.11 V2X iletişimleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, büyük veri ve bulut tabanlı teknolojilerin ortaya çıkışı göz önüne alındığında, büyük veri IoV ve bulut tabanlı IoV'ye yönelik temel teknik zorluklara ve fırsatlara vurgu yapılmıştır.

Botao Feng vd. (2020)'nin yaptığı “5G ve V2X İletişimi için Farklı Radyasyon Özelliklerine Sahip Üç Polarize Anten” adlı çalışmada; Tasarım temel olarak beşinci nesle (5G) dayanmaktadır. Araçtan araca (V2X) iletişim için kullanılan iki adet çift zincirli radyo dipolü ve bir adet çok yönlü tek düzlemlile elemandan oluşur. Tasarlanan dipollerin çevresine sekiz çift farklı boyutta ters L şeklinde bölüm eklenerek hem E hem de H düzlemlerinde geniş ışın genişlikleri, istenen alt ve üst frekans bantları üzerinde elde edilmiştir. Ek olarak, L şeklindeki kısımları birbirine bağlamak için dairesel bir tek kutuplu anten elemanı ve sekiz adet çatal şekilli mikroşerit çubuk kullanılarak, konik ışının kayma açısı 180° 'ye kadar arttırılabilir ve bu da azimut kazancında artışa neden olur. Ölçülen sonuçlar 2.8-3.9 GHz ve 4.5-5.4 GHz empedans bant genişliklerine ulaşılabilirliğini gösteriyor.

D.Duraj vd. (2019)'nin yaptığı “802.11p Frekans Bandında V2X Uygulamaları için ESPAR Anteni” adlı çalışmada; Araçtan her şeye (V2X) uygulamalar için bir prototip ESPAR anteni önerilmektedir. Bu çalışmanın amacı, V2X iletişim sisteminin bağlanabilirliğini ve güvenliğini arttırmak için kablosuz sensör ağlarında yaygın olarak kullanılan ESPAR anten konseptini uyarlamaktır. Önerilen model 802.11p frekans bandı için optimize edilmiştir ve hızlı ve düşük güçlü UltraCMOS SPDT anahtarlarına dayalı yönlendirme modellerini içerir. Önerilen antenin boyutu küçüktür ve 360° alan taraması için benzersiz yönlü radyasyon modelleri sunar. Anten parametrelerinin V2X iletişim

sistemi gereksinimlerine göre değerlendirilmesi için teorik ve simüle edilmiş sonuçlarda çalışmada tartişılmıştır.

Rajesh Kumar vd. (2021)'nin yaptığı “Yeni Nesil Araçtan Her şeye (V2X) İletişim için CPW Beslemeli Kompakt MIMO Anteninin Tasarımı” adlı çalışmada; Yeni nesil araç iletişimi için Ortak Düzlemsel Dalga Kılavuzu (CPW) tarafından desteklenen kompakt bir anten sunmaktadır. Tasarlanan anten 3.5 GHz ve 5.9 GHz frekanslarında rezonansa girerek bu anteni araçtan araca (V2X) iletişimde önemli bir bileşen haline getiriyor. Optimize edilmiş tek hücreli anten yapısı 35 mm $\times$ 20 mm'dir ve 1.6 mm kalınlığında FR-4 alt tabakası için tasarım gerçekleşmiştir. Substratın dielektrik sabiti 4.4 ve kayıp tanjant değeri 0.001 Tasarlanan antenin kazanç değeri 3.5 GHz'de 2.8-2.9 dBi ve 5.89 GHz'de 3.6-3.7 dBi arasında değişmektedir. Anten elemanının genel verimliliği her iki frekans bandında da %60-80'dir. Tasarlanan anten üretilmiş ve test edilmiştir. Bu, llen sonuçların simüle edilen anten sonuçlarıyla uyumlu olduğunu göstermektedir. Araçtan araca (V2V), araçtan altyapıya (V2I) uygulamaları için uygun olduğu çalışmada gösterilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 CST Studio Suite

Bu çalışmada, dairesel polarize V2X anten tasarımında diğer alternatiflere göre daha hızlı ve güvenilir çözüm sağladığı için CST Studio Suite simülatörünü seçtik. CST, üç boyutlu simülasyon yazılımıdır. Elektronik tasarımı ve analizi için doğru ve etkili mikrodalga yazılım çözümleri sunan CST, çeşitli işletim ekipmanlarının tasarımı ve optimizasyonu konusunda en iyi uygulamaları destekler. CST Studio Suite programını kullanarak tasarlayacağımız dairesel polarizasyonlu V2X antenin malzeme seçimi ve tasarım aşamalarını şu şekilde açıklayabiliriz. CST Studio Suite programını başlattıktan sonra projemize bir isim belirliyoruz. Daha sonra tasarlayacağımız projenin frekans aralığını, frekans boyutunu, zaman türünü ve monitör kısmında görmek istediğimiz alanların (E-field, H-field, Farfield, Power flow, Power loss) seçimlerini yapıyoruz. Dielektrik düzleminde kullanacağımız malzemenin düşük maliyetli, iyi basınç özelliklerine sahip, mekanik değişim nedeniyle rahat kullanılabilen bir malzeme olması, genel olarak PCB (baskılı devre kartı) tabanlı antenler için sıklıkla tercih edilen bir malzeme olması önemlidir. Dairesel polarizasyonlu V2X anten tasarımı için FR4 malzemesi uygun bir seçenektir. Toprak düzleminin boyutu frekans aralığı, kapasite ve tasarım özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Toprak düzleminde kullanacağımız malzeme, tasarım özellikleri göz önüne alındığında bakır metalidir. Yama kısmında malzeme seçerken yüksek iletkenlik özelliğine sahip olmaları ve RF (radyo frekansı) uygulamaları için tercih edilen malzemeler olmaları önemlidir. Tez çalışması için yama kısmında yüksek iletkenliğe sahip ve RF uygulamaları için tercih edilen bakır metalini kullanacağız. Bakır malzemesine karar verdikten sonra, yamanın uzunluğu ve genişliğini ayarlamak için Şekil 3.1’de yer alan formüllerden yararlanarak gerekli hesaplamaları gerçekleştireceğiz.

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_R + 1}{2} + \frac{\varepsilon_R - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right)}} \right]$$

$$W = \frac{c}{2f_o \sqrt{\frac{\varepsilon_R + 1}{2}}}$$

$$L = \frac{c}{2f_o \sqrt{\varepsilon_{eff}}} - 0.824h \left(\frac{(\varepsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\varepsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \right)$$

Şekil.3.1 Uzunluk ve genişlik hesaplama formülleri

Başlangıçta tasarım parametresi olarak çalışma frekansı (f_0) seçilir. Daha sonra yamanın genişliği (W), alt tabaka malzemesinin dielektrik sabitine (ε_r) ve kalınlığına (h) bağlı olarak hesaplanır. Bunu takiben, yamanın boyutlarının istenen frekansta rezonansa girecek şekilde ayarlanmasında önemli bir rol oynayan etkili bir dielektrik sabiti (ε_{eff}) belirlenir. Son olarak önceki adımların sonuçlarından yararlanılarak yamanın uzunluğu (L) hesaplanır ve tasarım süreci tamamlanır. Bu yinelemeli metodoloji, belirli operasyonel gereksinimlere ve alt katmana göre uyarlanmış bir mikroşerit yama anteninin sentezini sağlar.

Tasarımımızın sonraki aşaması, besleme olarak adlandırdığımız aşamaya geçeceğiz. CST Studio Suite programı içinde yer alan "Port Hesaplama" kısmına gelerek antenin kalınlık değeri, yama kısmının genişlik değeri ve malzemenin epsilon değerlerini girerek anten beslemesini hazırlayacağız. Simülasyon parametrelerini ayarlayarak (frekans aralığı, sıcaklık aralığı, optimizasyon türü gibi) antenimizin ölçüm aşamasına geçeceğiz. CST Studio Suite programı içinde yer alan "Solver" seçeneğini kullanarak simülasyonu başlatıyoruz. Daha sonra simülasyon sonuçlarını analiz edeceğiz. S-parametreleri, dağıtılmış alanlar, radyasyon desenleri, bant genişliği, verimlilik, kazanç ve diğer performans metriklerini kontrol edeceğiz. Kontroller sonucunda elde edeceğimiz sonuçlara göre optimize etme ve iyileştirme aşamasına geçeceğiz. Parametreleri ayarlayarak istenilen performansı elde etmek için tasarımı iteratif bir şekilde iyileştireceğiz. Simülasyon sonuçları gerçek ölçümler veya literatürle karşılaştırıldıktan sonra tasarımın sunduğu performanslar doğrulandıktan ve iyileştirmeler yapıldıktan

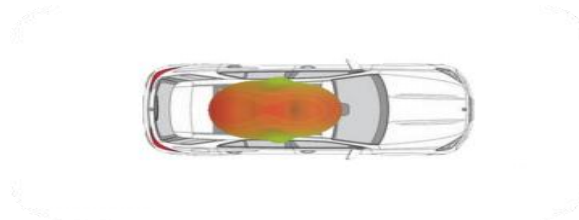
sonra, son kısım olan raporlama ve belgeleme aşamasına geçilecektir. Raporlama ve belgeleme kısmında, anten tasarımının her aşamasını belgeleyip ve raporlayacağız.

3.2 LPKF- Lazer Kaynak Teknolojisi

Tez çalışması kapsamında tasarlanan mikroşerit antenin üretimi LPKF ProtoMat adlı cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. LPKF ProtoMat, lazer kaynak teknolojisini kullanan bir cihazdır ve malzemelerin hassas bir şekilde birleştirilmesi veya işlenmesi için kullanılır. Bu teknoloji, malzemelerin yüksek yoğunluklu bir lazer ışınıyla ısıtılarak ve eritilerek birleştirilmesini sağlar. Özellikle yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda tercih edilen bir yöntemdir.

Antenin üretimi, Teknokrat Savunma ve Havacılık A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu firma, anten üretimi konusunda uzmanlaşmış ve endüstriyel kalitede üretim olanakları sunan bir kuruluştur. Teknokrat Savunma ve Havacılık A.Ş., kaliteli ve hassas anten üretimi için gerekli ekipmanlara ve deneyime sahip bir firmadır. Bu nedenle, tez çalışmasında tasarlanan antenin üretimi için bu firma tercih edilmiştir.

V2X anten tasarımımızın yerleştirileceği konum, aracın şekline uyum sağlayacak ve antenin aerodinamik performansını olumsuz etkilemeyecek şekilde belirlenmelidir. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, antenin konumu özenle seçilmelidir, çünkü bu, antenin etkinliğini ve aracın genel performansını etkileyebilir. Antenin konumu, aracın aerodinamik yapısına uyumlu olmalıdır. Yani, antenin yerleştirilmesiyle aracın hava direnci artmamalıdır. Ayrıca, antenin konumu, aracın estetik görünümünü de etkileyebilir, bu nedenle antenin yerleşimi aracın genel tasarımıyla uyumlu olmalıdır. Antenin yerleşimi aynı zamanda iletişim performansını da etkiler. Optimum iletişim için, antenin engellerden ve metal parçalardan mümkün olduğunca uzakta ve serbest bir görüş hattında olması tercih edilir.



Şekil.3.2 V2X bir antenin araç üzerindeki ışıma örüntüsü



4. MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE SİMÜLASYONU

Bu bölümde V2X uygulamalarında kullanılmak üzere bir mikroşerit anten tasarlayacağız. Tasarım desenleri Computer Science Technology (CST) Studio Suite 2022 yazılımı kullanılarak yapılmıştır ve istenilen frekans için bu yazılımdan elde edilen frekans bandı, kazanç ve radyasyon deseni (CST, 2022) kullanılmıştır. Bu yazılımla yapılandırılan tasarımların detayları bu bölümde yer almaktadır. Bu programın nasıl kullanılacağına ilişkin bilgiler yazılı ve simüle edilmiş bölümlerde verilmektedir.

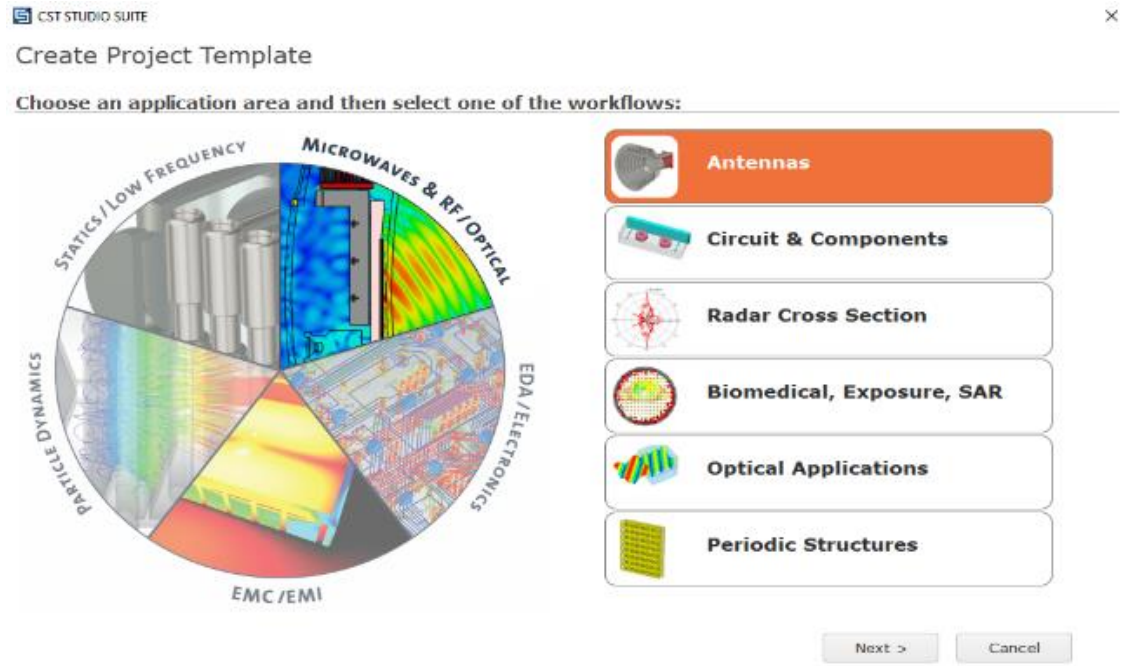
Bu çalışmada mikroşerit hat beslemeli anten tasarımı geliştirilmiştir. Öncelikle hesaplamayı ne sıklıkta yapacağımıza karar vermeliyiz. Tasarım hesaplamaları 2.45 GHz ve 5.9 GHz frekanslarında çift bantlı bir yapı üzerinde gerçekleştirilmiş ve sonuçta 2.4-2.485 ve 5.9 GHz'i kapsayan antenler elde edilmiştir. Anten boyutunu küçük ve pratik tutmak için dielektrik sabiti (ϵ_r) 4.3 olan bir FR4 malzemesi seçildi. Dielektrik malzemenin kalınlığının 1.6 mm olduğu bilinmektedir. Hesaplama kullanılan parametreler şunlardır:

$$f_0 = 2.45 \text{ GHz} \quad (4.1)$$

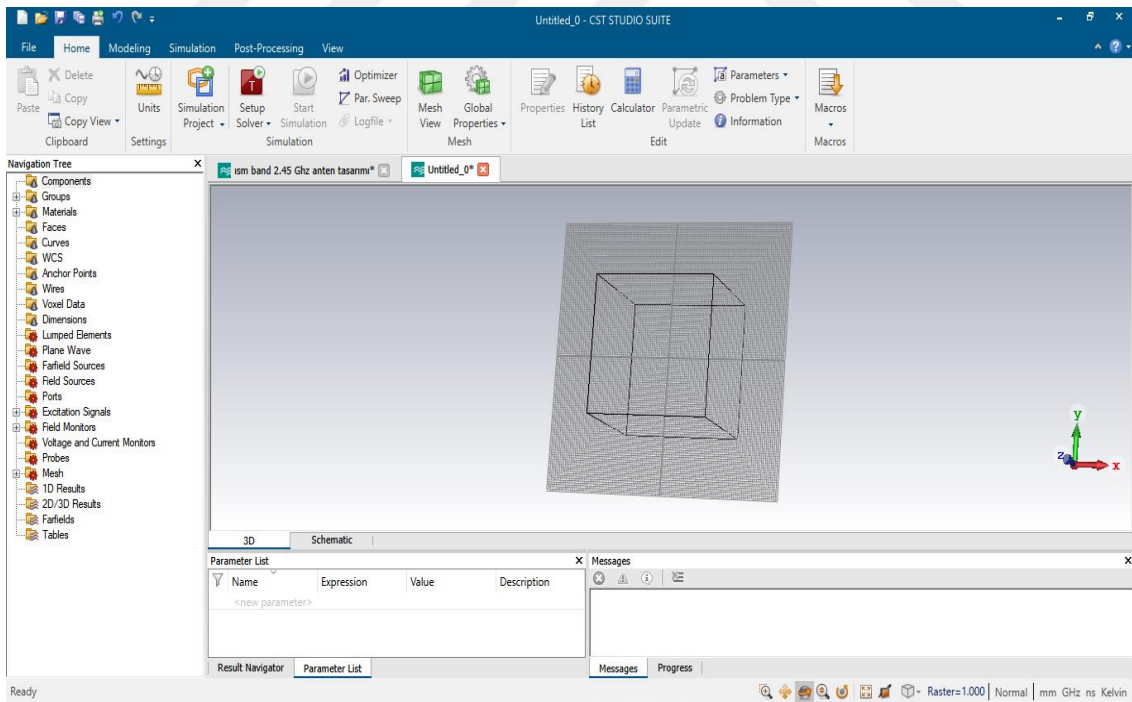
$$\epsilon_r = 4.3 \quad (4.2)$$

$$h = 1.6 \text{ mm} \quad (4.3)$$

CST Studio Suite'in Şekil 4.1'de gösterildiği gibi bir ana ekranı vardır. Burada "Proje Oluştur"> "Yeni Model Oluştur"> "MW & RF & OPTICAL"> "Antenna" tıklanarak modelleme ekranına ulaşıyoruz. Anten düzlem seçimini yama anten olarak belirledik. Sonraki aşamada karşımıza gelen düzlem üzerinden "Time domain" (Zaman domaini) seçeneğini işaretleyip devam ediyoruz. Parametre değerleri ile ilgili bir ekran bölümünde ise frekansın büyüklüğünü (GHz), zamanı (ns), voltajı (V), akımı (A), rezistans (Ohm) gibi değerleri giriyoruz. Frekans aralığı ve monitör analiz ekranına önerilen antenin frekans değerlerini ve monitör analiz kısımlarını girdik. Herhangi bir problem yoksa, "next"e tıklayıp tasarım kontrol ekranına geçip antene isim veriyoruz.



Şekil.4.1 CST STUDIO açılış ekranı



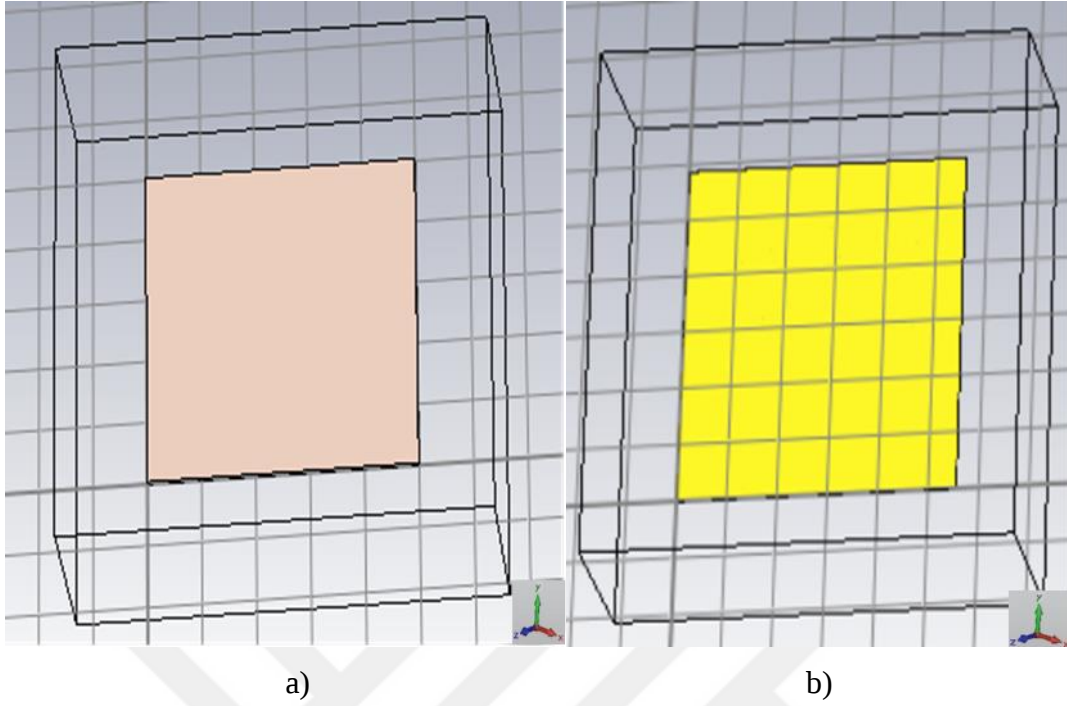
Şekil.4.2 CST STUDIO anten tasarım düzeni

Öncelikle programın sol alt kısmında yer alan anten parametre listesinden (Çizelge 4.1) anten tasarımında kullanılan değerleri anten tasarım ekranında çıkan parametre listesine kaydedilir (Şekil 4.2).

Çizelge 4.1 Anten boyut parametreleri

Parametre	Değer(mm)	Parametre	Değer(mm)
L	117.39	Lm	28.564
W	111.12	Lr	11.739
Lg	57.294	Wt	20.347
Wg	52.629	Wr	43.043
F	3.913	R1	5.8695
G	1.4	R2	9.7825
St	1.6	Ct	0.035
M	20.738	D	21.521
Gx	13.695	G2	4.4999
G1	0.9782	K	3.913

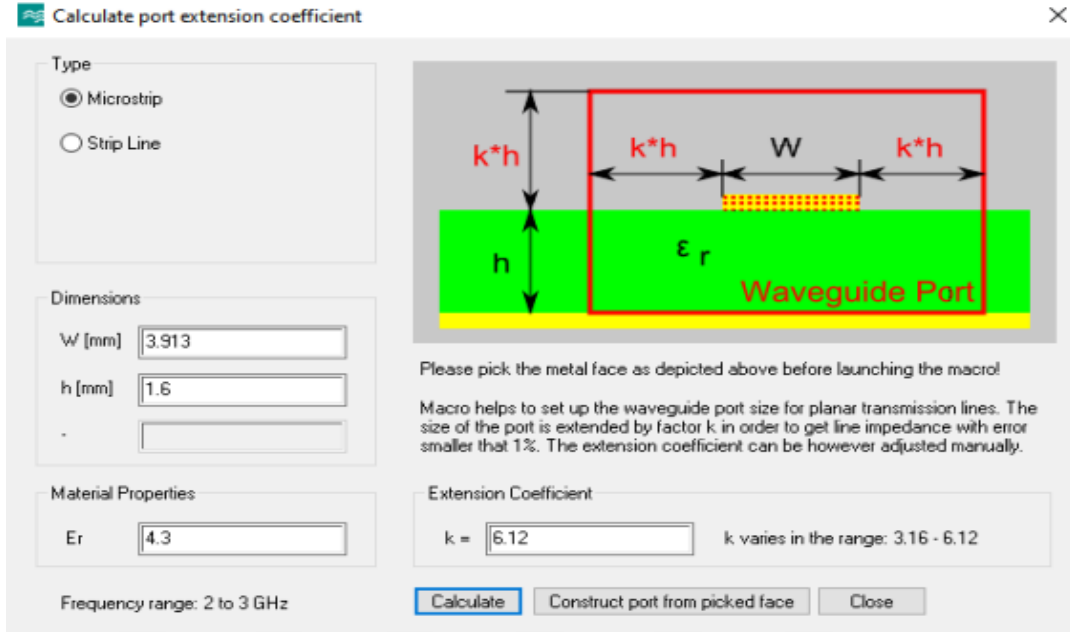
CST Studio Suite'in tasarım ekranında "Model" > "Brick" seçeneğine tıklayın, ESC tuşuna basın, parametre değerlerini girin ve açılan ekranda bir FR4 malzemesi oluşturun. "Malzemeler" yazan yere tıklayın, "[Malzeme Kitaplığından Yükle...]"ye tıklayın, "FR-4 (Kayıplı)"yı seçin ve "Yükle"ye tıklayın. Daha sonra "Önizleme" bölümüne tıklayın ve şekli kontrol edin, ardından "Tamam" bölümüne tıklayın ve FR4 malzemesini oluşturun. Materyal kütüphanesinden FR4 malzemesini seçmiş durumundayız.



Şekil.4.3 Alttaş tasarım aşaması a) Ön taraf b) Arka taraf

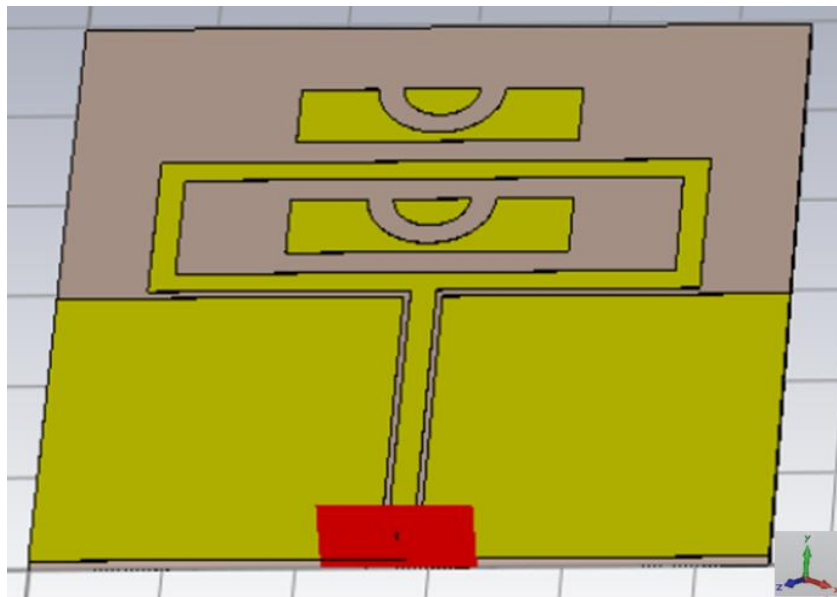
CST Studio Suite tasarım ekranında "Modelleme" > "Brick" seçeneğine tıklayın ve ESC tuşuna basın. Açılan ekranda parametre değerlerini girerek bir alan oluşturun. "Bakır (Annealed)" olarak "Malzeme" seçeneğini seçin. Bu adımlardan sonra tekrar "Modelleme" > "Brick" seçeneğine tıklayın ve ESC tuşuna basın (Şekil 4.3). Karşınıza çıkan ekranda Mikroşerit hat planı oluşturmak için parametre değerlerini giriniz. "Malzeme" satırı olarak "Bakır (Annealed)" seçeneğini seçin. Önerilen antenin genel tasarım özellikleri aşağıdaki gibidir. Hepsini tek parça şeklinde anten oluşturmak için; Ctrl tuşunu basılı tutun ve "Line" ve "Patch" seçeneğine tıklayın. "Patch" ve "Line" ayrıdır, bu nedenle iki ayrı nesneyi birleştirmek için programda "Modelleme"> "Boolean"> "Ekle" seçeneğine gidin. Birleştirmek için klavyenizdeki Ctrl tuşunu basılı tutun ve "Line" ve "Patch" öğelerine tıklayın.

Mikroşerit antenimizin besleme aşamaları sırasıyla aşağıdaki gibidir;
İlk olarak, 50 ohm empedans eşleşmesi için "Başlat" > "Uygulamalar" > "Çözücü" > "Bağlantı Noktaları" > "Bağlantı Noktası Genişletme Bağlantı Noktası Hesaplaması"nı tıklayın. Açılan ekranda parametre değerlerini girin ve empedans uyumu için gerekli olan parametre değerlerini alın. Burada "hesaplama" diyoruz ve k değerini alıyoruz. $k=6,12$ 'yi verir (Şekil 4.4).



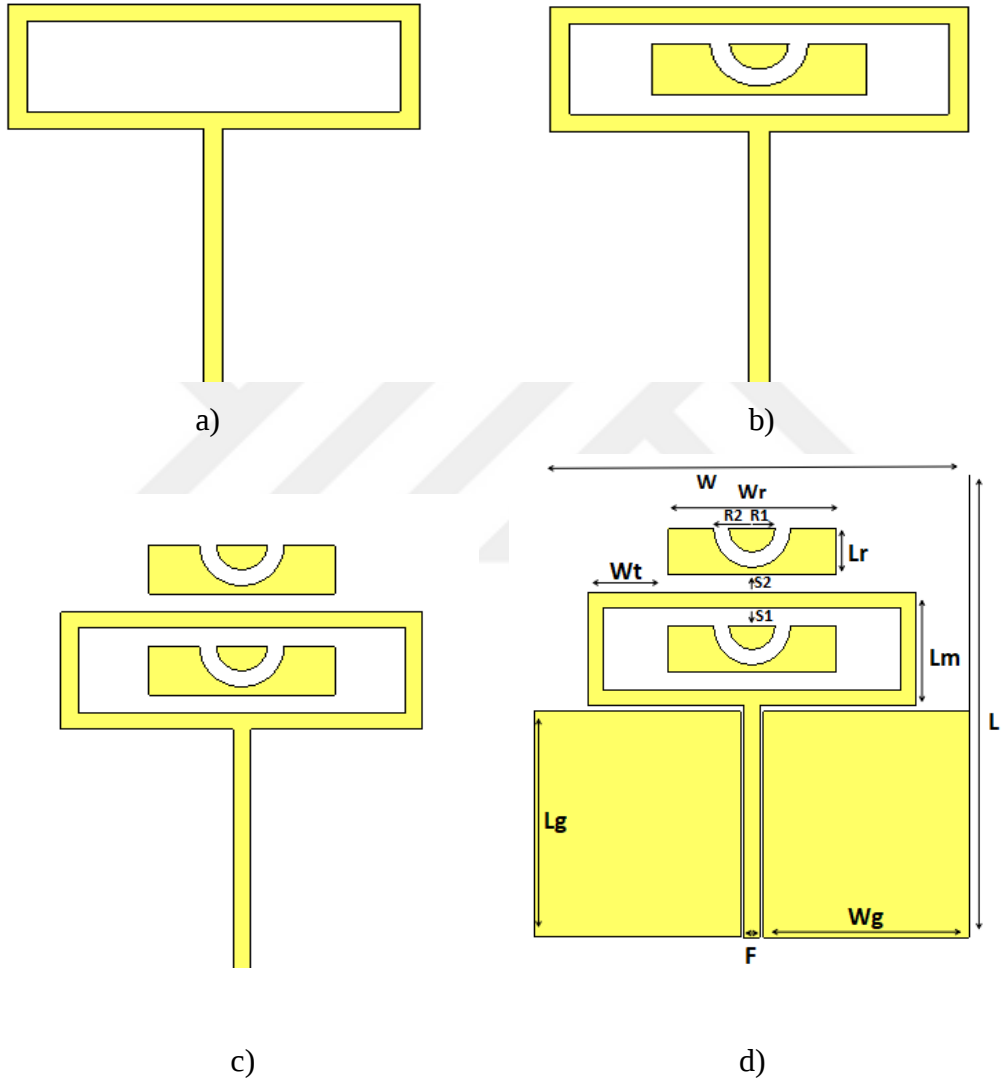
Şekil.4.4 Anten besleme empedans uyum ayarı

Dalga kılavuzu portu için gerekli parametre değerlerini elde ettikten sonra, dalga kılavuzu portunu mikroşerit kaynağına eklemek için "Simülasyon" > "Seçenekler" > "Görüntü Al"a tıklayın. Bu adımdan sonra "Simülasyon" > "Waveguide Port"a tıklayın ve bir port ekleyin. Şekil 4.5' de Bir dalga kılavuzu portunun nasıl ekleneceğini göstermektedir.



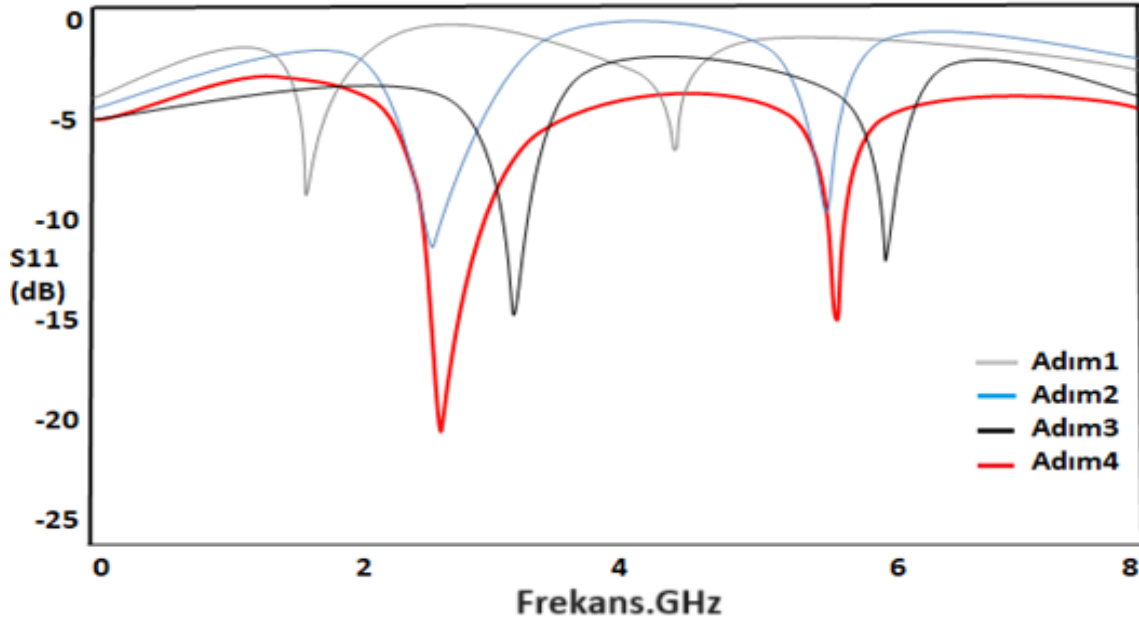
Şekil.4.5 Mikroşerit anten port ayarlanması

Önerilen antenin tasarım adımları Şekil 4.6’da gösterildiği gibidir. Şekilde a adımında besleme hattını b adımında besleme hattıyla birlikte en iç yamayı, c adımında üst yama eklenmiş ve son olarak d adımında ise önerilen antenin son hali gösterilmektedir.



Şekil.4.6 Önerilen antenin tasarım adımları a) Adım 1 b) Adım 2 c) Adım 3 d) Adım 4

Anten tasarım adımlarının yansıma kaybı grafik eğrileri Şekil 4.7’de verilmiştir.



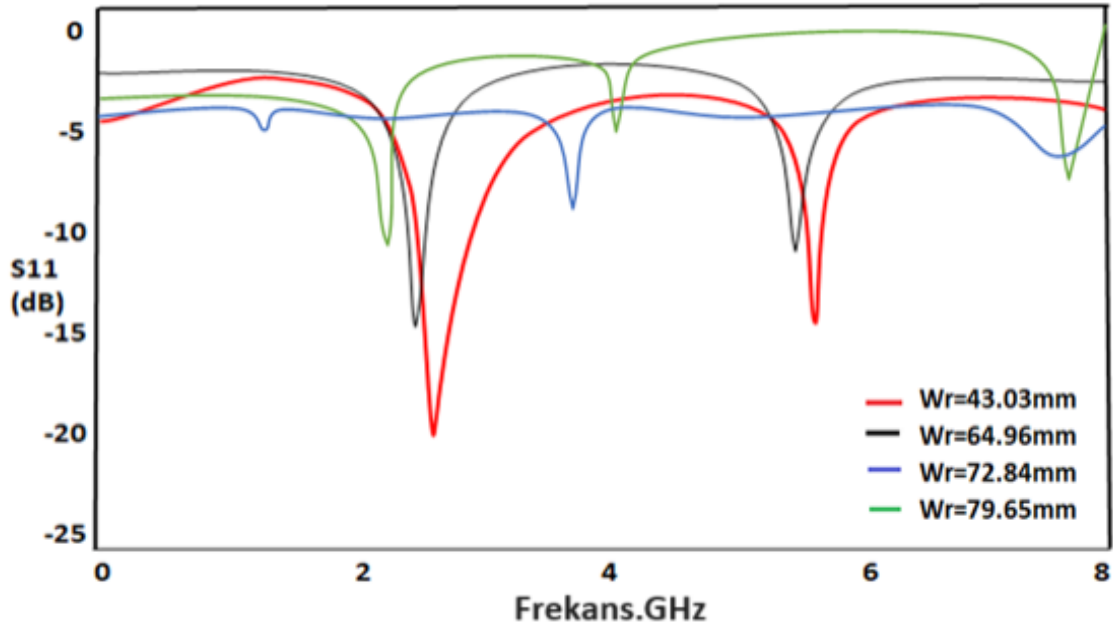
Şekil.4.7 Tasarım adımları göre yansıma kaybı (S11) eğrileri

4.1 Anten Yama Şekli Üzerinde Parametrik Çalışma

Bu ana başlık altında w_r , l_m ve l_r değerlerinin anten yansıma kaybına etkisi ile ilgili bilgiler sırasıyla verilmiştir.

4.1.1 ‘ w_r ’ Değerinin Anten Yansıma Kaybına (S11) Etkisi

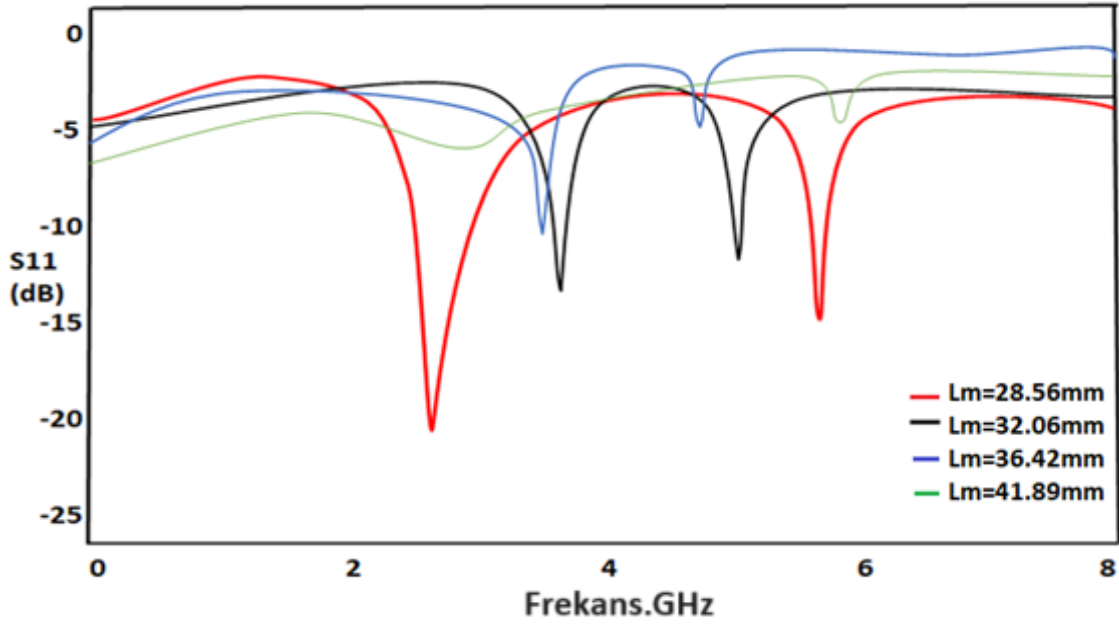
Tasarımın yama bölgesinde bulunan w_r (En iç yama genişliği) parametresinin çeşitli değerlerde değiştirilmesi sonucunda meydana gelen etkiler incelenmiştir. Sırasıyla 64.96 mm, 72.96 mm ve en son olarak 79.65 mm belirlenen w_r değerlerinde gözlemler yapılmıştır. Bu değişikliklerin sonucunda, S-parametre grafiği üzerinde, 2.45 GHz ve 5.9 GHz bantlarında istenmeyen frekansların tespit edildiği ve tasarımların çalışmaya katkı sağlamadığını ortaya koymaktadır. S-parametre grafiği üzerinde Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil.4.8 W_r parametresinin anten yansıma kaybına etkisi

4.1.2 ‘ L_m ’ Değerinin Anten Yansıma Kaybına (S_{11}) Etkisi

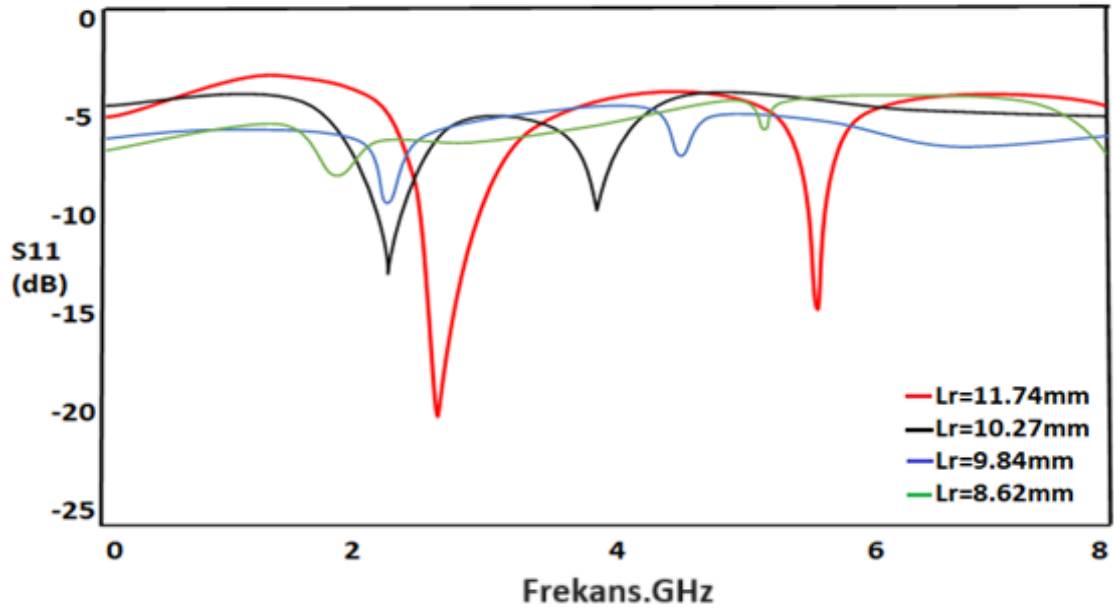
Tasarımın yama bölgesinde bulunan L_m (İç yama uzunluğu) parametresinin çeşitli değerlerde değiştirilmesi sonucunda meydana gelen etkiler incelenmiştir. Sırasıyla 32.06 mm, 36.42 mm ve en son olarak 41.89 mm belirlenen L_m değerlerinde gözlemler yapılmıştır. Bu değişikliklerin sonucunda, S-parametre grafiği üzerinde, 2.45 GHz ve 5.9 GHz bantlarında istenmeyen frekansların tespit edildiği ve tasarımların çalışmaya katkı sağlamadığını ortaya koymaktadır. S-parametre grafiği üzerinde Şekil 4.9’da gösterilmektedir.



Şekil.4.9 Lm parametresinin anten yansıma kaybına etkisi

4.1.3 ‘Lr’ Değerinin Anten Yansıma Kaybına (S11) Etkisi

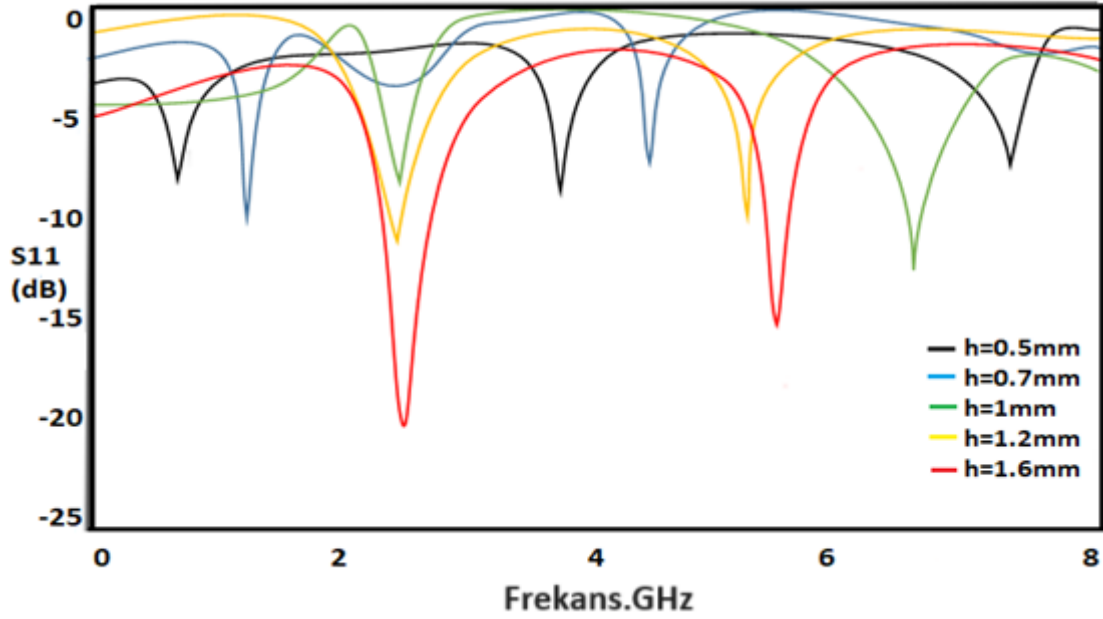
Tasarımın yama bölgesinde bulunan Lr (En iç yama uzunluğu) parametresinin çeşitli değerlerde değiştirilmesi sonucunda meydana gelen etkiler incelenmiştir. Sırasıyla 11.74 mm, 10.27 mm, 9.84 mm ve en son olarak 8.62 mm olarak belirlenen Lr değerleri, yarıçaplarda değişikliklere sebep olmuştur. En iç yama yarıçap uzunluğu, başlangıçta 5.8695 mm olan değerden 5.685 mm'e düşmüş, ayrıca en iç yama yarıçapı ile boşluk arasındaki mesafe değeri, 9.7825 mm'den 9.67 mm'e azalmıştır. Bu değişikliklerin sonucunda, S-parametre grafiği üzerinde, 2.45 GHz ve 5.9 GHz bantlarında istenmeyen frekansların tespit edildiği ve tasarımların çalışmaya katkı sağlamadığını ortaya koymaktadır. S-parametre grafiği üzerinde Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil.4.10 Lr parametresinin anten yansıma kaybına etkisi

4.2 Altaş Malzemenin Kalınlığının Anten Performansına Etkisi

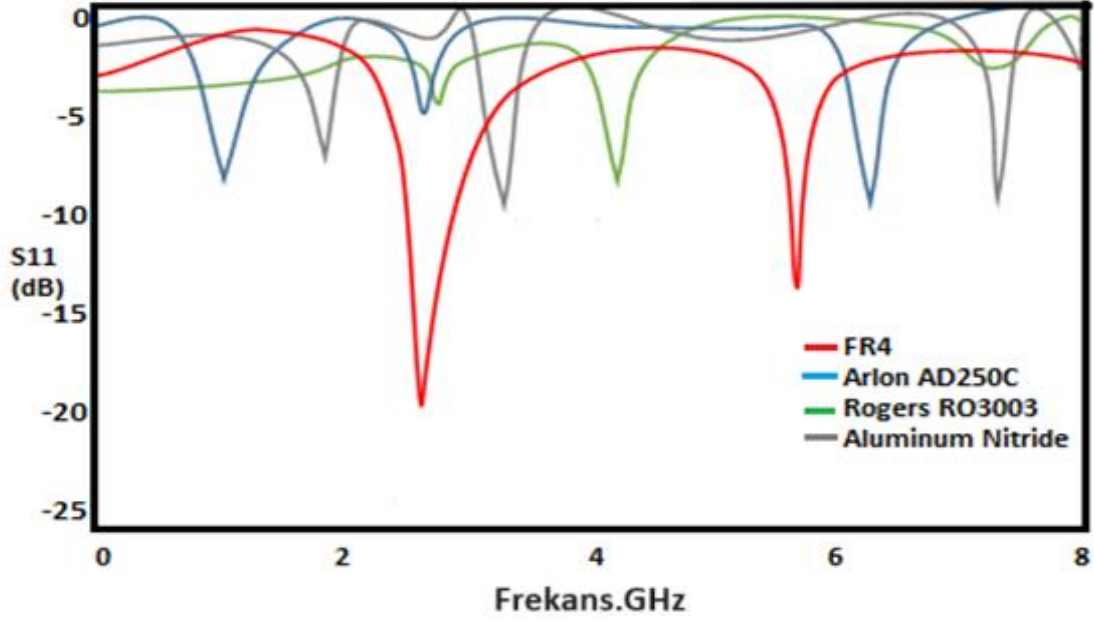
Tasarımımızda, dielektrik kalınlık değerini değiştirdiğimizde çalışma frekansının farklı değerlere kaydığını gözlemledik. Örneğin, 0.5 mm kalınlığında frekans 4 GHz'e kayarken, 0.7 mm'de 2 GHz ve 4 GHz arasında değişmektedir. 1 mm kalınlığında frekans 6 GHz'in üzerine çıktı, ancak 2.45 GHz'de istenilen düzeyin altına inmedi. 1.2 mm kalınlığında ise 2.45 GHz'de istenen düzeyin altına indi. Bulunan değerler yetersiz olup, çalışmaya katkı sağlamayacaktır. İstenen frekans değerlerine ulaşılması için dielektrik kalınlığında optimizasyon çalışması sürdürülmüştür. Nihayetinde dielektrik kalınlık değerini 1.6 mm aldığımızda 2.45 GHz ve 5.9 GHz frekanslarında yansıma kaybının -10 dB altına indiği görülmektedir. Beş farklı kalınlık değerleri için elde edilen S11 eğrileri Şekil 4.11'de verildi.



Şekil.4.11 Alttaş dielektrik malzeme kalınlığına göre S11 eğrileri

4.3 Alttaş Elektriksel Geçirgenliğinin (ϵ) Anten Performansına Etkisi

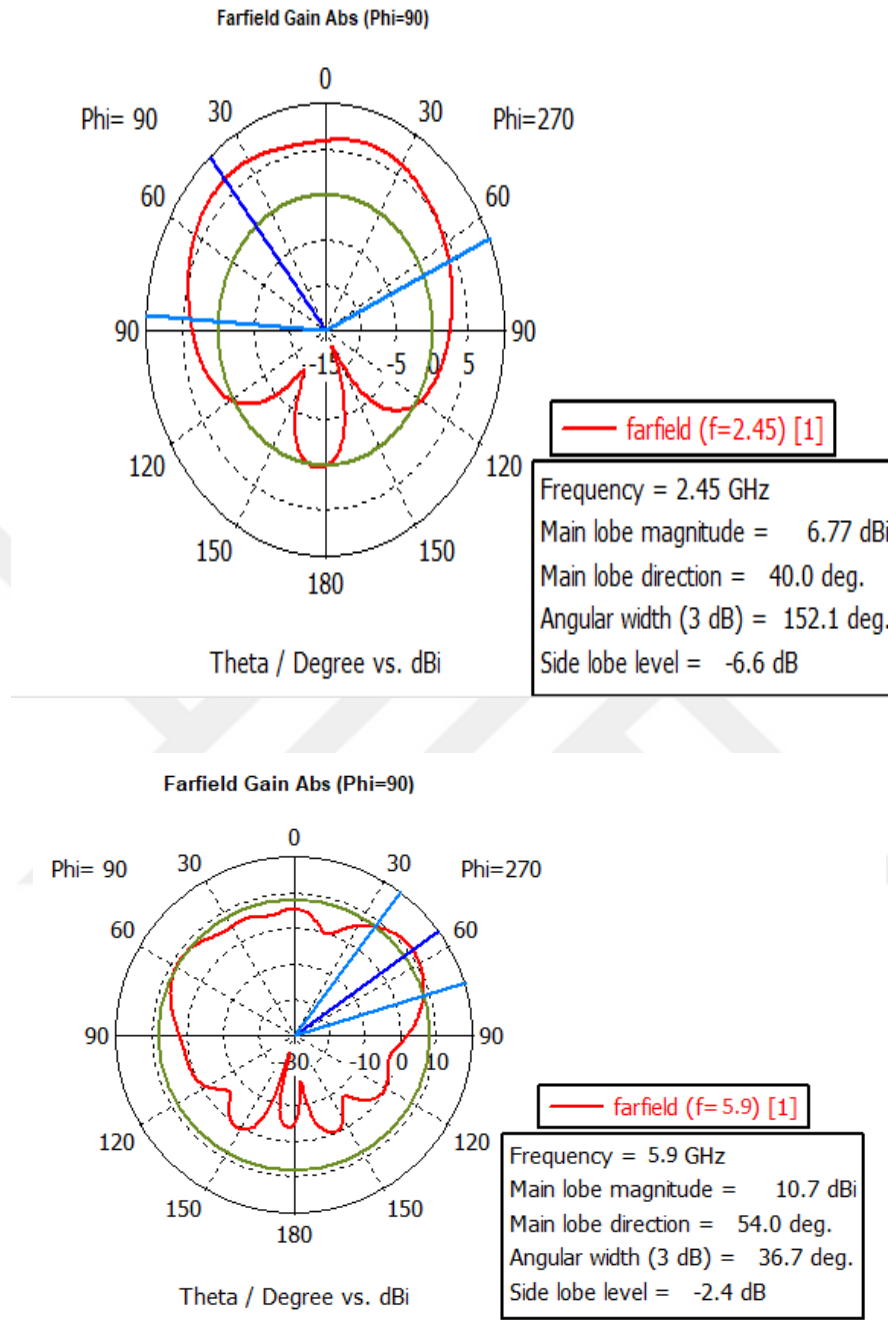
Tasarımımızda, çeşitli dielektrik katsayılarına sahip malzemelerin anten performansı üzerindeki etkisini incelemiş bulunmaktayız. Arlon AD250C, Rogers RO3003 ve Aluminum Nitride gibi malzemelerin yanı sıra FR4 materyali üzerinde çalışmalar yürütmüş bulunmaktayız. Dielektrik katsayıları sırasıyla 2.5, 3, 8.6, 4.3 olan bu malzemelerin, 2.45 GHz ve 5.9 GHz frekanslarında anten performansına etkisi değerlendirilmiştir. Örneğin, Arlon AD250C malzemesi, 2.45 GHz ve 5.9 GHz frekanslarında belirli bir değer sağlamış ancak bu değer yeterli bulunmamıştır. Benzer şekilde, Rogers RO3003 (lossy) ve Aluminum Nitride (lossy) malzemeleri de aynı frekans aralıklarında belirli değerler sunmuş olmalarına rağmen, bu değerler -10 dB'nin altında olduğundan dolayı yetersiz görülmüştür. Son olarak, FR4 materyali üzerinde yürütülen çalışmalar sonucunda, 2.45 GHz ve 5.9 GHz frekanslarında -10 dB'nin altında yeterli bir değer elde edilmiş ve bu materyalin çalışmaya katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır. Elde edilen bu değerler, Şekil 4.12'de S11 eğrileriyle görselleştirilmiştir.



Şekil.4.12 Alttaş malzeme çeşidine göre anten S11 eğrileri

4.4 Anten Işıma Örüntüsü

Mikroşerit antenler, genellikle yönlü bir yapıya sahiptir, yani belirli bir ana lob ve yan loblarla karakterize edilirler. Ana lob, antenin yayıldığı temel yöndür ve enerjisinin çoğunu taşır. Yan loblar, ana lobdan uzakta oluşan daha küçük radyasyon loblarıdır. Yan loblar, genellikle istenmeyen yönlerde enerji yaydıkları için minimize edilmeye çalışılır. Ana lobun belirli bir kesri (genellikle yarım güç veya -3 dB) ile ölçülen radyasyonun yoğunluğu, antenin ışın genişliğini belirler. Bu, antenin radyasyon düzeninin açılal kapsama alanını tanımlar. Uzak alan radyasyon desenleri her dört dielektrik alt tabaka için ayrı ayrı çizilmiştir. FR4, Rogers RO3003, Arlon AD250C, Aluminum Nitride'nin kazanç değerleri sırasıyla 6.77 dBi, 3.07 dBi, 2.22 dBi, 5.91 dB'dir. FR4 ve Aluminum Nitride'nin değerleri birbirine çok yakınken Rogers RO3003 ve Arlon AD250C değerlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.13'de FR4 alt tabakasının 2.45 GHz ve 5.9 GHz'deki kazanç desenleri verilmiştir. FR4 alt tabakasının 2.45 GHz frekansında 6.77 dBi kazanç değerini göstermekte, 5.9 GHz frekansında ise daha iyi sonuç vererek 10.7 dBi kazanç değerini göstermektedir.

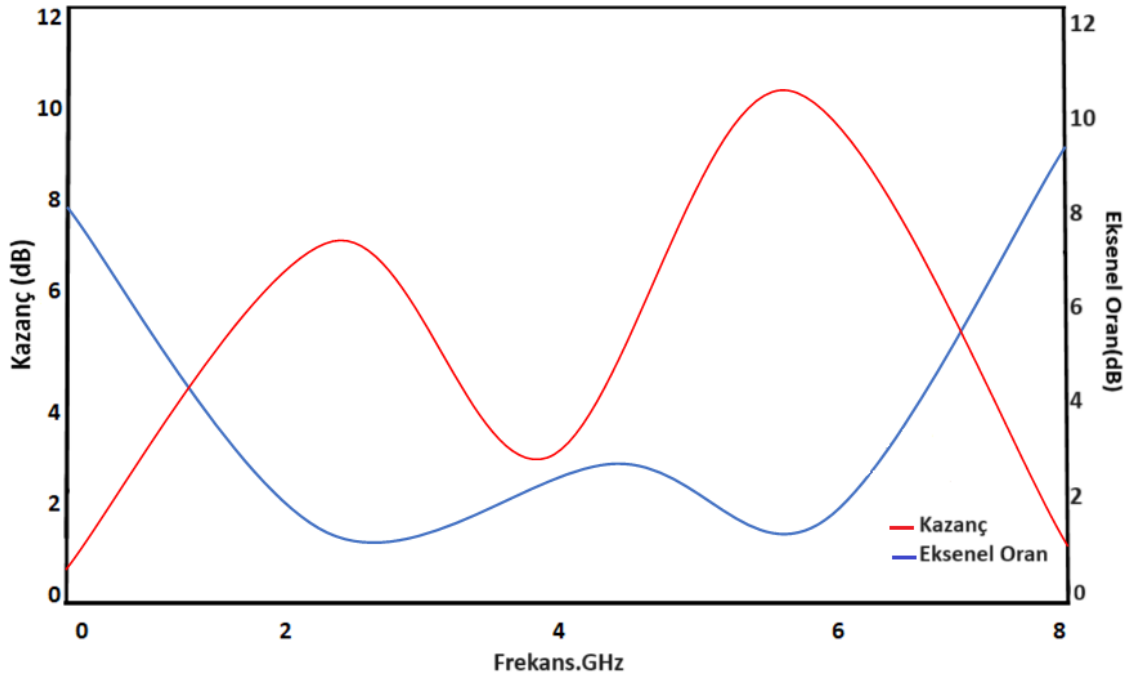


Şekil.4.13 Anten ışıma örüntüleri

4.5 Eksenel Oran ve Kazanç

Eksenel oran, antenin dairesel polarizasyon özelliğini gösteren bir ölçüttür. Bu oran, elektrik alan vektörü tarafından tanımlanan büyük ve küçük eksenlerin büyüklüklerinin oranıdır. Dairesel polarizasyona sahip antenlerde bu oranın değeri genellikle 1 olarak kabul edilir. Eksenel oran, antenin polarizasyon karakteristiğini belirlemede önemli bir parametredir. Tasarladığımız antenin dairesel polarizasyon karakteristiğinin doğrulanması için eksenel oran grafiği simülasyon yardımıyla elde edildi ve eksenel oranın 1.92 GHz ile 6.27 GHz aralığında 2'nin altında olduğu görüldü.

Ayrıca 8 GHz' e kadar bir spektrum aralığında anten kazanç değerleri elde edildi. Maksimum kazanç 2.45 GHz frekansında 6.77 dB iken 5.9 GHz frekansında ise 10.7 dB olduğu gözlemlendi. Şekil 4.14'de kazanç ve eksenel oran simülasyon sonuçları aynı grafik üzerinde verilmiştir.



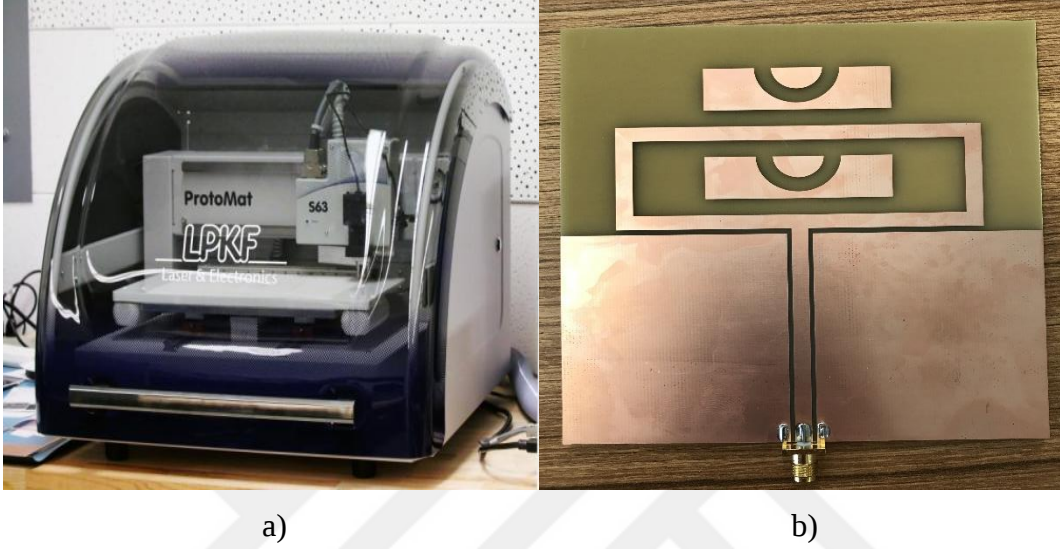
Şekil.4.14 Kazanç ve eksenel orana göre anten S11 eğrileri

5. FABRİKASYON VE ÖLÇÜM

Bu bölüme kadar, hedeflediğimiz çift bant frekans aralıklarında yüksek kazanç elde etmek için tasarladığımız anten yapısındaki önemli boyut parametrelerinde iyileştirmeler yapılmıştır. Ayrıca, bu optimizasyon çalışmalarında, besleme hattının uzunluğu ve genişliği de özellikle dikkate alınmış ve yüksek performans için ayarlamalar yapılmıştır. Bunun nedeni, geri dönüş kaybı ve kazanç üzerinde bu parametrelerin belirgin bir etkisinin olmasıdır. Empedans uyumu da önemli bir rol oynamıştır, çünkü antenin ve besleme hattının empedans uyumu, verimlilik ve performans açısından kritik bir faktördür. Bu ayarlamalar, antenin istenen performansı elde etmesine yardımcı olmuştur.

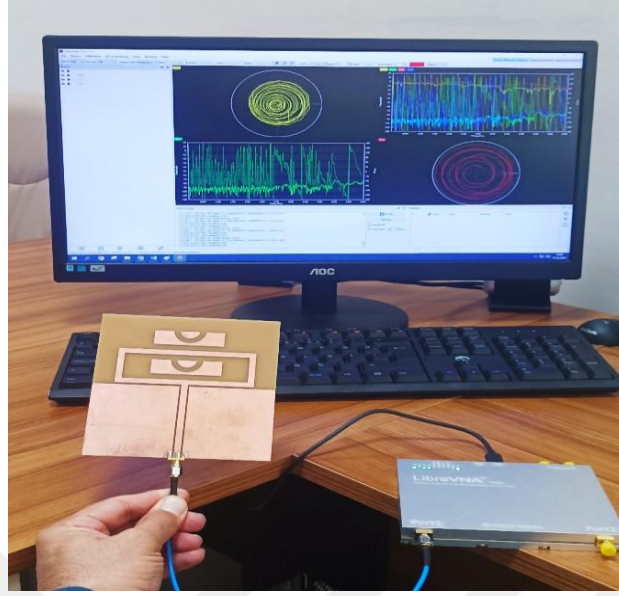
Bu çalışmamızdaki optimizasyon çalışmalarının bilgisayar destekli simülasyonlar ile yapılmasının nedeni gerçek dünya testlerinin maliyetli ve zaman alıcı olmasıdır. Gerçek tasarım ve üretim süreci, prototip üretimi, test edilmesi ve iyileştirmelerin yapılması gibi adımları içerir ki bu adımların her biri zaman alıcıdır ve maliyetlidir. Simülasyonlar, bu süreci büyük ölçüde hızlandırır ve maliyetleri azaltır. Bilgisayar destekli simülasyonlar, farklı tasarım parametrelerini hızlı bir şekilde değerlendirmeye olanak tanır ve en uygun tasarımı belirlemek için iteratif bir süreci kolaylaştırır. Bizde bilgisayar ortamında tasarlayıp optimize ettiğimiz antenin gerçek ortamda testini gerçekleştirmek için nihai halinin üretimini gerçekleştirdik. Dielektrik alttaşı malzeme olarak FR4, yama ve toprak düzlemleri için ise 0.0035 mm kalınlığında bakır iletkeni kullanılmıştır. FR4 malzemesinin seçilmesindeki amaç, tasarım aşamasında test edilen diğer dielektrik materyallerin (Arlon AD 250C, Rogers RO3003, Aluminum Nitride) istenilen rezonans frekansını karşılamaması ve yetersiz performans değerleri içermesidir. Aynı zamanda kullanılan FR4 dielektrik malzemesinin kolay bulunması ve ekonomik olarak üretime uygun olması da diğer bir avantajıdır. Bu çalışmalar sonucunda ortaya çıkan en iyi tasarımın prototipi "Teknokar Savunma ve Havacılık A.Ş." tarafından üretildi. Şekil 5.1'de gösterildiği gibi üretim aşamasında baskı devre kazıma makinası olarak LKPF Protomat S63 kullanılmıştır. LKPF ekipmanı, devre kartı ve mikro uygulamalar için hassas lazer kesim ve delme yeteneklerine sahip üretim teknolojisi sunar. Bu teknoloji, devre kartlarını (PCB'ler) ve benzeri malzemeleri kesmek, delmek ve imal etmek için bir lazer ışınının kullanılmasını içerir. LKPF ekipmanı, malzemeleri

tasarım detaylarına göre doğru bir şekilde işleyerek elektrik prototipleri ve devre kartları üretebilir. Bu teknolojinin elektrik endüstrisinde birçok kullanımı vardır ve yüksek hassasiyet ve hızlı çalışma olanağı sağlar.



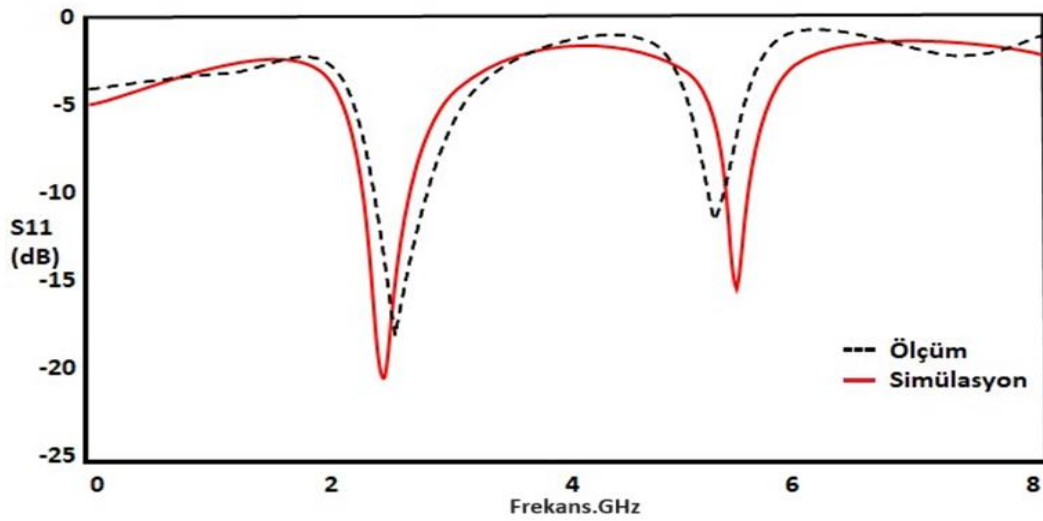
Şekil.5.1 a) Baskı devre kazıma cihazı b) Tasarımın prototip hali

Oluşturulan modelin giriş değerlerini gerçek ortamda ölçmek ve simülasyon sonuçlarını doğrulamak için saçılma parametreleri 6 GHz'e kadar ölçüm yapabilen cep boy Vektör Ağ Analizörü (VNA) kullandık. VNA, yüksek güçlü sistemlerde ve radyo frekansı (RF) uygulamalarında kullanılan bir ölçüm cihazıdır. Temel olarak VNA'lar, bir cihaz veya bileşen içerisinde geçen elektrik ve RF sinyallerinin çeşitli yönlerini ölçmek ve analiz etmek için tasarlanmıştır. Şekil 5.2'de VNA cihazıyla üretilen antenin ölçümü gösterilmektedir.



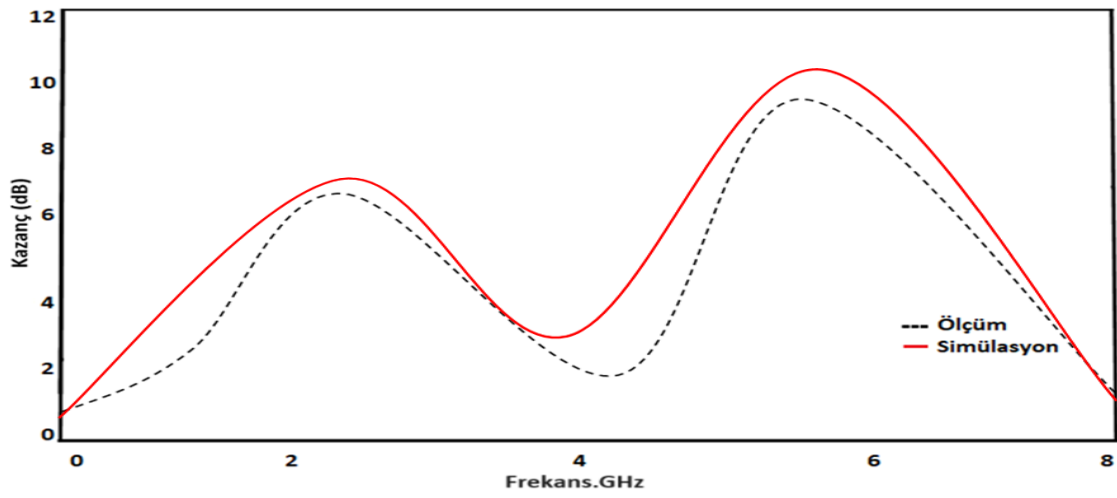
Şekil.5.2 Üretilen anten ve s-parametre ölçüm düzeneği

Elde edilen S_{11} ve kazanç ölçümlerinin sonuçları, bilgisayar kullanılarak simülasyon ve ölçüm sonuçlarını aynı grafikte gösterecek şekilde yeniden çizdirildi ve sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te sunuldu. Ölçümde elde edilen sonuçlara göre 2.45 GHz ile 5.9 GHz frekansında -10 dB'nin altında olduğu görülmektedir. Ölçüm ve simülasyon sonuçları hedeflenen frekans değerlerinde belirli bir uyum içeresindedir. Sonuç olarak bu çalışmada 2.45 GHz ve 5.9 GHz merkez frekansında tasarlanan V2X uygulamaları için uygun dual bant haline gelmiştir.

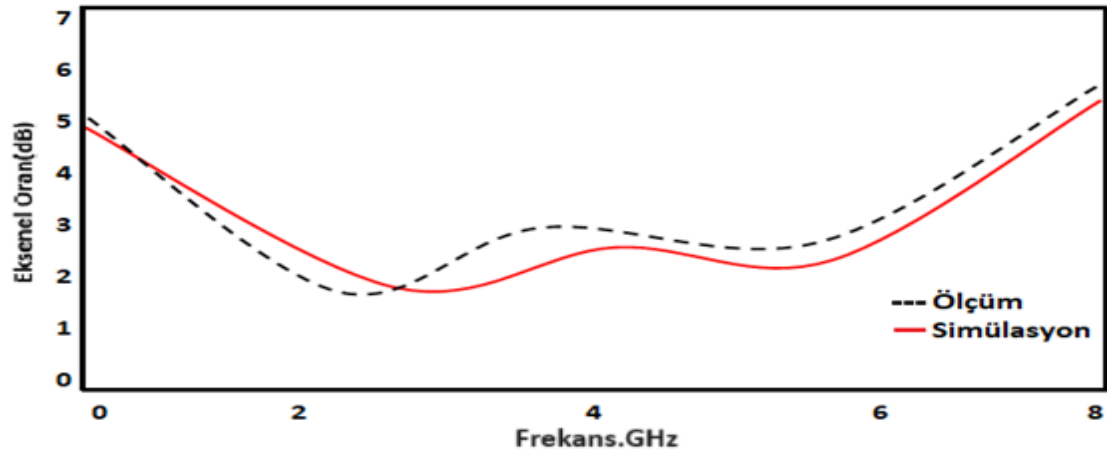


Şekil.5.3 Antenin yansımaya katsayılarının ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması

Tasarlanan mikroşerit yama antenin CST Studio Suite yazılımı kullanılarak eksenel oran ve maksimum kazanç grafikleri elde edilmiştir. Şekil 5.4’de görüldüğü üzere eksenel oran ve maksimum kazanç simülasyon ve ölçüm grafiklerinin karşılaştırmalı hali verilmiştir. Maksimum kazanç 2.45 GHz frekansında 6.77 dB görürken 5.9 GHz frekansında ise 10.7 dB değerini görmektedir. Eksenel oran ise örtüşen bant genişliği 1.92 GHz ile 6.27 GHz aralığındadır. Biraz daha aşağıya kaydırılabilir fakat bant genişlikleri simüle edilen değerlerle iyi uyum sağlıyor.



a)



b)

Şekil.5.4 a) Maksimum kazanç b) Eksenel oran grafiği

6. TARTIşMA VE SONUÇ

V2X teknolojisi araçların birbirleriyle, altyapı ile ve diğerk nesnelerle iletişim kurmasını sağılayan bir kablosuz haberleşme standardıdır. V2X iletişimi, araçların birbirlerini, trafik işarelerini, yaya geçitlerini, bisiklet yollarını ve diğerk altyapı unsurlarını algılayabilmelerini ve bu bilgileri paylaşabilmelerini sağılar. V2X antenleri, ayrıca otonom sürüş teknolojisi için de önemli bir rol oynar. Bu antenlerinin tasarımı, frekans aralığı, verimlilik, dayanıklılık ve polarizasyon gibi faktörler göz önünde bulundurularak yapılır.

Bu çalışmada, V2X iletişimi için optimize edilmiş yeni bir çift bantlı yüksek kazançlı kompakt dairesel polarizasyona sahip mikroşerit anten tasarımı önerilmektedir. Bu tasarım, WLAN uygulamalarında kullanılan 2.45 GHz ve DSRC bandında yer alan 5.9 GHz çalışma frekanslarını kapsayacak şekilde çift bant olarak optimize edilmiştir. Bu çalışmada önerilen anten, ilk tasarım aşamasından son haline kadar titiz parametrik çalışmalar ve simülasyon süreçlerinden geçerek optimize edilmiştir. Kazanç ve bant genişliği gibi parametrelerde en iyi performansı sağılamak için anten şekli ve boyutları optimize edilerek son hali verilmiştir. Her aşama için S11 yani yansıma kaybı eğrileri çizdirilerek çalışma frekans aralığı ve bant genişliği gösterilmiştir. Daha sonra anten tasarımında kullanılan alttaş kalınlığının anten performansına etkisi incelenmiş ve bunun için beş farklı kalınlık değerleri kullanılarak ayrı ayrı simüle edilip sonuçlar grafik halinde verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bu dört farklı değer içerisinde optimum performansa 1.6 mm kalınlık ile ulaşılmıştır. Ayrıca kullanılan alttaşın elektriksel geçirgenliğinin anten performans parametrelerine etkisini incelemek için FR4, Arlon AD250C, Rogers RO3003 ve Aluminum Nitride olmak üzere dört farklı dielektrik malzeme üzerine ayrı ayrı tasarımlar yapılarak simülasyonları yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Simülasyon sonuç verilerine göre 4.3 geçirgenlik ve 1.6 mm kalınlığındaki FR4 dielektrik alttaşın en iyi performansı sunduğı belirlenmiştir.

Tüm bu parametrik çalışmaların sonunda elde edilen antenin optimum halinin uzak alan radyasyon desenleri çizdirilmiş ve bu sonuçlara göre, 2.45 GHz'de 6.77 dBi ve 5.9 GHz'de 10.7 dBi kazanç değerleri elde edilmiştir. Antenin dairesel polarizasyona sahip olduğı eksenel oran grafikleri ile de gösterilmiştir.

Simülasyon sonucunda elde edilen verileri doğrulamak için antenin prototip üretimi yapılarak saçılma parametreleri cep boy bir VNA ile ve kazanç ölçümü ise RF/Mikrodalga laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarının çok az farkla simülasyon sonuçları ile yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada tasarlanan anten, araçtan araca, araçtan altyapıya ve araçtan yayaya dâhil olmak üzere DSRC bantları için ve özellikle WLAN gibi çeşitli kablosuz uygulamalar için dairesel polarizasyona sahip uygun bir adaydır.



KAYNAKLAR

- Balanis, C. A. (2016). **Antenna Theory: Analysis and Design** (4. ed.). John Wiley & Sons: Newyork, U.S.A.
- Banerjee, U., Karmakar, A., Saha, A. (2020). A review on circularly polarized antennas, trends and advances. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, 12(9), 922–943.
- James, J. R., Hall, P. S. (1989). **Handbook of Microstrip Antennas**. IEE Electromagnetic Wave Series : London, U.K.
- Tales A. C. de Barros. (2021). Compact circular polarization microstrip fractal antenna design for application in V2X communication in the 5.9 GHz band. *International Journal of Development Research*, 11(9), 50336-50343.
- Çetme, E. (2009). *Yarıklı mikroşerit yama anten dizaynı*, Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Duraj, D., Rzymowski, M., Nyka, K., Kulas, L. (2019). ESPAR Antenna for V2X Applications in 802.11p Frequency Band. **13th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)**, Krakow, Poland.
- Deschamps, G. A. (1953). Microstrip Microwave Antennas. **3rd USAF Symposium on Antennas**, Monticello, U.S.A.
- Fang, D. G. (2017). **Antenna Theory and Microstrip Antennas**. CRC Press: Newyork, U.S.A.
- Feng, B., Chen, J., Yin, S., Sim, C.-Y.-D., Zhao, Z. (2020). A Tri-Polarized Antenna With Diverse Radiation Characteristics for 5G and V2X Communications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(9), 10115-10126.
- Garcia, M. H. C., Molina-Galan, A., Boban, M., Gozalez, J., Coll-Perales, B., Şahin, T., Kousaridas, A. (2021). A tutorial on 5G NR V2X communications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23(3), 1972-2026.
- Zhou, H., Xu, W., Chen, J., Wang, W. (2020). Evolutionary V2X Technologies Toward the Internet of Vehicles: Challenges and Opportunities. *Proceedings of the IEEE*, 108(2), 308-323.
- İmeci, Ş. T., Tütüncü, B., Bešlija, F., Herceg, L. (2022). Microstrip Filters Based on Open Stubs and SIR for High Frequency and Ultrawideband Applications. *Journal of Engineering Research*, 10(3A), 212-223.
- Kutla, M., Pyykonen, P., Huang, Q., Deng, W., Lei, W., Pollakis, E. (2019). C-V2X Supported Automated Driving. **IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)**, Shanghai, China.
- Virothu, S., Anuradha, S. (2022). Conformal CP Antenna for Sub-6GHz Band V2X Applications. **7th International Conference on Computing in Engineering & Technology (ICCET 2022)**, Online Conference.
- Sainati, R. A. (1996). **CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications**. ACM Digital Library: New York, U.S.A.
- Samsuzzaman, M., Islam, M. T., Singh, M. J. (2018). A compact printed monopole antenna with wideband circular polarization. *IEEE Access*, 6, 54713-54725.
- Sengupta, D. L., Sarkar, T. (2003). Maxwell, Hertz, the Maxwellians, and the Early History of Electromagnetic Waves. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 45, 13-19.

- Storck, C. R., Duarte-Figueiredo, F. (2020). A Survey of 5G Technology Evolution, Standards, and Infrastructure Associated with Vehicle-to-Everything Communications by Internet of Vehicles. *IEEE Access*, 8, 117593-117614.
- Narayan, S. K. G., Baskaradas, J. A., Rajesh Kumar, D. (2021). Design of a CPW-fed compact MIMO antenna for next generation vehicle to everything (V2X) communication. *Wireless Personal Communications*, 120, 2179-2200.
- Tütüncü, B., Kösem, M. (2022). Substrate Analysis on the Design of Wide-Band Antenna for Sub-6 GHz 5G Communication. *Wireless Personal Communications*, 125(2), 1523-1535.
- Tütüncü, B., Torpi, H., Urul, B. (2018). A Comparative Study on Different Types of Metamaterials for Enhancement of Microstrip Patch Antenna Directivity at the Ku-Band (12 GHz). *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 26(3), 1171-1179.



ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Hüseyin Oktay

Eğitim Bilgileri

Lisans : Elektrik Elektronik Mühendisliği

Üniversite : Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Fakülte : Mühendislik Fakültesi

Bölüm : Elektrik Elektronik

Mezuniyet Yılı : 2022



VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih 01/03/2024

Tez Başlığı: Dairesel Polarizasyonlu V2X Anten Tasarımı, Üretimi ve Ölçümü
Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın, kapak sayfası, giriş, ana bölümler ve sonuç bölümlerinden oluşan toplam 61 (altmışbir) sayfalık kısmına ilişkin, 01/03/2024 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre tezimin benzerlik oranı %11 (onbir) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Hüseyin OKTAY
Öğrenci No: 21910001472
Anabilim Dalı: Elektrik Elektronik
Programı:

Statüsü: (X) Yüksek lisans () Doktora

DANIŞMAN
UYGUNDUR

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR