



5G UYGULAMASINA YÖNELİK MİKROŞERİT YAMA ANTEN TASARIMI VE ÜRETİMİ

İlayda ÖZKESER¹, Cihan DÖĞÜŞGEN ERBAŞ^{1*}

¹ İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Mikroşerit Yama Anten, Beşinci Nesil (5G), Optimizasyon, Frekans Aralığı, Parazitik Eleman.</i>	Bu çalışmada, Beşinci Nesil (5G) uygulamasına yönelik, ülkemizde ilk etapta hedeflenen 3.5 GHz çalışma frekansında çalışabilecek, özgün, yerli ve milli, iç/dış ortamlarda kullanılabilecek bir mikroşerit yama anten tasarımı yapılmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Diğer anten türleriyle kıyaslandığında görece düşük profilli, hafif, mekanik olarak dayanıklı ve düşük maliyetli olma özelliklerine sahiptir. Anten yaması halka altıgen şeklinde olup her bir dış kenarında yarım daire şeklinde yarık içermektedir. Tasarım sürecinde yama düzlemiyle eş düzlemlili parazitik elemanların kullanılmadığı ve kullanıldığı iki durum incelenmiştir. Parazitik elemanların kullanılmadığı durum için yama geometrisi, alt taban ve anten boyutu seçimleri birlikte değerlendirilerek uygun anten yapılarına ulaşılmıştır. Aynı adımlar parazitik elemanların kullanıldığı durum için de tekrarlanmıştır. Hedef kriterler ve elde edilen antenlere ait başarımlar parametreleri göz önüne alınarak parazitik elemana sahip olmayan bir anten üretim için seçilmiştir. Frekansa bağlı s ₁₁ saçılma parametresinin dB değeri, çalışma frekansına ait maksimum ısıma değeri ve kazanç parametreleri benzetimler ile elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

DESIGN AND FABRICATION OF MICROSTRIP PATCH ANTENNA FOR 5G APPLICATION

Keywords	Abstract
<i>Microstrip Patch Antenna, Fifth Generation (5G), Optimization, Frequency Range, Parasitic Element.</i>	In this study, a unique, domestic and national microstrip patch antenna that can operate at initially and domestically targeted 3.5 GHz frequency, usable in indoor/outdoor environments for the Fifth Generation (5G) application is designed and fabricated. Compared to other antenna types, it has the features of being relatively low profile, lightweight, mechanically durable and low cost. Antenna patch is in the shape of annular hexagon, and each outer edge has a semicircular slot. In the design process, two cases with and without parasitic elements coplanar with the patch plane are investigated. For the case without the parasitic elements, suitable antenna structures are achieved by evaluating the patch geometry, substrate and antenna size selections together. Same steps are repeated for the case with the parasitic elements. One antenna without the parasitic elements is selected for fabrication by taking into account the target criteria and performance parameters of the obtained antennas. Frequency dependent dB value of scattering parameter s ₁₁ , radiation pattern and gain parameters at the operating frequency are simulated, and evaluated.

Alıntı / Cite

Özkeser, İ., Doğuşgen Erbaş, C., (2025). 5G Uygulamasına Yönelik Mikroşerit Yama Anten Tasarımı ve Üretimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 13(3), 709-727.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. Özkeser / 0009-0008-5899-0306
C. Doğuşgen Erbaş / 0000-0003-1977-3567

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	04.09.2024
Revizyon Tarihi / Revision Date	17.05.2025
Kabul Tarihi / Accepted Date	06.08.2025
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2025

* İlgili yazar / Corresponding author: cihan.dogusgen@yeniuyuzil.edu.tr, 444-5001

DESIGN AND FABRICATION OF MICROSTRIP PATCH ANTENNA FOR 5G APPLICATION

İlayda ÖZKESER¹, Cihan DÖĞÜŞGEN ERBAŞ^{1†}

¹Istanbul Yeni Yüzyıl University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, Istanbul, Türkiye

Highlights

- In order for the Fifth Generation (5G) application, a unique, domestic and national microstrip patch antenna that can be used in indoor/outdoor environments is designed and produced at 3.5 GHz operating frequency.
- Two cases with and without parasitic elements coplanar with the patch plane are considered in the design.
- Frequency dependent return loss parameter, radiation pattern and gain parameters at the operating frequency are simulated, and evaluated for each case.

Graphical Abstract

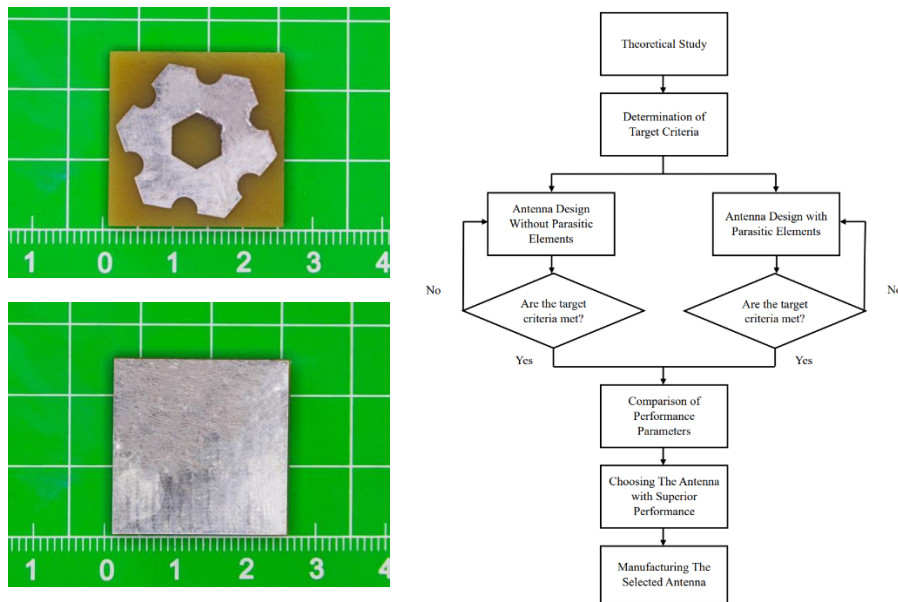


Figure. Fabricated antenna front view (Upper left), back view (lower left) and steps applied in prototype production (right) (Üretilen antenin ön yüzü (üst sol), arka yüzü (alt sol) ve prototip üretimindeki uygulanan adımlar (sağ))

Purpose and Scope

The aim of this study is to design and fabricate a unique, light weight, mechanically durable, and low cost microstrip patch antenna, which can be used in indoor/outdoor environments for 5G application by utilizing national resources. The operating frequency is chosen to be 3.5 GHz, which is initially intended for 5G use in Türkiye.

Design/methodology/approach

In the design process, two cases with and without parasitic elements coplanar with the patch plane are investigated. For the case without the parasitic elements, suitable antenna structures are achieved by evaluating the patch geometry, substrate and antenna size selections together. Same steps are repeated for the case with the parasitic elements. One antenna without the parasitic elements is selected for fabrication by taking into account the target criteria and performance parameters of the obtained antennas. Frequency dependent return loss parameter, radiation pattern and gain parameters at the operating frequency are simulated, and evaluated. Throughout the study, HFSS program is utilized for all simulations. Gerber file conversion is carried out by Dip Trace program. Finally, resulting antenna structure is fabricated.

Findings

Simulated antenna performance parameters reveal that one microstrip patch antenna without parasitic elements is more suitable for the intended 5G application. The resulting antenna operates between 3.3 GHz-3.6 GHz frequency range. Distances from the center of the antenna to one corner of the outer and inner hexagon are 11.51

[†] Corresponding author: cihan.dogusgen@yeniuyuzuil.edu.tr, 444-5001

mm and 4.00 mm, respectively. Antenna dimension is 25.00x25.00x2.40 mm. The substrate material is FR4 epoxy. Each of the 6 semicircular slots at the outer of the patch has a radius of 2.00 mm. Maximum gain value is -0.96 dB. Maximum value of the radiation pattern in both $\phi=90^\circ$ and $\phi=90^\circ$ planes is 16.76 dB.

Social Implications

Within the scope of the 12th Development Plan (2024-2028), the 11th Development Plan (2019-2023) as well as The National Broadband Strategy prepared under the coordination of the Ministry of Transport and Infrastructure (UAB) and The Information Technologies and Communication Authority (BTK) Strategic Plan, considering the national design, development, and fabrication targets along with the 5G goals, it is clear that the 5G antenna obtained in this study is in line with the above plans.

Originality

The designed and fabricated antenna has a unique geometry. It is relatively compact, small, lightweight, mechanically durable, low cost, and has a low profile. The antenna can be used in both indoor and outdoor environments.

1. Giriş (Introduction)

Mikroşerit yama antenler, sahip oldukları özelliklerden dolayı sıklıkla tercih edilmektedir (Simruni ve Jam, 2019). Mobil iletişimde yaygın olarak kullanılan bu antenler; küresel konumlandırma sistemi, uydu, askeri uygulamalar ve modern kablosuz sistemlerde de yer bulmaktadır. Tercih edilmelerinde etken olan özellikleri; hafif oluşları, düşük üretim maliyetlerine sahip olmaları, düşük profilli olmaları, uyumlu konfigürasyona sahip oluşları, entegrasyonu ve üretimindeki kolaylık gibi sebepler gösterilebilmektedir (Wong, 2002; Yoon ve Choi, 2018; Kim ve Kim, 2018; Kong vd., 2021; Perli ve Avula, 2021). Mikroşerit yama antenlerin dezavantajlarından biri dar bant genişliğidir. Çeşitli yaklaşımlar ile bant genişliği artırılmaya çalışılmaktadır (Perli ve Avula, 2021). Bu yaklaşımlar arasında düşük kalınlıkta yama katmanı kullanımı, istiflenmiş yama, yakınlık beslemesi, yamada farklı şekiller kullanma, fraktallar, çok modlu teknikler, kusurlu zemin yapıları bulunmaktadır (Simruni ve Jam, 2019). Mikroşerit yama antenlerin kazancını artırmanın bazı yöntemleri ise; antenin arka kısmına bir reflektör veya boşluk eklenmesi, parazitik eleman ve metamalzeme kullanımı olarak gösterilebilmektedir (Tahir vd., 2017; Liu vd., 2013).

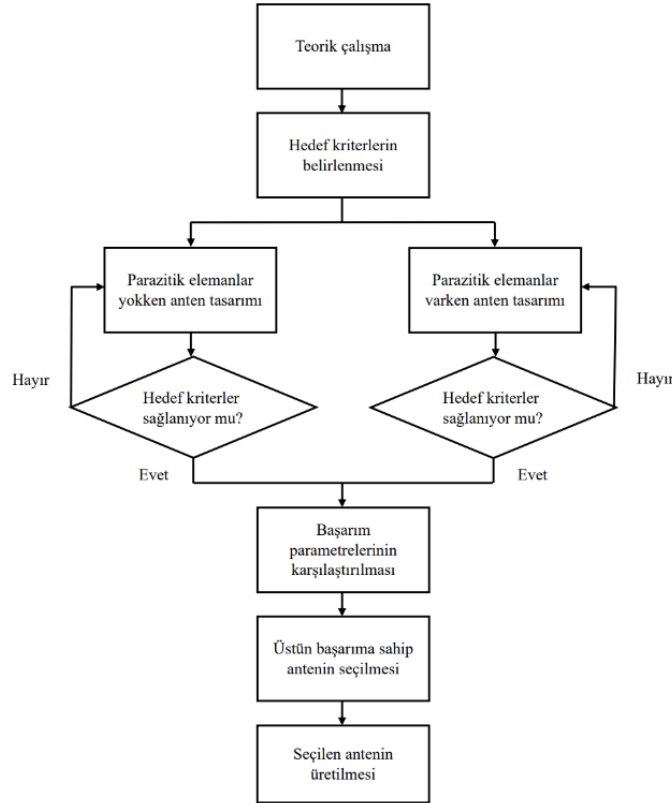
Kablosuz teknolojilerin gelişmesi ve iletişim uygulamalarının ilerleyişi; yüksek kazançlı, çok bantlı veya geniş bantlı antenlerin tasarımı ve uygulanması gibi alanlara duyulan ihtiyacı beraberinde getirmiştir (Nguyen ve Seo, 2022). Kablosuz iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, yüksek kapasite ve yüksek hızlı veri iletimine yönelik talebi karşılamak amacıyla hızla artmaktadır. Taşınabilir telefon sistemlerinde gölgeli alanlar, tüneller, binalar gibi engellerin olduğu bölgelerde iletişim kalitesi bozulabilir. İletişim kalitesini artırmak ve kapsama alanını etkin maliyetle genişletmek amacıyla bu sistemlerde tekrarlayıcılara ihtiyaç vardır (Yoon ve Choi, 2018; Marzuki vd., 2006). Mikroşerit yama antenler tekrarlayıcılarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Mikroşerit yama anteni, kablosuz iletişimde elektromanyetik dalgayı uzaya yaymak için kullanılabilir. Toprak, alt tabaka, yama ve besleme, mikroşerit yama anteninin dört ana bileşenidir. Kare, elips, daire, dikdörtgen ve halka gibi çeşitli şekillerde olabilir. Mikroşerit antenlerin tasarlanması, simüle edilmesi ve analiz edilmesi için ölçeklenebilir EM Simülasyon Çözümü (IE3D), Yüksek Frekanslı Yapısal Simülatör (HFSS) ve diğer simülasyon yazılımları mevcuttur (Rana ve Smiee, 2022). 5G, güvenilir bir ağ üzerinden sıfır gecikmeyle uzaktan kumanda işlemi sunar ve dördüncü nesilden (4G) daha hızlıdır. Dijital dönüşümün yapı taşı 5G'dir (Dangi vd., 2021). 5G teknolojisi olağanüstü veri yetenekleri ve sınırsız veri akışı sunar. 5G, mevcut LTE'nin (Uzun Vadeli Evrim) ötesinde mobil iletişim ve telekomünikasyon standartlarının bir sonraki büyük aşamasını temsil etmektedir (Attaran, 2023). 5G, 4G WWW'yi (4. Nesil World Wide Web) destekler ve internet protokolü sürüm 6 (IPv6) protokolünü temel alır (Dangi vd., 2021). 5G, günümüzün 4G LTE ağlarına kıyasla veri göndermek ve almak için kullanılan spektrum miktarını büyük ölçüde artırmak için bazı önemli yeni teknolojik yeniliklerden yararlanıyor. Bu teknolojiler tüketicilere daha fazla bant genişliği ve çok daha yüksek hızlar sağlar (Attaran, 2023). Ayrıca 5G, yüksek güvenilirlik, yüksek verimlilik ve hız, ölçeklenebilirlik, düşük gecikme süresi ve enerji tasarrufu sağlıyor. Gelişmiş mobil iletişim teknolojisi ile her yerde ve her zaman sınırsız internet bağlantısı sağlanmaktadır (Dangi vd., 2021).

Bu çalışmada, ülkemizde ilk etapta hedeflenen 3.5 GHz çalışma frekansında kullanılabilecek, Beşinci Nesil (5G) uygulamasına yönelik, özgün, yerli ve milli, iç/dış ortamlarda kullanılabilecek bir mikroşerit yama anten tasarımı yapılmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda özgün bir yama şekline sahip mikroşerit yama anten tasarımı yapılmıştır. Teorik çalışma ve hedef kriterlerin belirlenmesinin ardından tasarıma geçilmiştir. Tasarımda bant genişliği ve kazancı artırmak için yama düzlemiyle eş düzlemli, özgün parazitik yamalar

kullanılmıştır. Diğer anten türleriyle kıyaslandığında görece düşük profilli, hafif, mekanik olarak dayanıklı ve düşük maliyetli olma özellikleri bulunmaktadır.

Tasarımda yama düzlemiyle eş düzlemli parazitik elemanların kullanılmadığı ve kullanıldığı iki durum ele alınmıştır. Öncelikle parazitik elemanların kullanılmadığı durum için antene ait yama geometrisi, alt taban ve anten boyutu seçimleri birlikte değerlendirilerek uygun bir anten yapısına ulaşılmıştır. Aynı adımlar parazitik elemanların kullanıldığı durum için de tekrarlanarak yine uygun anten yapıları edilmiştir. Elde edilen antenlere ait başarımlar parametreleri değerlendirilerek, üstünlük sağlayan anten olarak, parazitik elemana sahip olmayan bir anten üretim için seçilmiştir. Başarımlar parametreleri; çalışma frekansı, bant genişliği, maksimum ışıma değeri ve kazanç parametreleridir. Benzetimler sonucunda frekansa bağlı S_{11} saçılma parametresinin dB değeri, çalışma frekansına ait maksimum ışıma değeri ve yine çalışma frekansına ait kazanç parametreleri çizdirilerek değerlendirilmiştir. Proje akış şeması Şekil 1’deki gibidir ve tüm adımlar takip edilerek anten üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Prototip üretiminde uygulanan adımlar (Steps applied in prototype production)

Günümüzde, bir antenle ilgili problemlerin çoğunun çözümü, tam dalga elektromagnetik benzetime ve benzetim yazılımlarına dayanmaktadır (Koziel ve Bekasiewicz, 2017; Zhang vd., 2020). Ansys Yüksek Frekanslı Yapı Simülasyonu (HFSS) üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemine dayanmaktadır (Trinh Van vd., 2013). HFSS, analitik ve ölçümsel olarak elde edilen sonuçlara çok yakın modelleme sonuçları sunabilmektedir (Zhang vd., 2020). Tam dalga elektromagnetik olan bu program aynı zamanda yüksek başarımlıdır ve tasarlanan yüksek frekans elemanına ait elektromagnetik davranışın ölçüm yapılmadan analizini sağlar. Bu çalışmada HFSS benzetim programı kullanılmıştır. Tasarım dahilindeki tüm eniyileştirmeler de HFSS programı içerisindeki ‘Optimetrics’ özelliği ile yapılmıştır. Anten beslemesi için 50 ohm karakteristik empedansa sahip koaksiyel besleme modeli kullanılmıştır. Geri yansımaları engellemek için anten giriş empedansının 50 ohm (veya 50 ohm değerine çok yakın) olduğu nokta elde edilerek, her bir anten elde edilen noktadan beslenmiştir. Tasarım süreci sonrasında anten üretimi, uygun bulunan bir ticari firma tarafından gerçekleştirilmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Mikroşerit yama antenler ile ilgili gerçekleştirilen bazı çalışmalar bu bölümde özetlenmiştir: Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), sivil ve askeri uygulamalar için kullanışlı bir sistemdir ancak zayıf işaret seviyesi nedeniyle GPS alıcıları, istenmeyen işaretlerin veya kasıtlı işaret bozucularının neden olduğu parazitlere karşı savunmasızdır. Bu sorunu hafifletmek için yapılan bir çalışmada mikroşerit yama antenler, bağlı dielektrik sabiti 4.4 ve kalınlığı 3.2 mm olan bir FR-4 alt taban üzerinde üretilmiştir. Yapı, yedi ayrı antenden oluşmaktadır. Toprak tabakasının fiziksel boyutları 21.00 mm x 21.00 mm ve antenlerin yama kısmı 12.5 mm x 12.5 mm boyutlara

sahiptir. Yapı 1.55-1.59 GHz aralığında çalışmaktadır (Ha vd., 2017). Uydu iletişimi uygulamaları için gerçekleştirilen bir tasarımda, bir çift köşesi kesilmiş kare bir parçadan oluşan, çift bantlı, polarizasyonu yeniden yapılandırılabilen bir anten sunulmuştur. Büyük bir kare yama ile iki küçük kare yama arasında iki PIN diyotu bulunmaktadır. İki PIN diyoduna uygulanan öngerilim durumuna bağlı olarak, her küçük yamanın bağlantısı kesilebilir veya büyük kareye bağlanabilir durumdadır. Anten 2.51 GHz – 2.71 GHz aralığında çalışmaktadır (Kim ve Sung, 2018). Wi-Fi ve WiMAX uygulamaları için gerçekleştirilen diğer bir tasarımda, anten ışıma özellikleri benzetim yoluyla ve deneysel olarak incelenmiştir. Antenin çalışma frekans aralıkları 3.21–3.49 GHz ve 2.30–2.36 GHz olarak belirlenmiştir. Benzetim verileri ve deneysel sonuçlar arasında yakın bir uyum bulunmaktadır (Nelaturi ve Sarma, 2018). Ev tekrarlayıcı uygulamaları için yapılan bir çalışmada, düşük profilli bir geniş bant dizi anten rapor edilmiştir. Önerilen anten dört yama elemanından ve biri yarıklı olmak üzere iki toprak düzleminden oluşmaktadır. Bitişik yama elemanları arasındaki karşılıklı kuplajı azaltmak için toprak düzlemine yarıklar yerleştirilmiştir. Anten, GSM-1800 uygulaması için kullanılabilecek geniş bir bant genişliğine (1,67–2,32 GHz) sahiptir (Yoon ve Choi, 2018). WiMAX ve WLAN uygulamalarında kullanılabilecek, çift bantlı, minyatürleştirilmiş bir mikroşerit yama anteninin tasarımı farklı bir yayında sunulmuştur. Önerilen mikroşerit yama anten, konik zemin düzlemine sahip eş düzlemlı dalga kılavuzu yapısıyla beslenen yarı dairesel bir yama içermektedir. Çift bant üzerinden empedans bant genişliğini arttırmak için, yarım daire şeklindeki yamanın içine katlanmış U şeklinde bir yarık yerleştirilmiştir. Boyutu $17 \times 18 \times 0.8$ mm olan, FR-4 alt tabanı kullanılarak tasarlanan anten hem 3.5 GHz (3.4–3.7 GHz) hem de 5.8 GHz (5.725–5.875) frekanslarında çalışmaktadır (Naji, 2020). İletişim uygulamalarına yönelik gerçekleştirilen bir araştırmada 1.2 - 4.6 GHz frekans aralığı için uygun, yama üzerinde simetrik olarak yerleştirilmiş çeyrek dairesel ve yarı dairesel yarıklara sahip 6 adet mikroşerit yama anten tasarımına yer verilmiştir. Tasarlanan antenler PCS için 1.9 GHz, 3G için 2.1 GHz, WiFi/WLAN/Bluetooth için 2.45 GHz, LTE için 2.6 GHz ve GSM-1800 için 1.8 GHz çalışma frekanslarına sahiptir (Dogusgen Erbas, 2021). Bir başka raporda, dairesel yarıklara sahip kare şeklinde yama içeren iki mikroşerit yama anten tasarımı sunulmuştur. Antenler, Evrensel Taşınabilir Telekomünikasyon Hizmeti (UMTS) uygulaması için kullanılabilir. Birinci anten iki yarık içerirken ikinci antende dört yarık mevcuttur. Her iki anten için de kare yamanın bir kenar uzunluğu 40 mm, bir dairesel yarığın yarıçapı 3 mm, toprak düzlemi ve alt tabanın bir kenar uzunluğu 60 mm değerindedir. Alt taban malzemesinin bağli geçirgenliği ve kayıp tanjantı sırasıyla 3.55 ve 0.0027 değerlerindedir. Birinci ve ikinci antenin rezonans frekansları sırasıyla 1.86 GHz ve 1.85 GHz'dir. Diğer anten başarımlar parametreleri göz önüne alındığında ikinci antenin UMTS uygulaması için daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Ceylan vd., 2023). Bir çalışmada, çift bantlı ve çift moda sahip halka mikroşerit yama anten tasarlanmış ve üretilmiştir. Anten, GPS ve GSM-1800 uygulamalarında kullanılabılır olup toprak düzlemi üzerinde 6 adet eş dikdörtgensel yarığa sahiptir. GPS uygulaması için TM₁₁ modunda çalışabilirken GSM-1800 uygulaması için TM₂₁ modunda çalışmaktadır. Ölçülen değerler incelendiğinde, GSM-1800 uygulaması için çalışma frekans bandının 1.54 - 2.16 GHz arasında, GPS uygulaması için ise 1.10 - 1.28 GHz arasında olduğu görülmüştür (Dogusgen Erbas, 2023). GSM-1800 uygulamasına yönelik bir incelemede, yarıklı toprak düzlemine sahip iki halka mikroşerit yama anten yapısı tasarlanmıştır. Birinci anten dört yarık içerirken ikinci anten sekiz yarığa sahiptir. Benzetim sonucunda dört yarığa sahip anten için maksimum kazancın 9.78 dB, çalışma frekans aralığının 1760 MHz - 1935 MHz, rezonans frekansının ise 1850 MHz olduğu görülmüş, sekiz adet yarığa sahip anten için ise maksimum kazancın 6.12 dB, çalışma frekans aralığının 1725 MHz - 2060 MHz, rezonans frekansının 1865 MHz olduğu gözlemlenmiştir. Her iki antenin de GSM-1800 uygulaması için uygun olduğu değerlendirilmekle birlikte sekiz yarığa sahip antenin ışıma değerlerindeki yükseklik nedeniyle tercih edildiği belirtilmiştir (Dogusgen Erbas ve Okatan, 2018). Başka bir iletişim teknolojileri için yapılan çalışmada ise 5G için tasarlanan mikroşerit yama anteni (28 GHz), araştırılmış ve modellenmiştir. Bunun için kullanılan substrat anten Duroid5880'dir, alt tabakanın dielektrik değeri 2.2 mm ve kalınlığı 0.34 mm'dir. Simülasyondan, s₁₁ saçılma parametresinin dB değeri, kazanç, radyasyon verimliliği ve yan lob seviyesi -38.34 dB, 8.19 dB, %77 ve -18.3 dB olarak sırasıyla bulunmuştur. 5G için önerilen bu antenin sonuçları kablosuz teknoloji açısından üstündür. Sonuç olarak bu anten 5G kablosuz iletişim ihtiyaçlarını karşılaması muhtemel sistemlerdendir (Rana ve Smieeee, 2022). Ev tekrarlayıcı uygulamaları için yapılan bir çalışmada, düşük profilli bir geniş bant dizi anteninin tasarımı rapor edilmiştir. Önerilen anten 1x4 yama elemanından ve biri yarıklı olmak üzere iki toprak düzleminden oluşmaktadır. Bitişik yama elemanları arasındaki karşılıklı kuplajı azaltmak için toprak düzlemine yarıklar gömülmüştür. Tüm yüzeyde -20 dB'lik bir izolasyon seviyesi gerçekleştirilmiştir. Anten, GSM-1800 uygulaması için geniş bir bant genişliğine (1,67–2,32 GHz) sahiptir (Yoon ve Choi, 2018). 5G 'ye yönelik bir incelemede, 5G'nin akıllı telefonları nasıl etkinleştirebileceğini veya kolaylaştırabileceğini araştıran, BT çeşitli türlerin evrimini ve gelişimini gözden geçiren beşinci nesil mobil kablosuz teknolojilerin altı çizilmiş ve devrim niteliğindeki 5G ağlarının önemi araştırılmıştır. Farklı imalat endüstrilerindeki uygulamalar ve şekillenmesinde rol oynadıklarını vurgulamıştır. Nesnelerin interneti (IoT), yapay zeka (AI), sürücüsüz arabalar, dijital gerçeklik, otomotiv endüstrisi ve akıllı arabalar, üretim ve akıllı fabrikalar, akıllı şebekeler, akıllı şehirler, sağlık hizmetleri ve gelecekteki atılımlara olanak vermektedir (Attaran, 2023). Bir çalışmada, 24 GHz çalışma frekansı için tasarlanan bir mikroşerit yama anteninin kazanç iyileştirmesi için iki metal levha kullanılmıştır. 24-24,25 GHz frekans aralığını kapsayan ve konik güç dağılımına sahip şönt bağlantılı seri besleme ağı kullanan 4x1 doğrusal mikro şerit kare yama dizi anteni ilk olarak ölçülen maksimum kazancı 9,8 dBi ve boyutları 30 mmx12 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. 4x1 dizi antenindeki kazancı iki katına

çıkarmak için antenin dizi eksenini boyunca iki metal plaka eklenmiştir. Giriş yansıma katsayısı, ışıma deseni ve kazanç gibi metal plakaların eğim açısı ve uzunluğunu değiştirmenin performans üzerindeki etkileri simülasyon yoluyla araştırılmıştır (Yeo, 2023). Bir başka çalışmada, 4-8 GHz C bant frekans aralığında bir dizi mikro şerit yama kullanılarak bir konformal antenin tasarımı sunulmuştur. Anten, 1,524 mm kalınlığında ve 3,66 bağıl geçirgenliğe sahip Rogers RO-4350B alt taban kullanılarak 40,55 x 22,65 mm boyutunda 5,6 GHz frekansında çalışmaktadır. Simülasyondan elde edilen bant genişliği 200 MHz, s_{11} saçılma parametresinin dB değerleri -20 dB'nin altında, VSWR 2'den az; 5,6 dB kazanç ve yönlü ışıma desenine sahiptir (Salazar, 2020). Bir raporda, terahertz uygulamaları için grafene dayalı yeniden yapılandırılabilir çok bantlı bir yama antenin ters tasarımı araştırılmıştır. Frekans aralığını (2–5THz) çalıştırmak için ilk adımda anten ışıma özelliklerinin geometrik parametrelerine ve grafene özelliklerine olan bağımlılığı değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları, 8,8 dB'ye kadar kazanç, 13 frekans bandı ve 360 derece ışın yönlendirmesi elde etmenin mümkün olduğunu göstermektedir (Mashayekhi, 2023). Bir incelemede, otonom araç telematik uygulamaları için özel kısa menzilli iletişim (DSRC), beşinci nesil (5G) milimetre dalga ve altıncı nesil (6G) milimetre dalga frekans bantlarını kapsayan üç bantlı yığılmış yama anteni rapor edilmiştir. Geliştirilen antenin etkinliğini göstermek için, S parametresi, görüş hattında gerçekleşen kazanç ve ışıma desenleri gibi anten performansları DSRC, 5G ve 6G için simüle edilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen üç bantlı antenin DSRC, 5G ve 6G frekans bantlarında sırasıyla 6,87 dBi, 12,3 dBi ve 19,8 dBi'lik yüksek maksimum kazançlarla üç bandı da kapsayabileceğini ve ayrıca portlar arasında >20 dB'lik yüksek izolasyon sağlayabileceğini göstermektedir (Bryant, 2022).

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

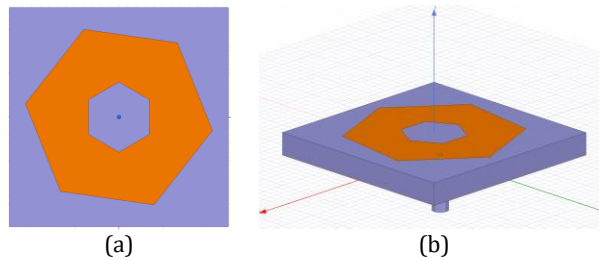
3.1. Hedef Kriterlerin Belirlenmesi (Determination of Target Criteria)

Bu çalışmada, çalışma frekansı olarak ülkemizde tüm mobil operatörler tarafından kullanılan 3.5 GHz çalışma frekansı seçilmiştir. Seçilen çalışma frekansı ile ülkemize uygun olması amaçlanmıştır. Yapılan farklı projelerden elde edilen deneyim doğrultusunda hedef kriterler belirlenmiş ve mikroşerit yama anten üretimi için elde edilmesi gereken parametrelerin aralıkları belirlenmiştir. Literatüre uygun olarak; bant genişliği 3.3 GHz ile 3.8 GHz aralığında yer alan bir frekans aralığı, maksimum ışıma değeri 10 dB ile 20 dB arasında, maksimum kazanç değeri ise -1 dB ile 6 dB arasında olacak biçimde hedef kriterler belirlenmiştir.

3.2. Parazitik Elemanlar Yokken Anten Tasarımı (Antenna Design Without Parasitic Elements)

Tasarlanan birinci mikroşerit yama anten altıgen halka şeklinde bir yama, alt taban, toprak düzlemi ve besleme kısımlarından oluşmaktadır. Yamanın dış tarafında ve iç tarafında bulunan altıgenlerin her bir kenar uzunluğu sırasıyla 10.77 mm ve 4.00 mm değerindedir. Anten merkezinden, içteki altıgenin bir köşesine olan uzaklık yani antenin iç yarıçapı 4.00 mm ve yine anten merkezinden, dıştaki altıgenin bir köşesine olan uzaklık yani antenin dış yarıçapı 10.77 mm'dir. Yamanın başlangıç konumu; 10, 4, 2.8'dir. Substrat 25.00 mm en, 25.00 mm boy ve 2.80 mm yüksekliğe sahiptir. Substrat materyali FR4_epoxy seçilmiştir. Yüksek dielektrik dayanımı, radyasyona dayanıklılığı ve düşük maliyetli oluşu gibi özellikleri nedeniyle tercih edilen bir materyal çeşididir. Radiation box 10.00 mm yüksekliğe sahip, toprak düzlemi ise 25.00 mm en ve 25.00 mm boyda sahiptir.

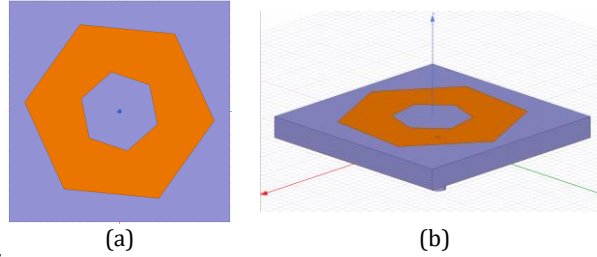
Birinci mikroşerit yama anten tasarımının yapılmasının ardından HFSS programı içerisindeki 'Optimetrics' özelliği ile optimizasyonlar gerçekleştirilmiştir. Antenin yama düzlemi üzerinde, çeşitli x ve y değerleri karesel bir alanın taranmasını sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Birden çok alan taranmış ve taranan alanlar sonucunda s parametre grafikleri elde edilmiştir. Bu işlem, karesel alanların taranarak uygun besleme noktalarının belirlenmesine imkan sağlamaktadır. Aynı zamanda uygun çalışma frekansı aralığı ve dB (desibel) değerinin sağlanması da değerlendirilebilmektedir. Tarama işleminin 0.50 mm aralıklarla yapılması tercih edilmiştir. S parametre grafiklerinde, çalışma frekansı istenilen aralıkta değildir. Desibel değerinin -10 dB'in altına düşmediği gözlemlenmiştir. Birinci mikroşerit yama anten tasarımı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Birinci mikroşerit yama anten tasarımı (a) Yama, (b) Yandan görünüm
(First microstrip patch antenna design (a) Patch, (b) Side view)

Birinci anten tasarımı düzenlenerek ikinci anten tasarımı yapılmıştır. Tasarımda yama, substrat ve toprak düzlemi büyütülmüştür. Yama kısmı 1.00 mm genişletilmiş, substrat ve toprak düzlemi ise x ve y ekseninde 3.00 mm genişletilmiştir. Antenin yama düzlemi üzerinde çeşitli x ve y değerleri için yapılan karesel alan taramasının, 0.50 mm aralıklarla yapılması tercih edilmiştir. HFSS programında anten optimizasyonları yapılarak s parametre grafikleri oluşturulmuştur. Çalışma frekansı istenilen aralıkta değildir. Desibel değerinin -10 dB'in altına düşmediği durumlar gözlemlenmektedir.

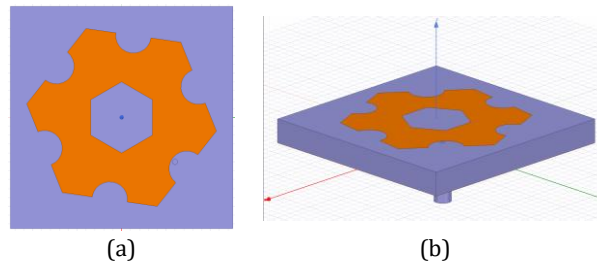
İkinci mikroşerit yama anten tasarımının yapısı; antenin yama kısmında, dış tarafta bulunan altıgenin her bir kenarı 12.08 mm, iç tarafta bulunan altıgenin ise her bir kenarı 5.09 mm'dir. Substrat 28.00 mm en, 28.00 mm boy ve 2.80 mm yüksekliğe sahiptir. Substrat materyali FR4_epoxy seçilmiştir. Radiation box 10.00 mm yüksekliğe sahip, toprak düzlemi ise 28.00 mm en ve 28.00 mm boya sahiptir. Yamanın başlangıç konumu; 11, 5, 2.8'dir. İkinci mikroşerit yama anten tasarımı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. İkinci mikroşerit yama anten tasarımı (a) Yama, (b) Yandan görünüm
(Second microstrip patch antenna design (a) Patch, (b) Side view)

Üçüncü mikroşerit yama anten tasarımının yapısı; anten yama bölgesinin dış sınırının her bir kenarı 10.77 mm, iç tarafta bulunan altıgenin ise her bir kenarı 4.00 mm'dir. Yamanın başlangıç konumu; 10, 4, 2.8'dir. Substrat 25.00 mm en, 25.00 mm boy ve 2.80 mm yüksekliğe sahiptir. FR4_epoxy substrat materyaline sahiptir. Radiation box 10.00 mm yüksekliğe, toprak düzlemi ise 25.00 mm en ve 25.00 mm boya sahiptir.

Üçüncü anten tasarımında yama şekli değiştirilmiştir. Antenin yama düzlemi üzerinde, çeşitli x ve y değerleri karesel bir alanın taranmasını sağlayacak şekilde seçilmiştir. Birden çok alan taranmış ve taranan alanlar sonucunda s parametre grafikleri elde edilmiştir. Tarama işleminin 0.20 mm aralıklarla yapılması tercih edilmiştir. Tarama aralığının sıklaştırılmasının sebebi daha fazla noktada tarama yapılabilmesidir. Anten optimizasyonları yapılarak s parametre grafikleri oluşturulmuştur. Grafiklerde gözlemlendiği üzere, çalışma frekansı istenilen aralıkta değildir ve genel olarak 3.60 Ghz ile 4.00 Ghz aralığındadır. Desibel değerinin -10 dB'in altına düşmesi gerekmektedir ve bu koşulun grafiklerin çoğunluğunda sağlandığı gözlemlenmektedir. Üçüncü mikroşerit yama anten tasarımı Şekil 4'te verilmiştir.

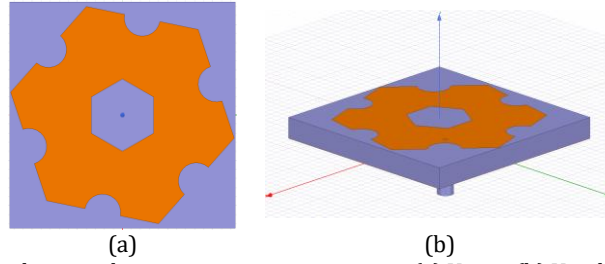


Şekil 4. Üçüncü mikroşerit yama anten tasarımı (a) Yama, (b) Yandan görünüm
(Third microstrip patch antenna design (a) Patch, (b) Side view)

Dördüncü mikroşerit yama anten tasarımının yapısı; anten yama bölgesinin dış sınırının her bir kenarı 12.64 mm, iç tarafta bulunan altıgenin ise her bir kenarı 4.00 mm'dir. Yamanın başlangıç konumu; 12, 4, 2.6'dır. Substrat 25.00 mm en, 25.00 mm boy ve 2.60 mm yüksekliğe sahiptir. Substrat materyali FR4_epoxy seçilmiştir. Radiation box 10.00 mm yüksekliğe sahip, toprak düzlemi ise 25.00 mm en ve 25.00 mm boya sahiptir. Yama bölgesinin dış sınırında bulunan yarım daire şeklindeki altı adet yarığın her biri 2.00 mm yarıçapa sahiptir.

Dördüncü anten tasarımında, substrat yüksekliği azaltılmıştır. Ancak substrat yüksekliği azaltıldığında frekansın arttığı gözlemlenmiştir ve belirlenen hedef kriterlere uymadığından frekansın azaltılabilmesi içinde anten yama boyutu artırılmıştır. Anten substrat yüksekliği 2.60 mm'ye düşürülmüş ve yama boyutu 2.00 mm büyütülmüştür. Optimizasyonları gerçekleştirilmiş ve yama düzlemi üzerinde, çeşitli x ve y değerleri için birden çok alan taranmıştır. S parametre grafikleri elde edilmiştir. Tarama işlemi 0.20 mm aralıklarla yapılmıştır. Frekansın

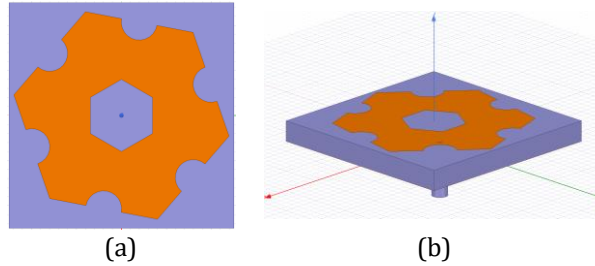
azaltılması için yapılan anten yama boyutunu arttırma işlemi sonucunda frekans değeri istenenden fazla azalmıştır. Dördüncü mikroşerit yama anten tasarımı Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Dördüncü mikroşerit yama anten tasarımı (a) Yama, (b) Yandan görünüm
(Fourth microstrip patch antenna design (a) Patch, (b) Side view)

Beşinci mikroşerit yama anten tasarımının yapısı; anten yama bölgesinin dış sınırının her bir kenarı 12.17 mm, iç tarafta bulunan altıgenin ise her bir kenarı 4.00 mm'dir. Yamanın başlangıç konumu; 11.5, 4, 2.6'dır. Substrat 25.00 mm en, 25.00 mm boy ve 2.60 mm yüksekliğe sahiptir. Substrat, FR4_epoxy materyalinden oluşmaktadır. Radiation box 10.00 mm yüksekliğe sahip, toprak düzlemi ise 25.00 mm en ve 25.00 mm boya sahiptir. Yama bölgesinin dış sınırında bulunan yarım daire şeklindeki altı adet yarığın her biri 2.00 mm yarıçapa sahiptir.

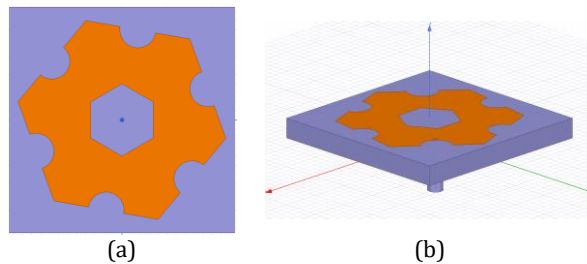
Anten yama boyutu dördüncü tasarımdaki gibi 2.00 mm yerine, 1.50 mm büyütülmüştür. Düzenlenen anten tasarımının HFSS programı ile optimizasyonları gerçekleştirilmiş ve karesel alanlar taranmıştır. Taramalar sonucunda s parametre grafikleri elde edilmiştir. Tarama işleminin 0.20 mm aralıklarla yapılmıştır. Çalışma frekans aralığı hedef kriterlere çekilememiştir ve frekansın azaltılması gerekmektedir. Beşinci mikroşerit yama anten tasarımı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Beşinci mikroşerit yama anten tasarımı (a) Yama, (b) Yandan görünüm
(Fifth microstrip patch antenna design (a) Patch, (b) Side view)

Altıncı mikroşerit yama anten tasarımının yapısı; anten yama bölgesinin dış sınırının her bir kenarı 11.70 mm, iç tarafta bulunan altıgenin ise her bir kenarı 4.00 mm'dir. Yamanın başlangıç konumu; 11, 4, 2.6'dır. Substrat 25.00 mm en, 25.00 mm boy ve 2.60 mm yüksekliğe sahiptir. Substrat materyali FR4_epoxy seçilmiştir. Radiation box 10.00 mm yüksekliğe sahip, toprak düzlemi ise 25.00 mm en ve 25.00 mm boya sahiptir. Yama bölgesinin dış sınırında bulunan yarım daire şeklindeki altı adet yarığın her biri 2.00 mm yarıçapa sahiptir.

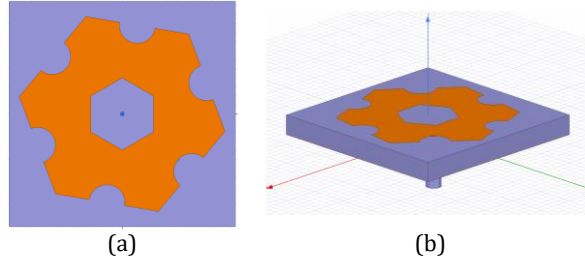
Anten yama boyutu dördüncü tasarımdaki gibi 2.00 mm yerine, 1.00 mm büyütülmüştür. Çalışma frekans aralığının hedef kriterlere çekilebilmesi için frekansın azaltılması gerekmektedir. Düzenlenen tasarım için optimizasyonlar gerçekleştirilmiş, yama düzlemi üzerinde ki çeşitli alanlar taranmıştır. Taramalar sonucunda s parametre grafikleri elde edilmiştir. Tarama işlemi 0.20 mm aralıklarla yapılmıştır. Çalışma frekansı istenilen aralıkta değildir. Altıncı mikroşerit yama anten tasarımı Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Altıncı mikroşerit yama anten tasarımı (a) Yama, (b) Yandan görünüm
(Sixth microstrip patch antenna design (a) Patch, (b) Side view)

Yedinci mikroşerit yama anten tasarımının yapısı; anten yama bölgesinin dış sınırının her bir kenarı 11.51 mm, iç tarafta bulunan altıgenin ise her bir kenarı 4.00 mm'dir. Yamanın başlangıç konumu; 10.8, 4, 2.6'dır. Substrat 25.00 mm en, 25.00 mm boy ve 2.60 mm yüksekliğe sahiptir. Substrat materyali FR4_epoxy seçilmiştir. Radiation box 10.00 mm yüksekliğe sahip, toprak düzlemi ise 25.00 mm en ve 25.00 mm boya sahiptir. Yama bölgesinin dış sınırında bulunan yarım daire şeklindeki altı adet yarığın her biri 2.00 mm yarıçapa sahiptir.

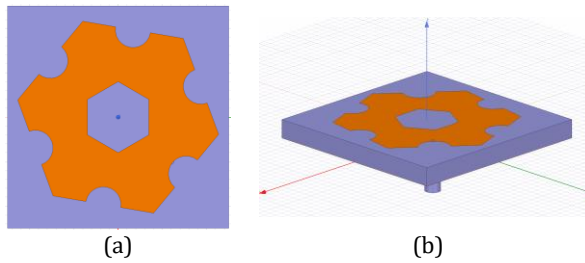
Çalışma frekansının istenilen değer aralığına getirilebilmesi için altıncı tasarımdaki anten yama boyutu 0.20 mm küçültülmüştür. Optimizasyon sonuçları incelenerek bu kaniya varılmıştır. Tarama işleminin 0.20 mm aralıklarla yapılması tercih edilmiştir. Anten optimizasyonları yapılarak s parametre grafikleri oluşturulmuştur. Grafikler incelendiğinde frekans, 3.5 GHz civarında gözlemlenmiştir ve istenilen aralıktadır. Sonuçlar olumludur. Yedinci mikroşerit yama anten tasarımı Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Yedinci mikroşerit yama anten tasarımı (a) Yama, (b) Yandan görünüm
(Seventh microstrip patch antenna design (a) Patch, (b) Side view)

Yedinci mikroşerit anten tasarımındaki değerler hedef kriterlere uygundur. Yalnızca substrat yüksekliği değiştirilerek 2.4 mm değerine düşürülmüştür. Bunun nedeni anten üretim sürecinde kolaylık sağlanması ve rezonans değerinin tam olarak belirlenebilmesidir. Optimizasyonlar gerçekleştirilmiş ve s parametre grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen s parametre grafikleri ile yedinci tasarıma ait s parametre grafikleri karşılaştırılmıştır. Substrat yüksekliğinin 2.6 mm'den 2.4 mm değerine düşürülmesi ve bu değere uygun şekilde tasarımın düzenlenmesi kararının doğru olduğu sonucuna varılmıştır. Sekizinci anten tasarımında elde edilen s parametre grafikleri incelendiğinde, frekans değeri istenen değer olan 3.5 GHz civarında gözlemlenmiştir. Sonuçlar olumlu bulunmuştur.

Sekizinci mikroşerit yama anten tasarımının yapısı; anten yama bölgesinin dış sınırının her bir kenarı 11.51 mm, iç tarafta bulunan altıgenin ise her bir kenarı 4.00 mm'dir. Yamanın başlangıç konumu; 10.8, 4, 2.4'dür. Substrat 25.00 mm en, 25.00 mm boy ve 2.40 mm yüksekliğe sahiptir. Substrat FR4_epoxy materyale sahiptir. Radiation box 10.00 mm yüksekliğe, toprak düzlemi ise 25.00 mm en ve 25.00 mm boya sahiptir. Yama bölgesinin dış sınırında bulunan yarım daire şeklindeki altı adet yarığın her biri 2.00 mm yarıçapa sahiptir. Sekizinci mikroşerit yama anten tasarımı Şekil 9'da verilmiştir.

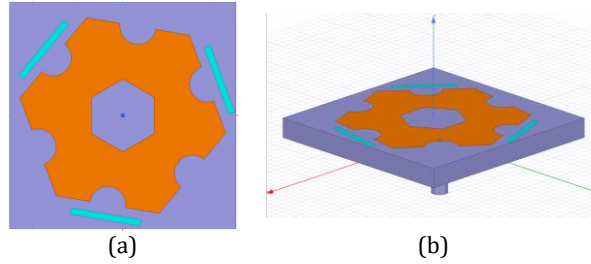


Şekil 9. Sekizinci mikroşerit yama anten tasarımı (a) Yama, (b) Yandan görünüm
(Eighth microstrip patch antenna design (a) Patch, (b) Side view)

3.3. Parazitik Elemanlar Varken Anten Tasarımı (Antenna Design with Parasitic Elements)

Dokuzuncu mikroşerit yama anten tasarımının yapısı; yama, parazitik elemanlar substrat, besleme ve toprak düzlemi kısımlarından oluşmaktadır. Anten yama bölgesinin dış sınırının her bir kenarı 11.51 mm, iç tarafta bulunan altıgenin ise her bir kenarı 4.00 mm'dir. Yamanın başlangıç konumu; 10.8, 4, 2.4'tür. Parazitik elemanlar 3 adettir ve eş büyüklüktedir. Yamanın üç bölgesine eşit mesafede yerleştirilmiş dörtgensel alanlardan oluşmaktadır. Uzun kenarları 7.8102 mm, kısa kenarları 0.70 mm uzunluğa sahiptir. Substrat 25.00 mm en, 25.00 mm boy ve 2.40 mm yüksekliğe sahiptir. Substrat materyali FR4_epoxy seçilmiştir. Radiation box 10.00 mm yüksekliğe sahip, toprak düzlemi ise 25.00 mm en ve 25.00 mm boya sahiptir. Yama bölgesinin dış sınırında bulunan yarım daire şeklindeki altı adet yarığın her biri 2.00 mm yarıçapa sahiptir.

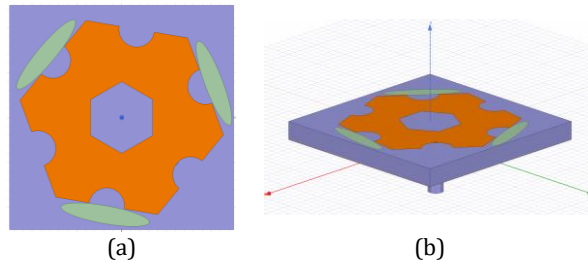
Hedef kriterler doğrultusunda tasarlanan parazitik elemana sahip mikroşerit yama anten tasarımı için, HFSS programı ile optimizasyonlar gerçekleştirilmiştir. Tasarım için yapılan optimizasyonlarda, tarama işlemi 0.20 mm aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Optimizasyonlar sonucunda s parametre grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, hedef kriterlere uygun değildir. Sekizinci tasarım uygun bulunmasına rağmen parazitik elemanlar eklenerek tasarım yapılmış ve s parametre grafiklerine etkisi incelenmiştir. Dokuzuncu mikroşerit yama anten tasarımı Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Dokuzuncu mikroşerit yama anten tasarımı (a) Yama, (b) Yandan görünüm
(Ninth microstrip patch antenna design (a) Patch, (b) Side view)

Onuncu mikroşerit yama anten tasarımının yapısı; anten yama bölgesinin dış sınırının her bir kenarı 11.51 mm, iç tarafta bulunan altıgenin ise her bir kenarı 4.00 mm'dir. Yamanın başlangıç konumu; 10.8, 4, 2.4'tür. Parazitik elemanlar 3 adettir ve eş büyüklüktedir. Yamanın üç bölgesine eşit mesafede yerleştirilmiş elips şeklinden oluşmaktadır. Elipslerin en uzak iki noktası arası mesafe; 10.00 mm, merkez noktasına dik konumdaki iki orta nokta arası mesafe; 2.00 mm uzaklığındadır. Elips merkez noktası ile yama kenarlarında bulunan yarım dairenin orta noktası arasındaki mesafe ise 2.99 mm'dir. Substrat 25.00 mm en, 25.00 mm boy ve 2.40 mm yüksekliğe sahiptir. Substrat materyali FR4_epoxy seçilmiştir. Radiation box 10.00 mm yüksekliğe sahip, toprak düzlemi ise 25.00 mm en ve 25.00 mm boya sahiptir. Yama bölgesinin dış sınırında bulunan yarım daire şeklindeki altı adet yarığın her biri 2.00 mm yarıçapa sahiptir.

Dokuzuncu tasarımdaki parazitik elemanların şekli değiştirilerek, birbirleriyle eş büyüklükte ve elips şeklinde parazitik elemanlar kullanılmıştır. Parazitik elemaların, tasarımın yama kısmı ile kesişim noktası bulunmamaktadır. Parazitik elemanın bulunduğu üç bölgede de, parazitik eleman ile yama arası mesafe aynı olduğundan, üç bölgede de kesişim noktasının bulunmadığı gözlemlenmektedir. Onuncu tasarım olan parazitik elemana sahip mikroşerit yama anten tasarımı için, HFSS programı ile optimizasyonlar gerçekleştirilmiş ve tarama işlemi 0.20 mm aralıklarla yapılmıştır. Optimizasyonlar sonucunda s parametre grafikleri elde edilmiştir. Onuncu mikroşerit yama anten tasarımı Şekil 11'de verilmiştir.

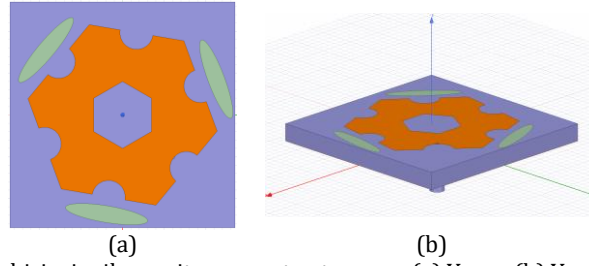


Şekil 11. Onuncu mikroşerit yama anten tasarımı (a) Yama, (b) Yandan görünüm
(Tenth microstrip patch antenna design (a) Patch, (b) Side view)

On birinci mikroşerit yama anten tasarımının yapısı; anten yama bölgesinin dış sınırının her bir kenarı 11.51 mm, iç tarafta bulunan altıgenin ise her bir kenarı 4.00 mm'dir. Yamanın başlangıç konumu; 10.8, 4, 2.4'tür. Parazitik elemanlar 3 adettir ve eş büyüklüktedir. Yamanın üç bölgesine eşit mesafede yerleştirilmiş elips şeklinden oluşmaktadır. Elipslerin en uzak iki noktası arası mesafe; 10.00 mm, merkez noktasına dik konumdaki iki orta nokta arası mesafe; 2.00 mm uzaklığındadır. Elips merkez noktası ile yama kenarlarında bulunan yarım dairenin orta noktası arasındaki mesafe ise 4.05 mm'dir. Substrat 27.00 mm en, 27.00 mm boy ve 2.40 mm yüksekliğe sahiptir. Substrat materyali FR4_epoxy seçilmiştir. Radiation box 10.00 mm yüksekliğe sahip, toprak düzlemi ise 27.00 mm en ve 27.00 mm boya sahiptir. Yama bölgesinin dış sınırında bulunan yarım daire şeklindeki altı adet yarığın her biri 2.00 mm yarıçapa sahiptir. Parazitik elemana sahip mikroşerit yama anten tasarımında; elips şeklindeki parazitik elemanın, tasarımın substrat sınırı ve yama kısmı ile kesişim noktası bulunmamaktadır. Parazitik elemanın bulunduğu üç bölgede de, parazitik eleman ile yama arası mesafe aynıdır.

Parazitik elemanlara sahip mikroşerit yama anten tasarımındaki parazitik elemanların, anten yama bölgesi dış sınırına olan uzaklıkları arttırılmıştır. Düzenlenmiş parazitik elemanlar; elips şeklinde birbirleriyle eş büyüklüğe

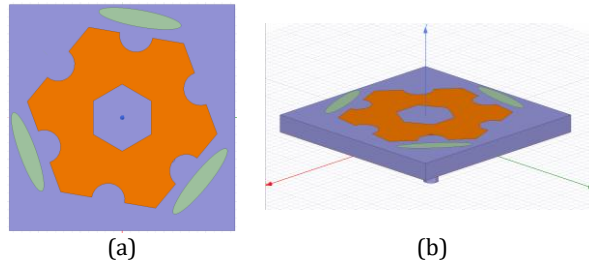
sahip elemanlardır. Elipsler, üç bölgeye de sığabilecek maksimum uzunluğa ve uzunluğa uygun genişlikte tasarlanmıştır. Optimizasyonlar yapılarak s parametre grafikleri oluşturulmuştur. Uygun frekans aralığı elde edilememiştir. On birinci mikroşerit yama anten tasarımı Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. On birinci mikroşerit yama anten tasarımı (a) Yama, (b) Yandan görünüm
(Eleventh microstrip patch antenna design (a) Patch, (b) Side view)

On ikinci mikroşerit yama anten tasarımının yapısı; anten yama bölgesinin dış sınırının her bir kenarı 11.51 mm uzunluğa, iç tarafta bulunan altıgenin ise her bir kenarı 4.00 mm uzunluğa sahiptir. Yamanın başlangıç konumu; 10.8, 4, 2.4’tür. Parazitik elemanlar 3 adettir ve eş büyüklüktedir. Yamanın üç bölgesine eşit mesafede yerleştirilmiş elips şeklindeki oluşmaktadır. Elipslerin en uzak iki noktası arası mesafe; 10.00 mm, merkez noktasına dik konumdaki iki orta nokta arası mesafe; 2.00 mm uzaklığındadır. Elips merkez noktası ile yama kenarlarında bulunan yarım dairenin orta noktası arasındaki mesafe ise 4.05 mm’dir. Substrat 27.00 mm en, 27.00 mm boy ve 2.40 mm yüksekliğe sahiptir. Substrat materyali FR4_epoxy seçilmiştir. Radiation box 10.00 mm yüksekliğe sahip, toprak düzlemi ise 27.00 mm en ve 27.00 mm boya sahiptir. Yama bölgesinin dış sınırında bulunan yarım daire şeklindeki altı adet yarığın her biri 2.00 mm yarıçapa sahiptir. Parazitik elemana sahip mikroşerit yama anten tasarımında; elips şeklindeki parazitik elemanın, tasarımın substrat sınırı ve yama kısmı ile kesişim noktası bulunmamaktadır. Parazitik elemanın bulunduğu üç bölgede de, parazitik eleman ile yama arası mesafe eşittir.

Parazitik elemanlara sahip mikroşerit yama anten tasarımındaki parazitik elemanların anten yama bölgesine olan uzaklıkları değiştirilmemiş ve boyutları sabit bırakılmıştır. Yalnızca konumları değiştirilmiştir. Elips şeklinde birbirleriyle eş büyüklüğe sahip elemanlardır. Güncellenen tasarımın, on birinci mikroşerit yama anten tasarımından farkı; anten yama bölgesi dış sınırında ki parazitik elemanların, yakın olduğu kenarlardan kaldırılıp, yama dış sınırının boş olan kenarlarına aktarılmasıdır. HFSS programında optimizasyonlar gerçekleştirilerek s parametre grafikleri oluşturulmuştur. Uygun frekans aralığı elde edilememiştir. On ikinci mikroşerit yama anten tasarımı Şekil 13’te verilmiştir.



Şekil 13. On ikinci mikroşerit yama anten tasarımı (a) Yama, (b) Yandan görünüm
(Twelfth microstrip patch antenna design (a) Patch, (b) Side view)

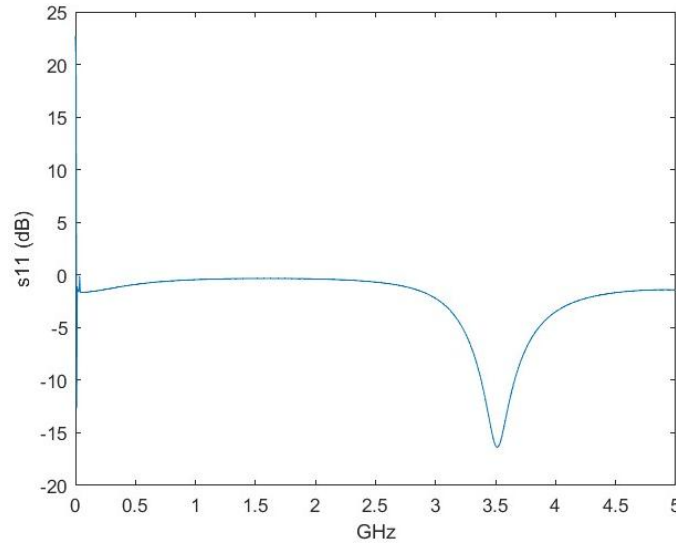
4. Simülasyon Sonuçları (Simulation Results)

Üretim için hedef kriterlere uygun olarak seçilen tasarım, sekizinci mikroşerit yama anten tasarımıdır. Uygun tasarım seçilirken hedef kriterler baz alınmıştır. Uygunluğu test edilen hedef kriterler; 3.3 GHz ile 3.8 GHz arasındaki bir frekans aralığı, 10 dB ile 20 dB aralığında maksimum ışıma değeri, -1 dB ile 6 dB arasında ise maksimum kazanç değeridir. Optimizasyon sonucunda bulunan s11 saçılma parametresinin dB değeri grafikleri incelendiğinde; grafiklerin -10dB’in altında kalan bölgede, -10dB’i kesen noktaları olan m1 ve m2 noktaları baz alınarak frekans aralığı bulunmuştur. Frekans aralığı 3.3-3.6 GHz aralığındadır ve uygundur. Maksimum ışıma değerleri incelenerek karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda 16.5-16.7 dB aralığında yer aldığı gözlemlenmiştir. Hedef kriterlere uygundur. Üç boyutlu olarak çizdirilen kazanç grafikleri incelenmiştir. Kazanç maksimum değeri -0.96 dB olarak belirlenmiştir ve hedef kriterlere uygundur. Aynı zamanda, anten boyutları üretim için uygun bulunmuştur. Küçük ve ince bir yapıya sahip olması hafiflik ve düşük üretim maliyeti sağlamıştır.

3.5 GHz frekansına en yakın frekans değerlerine sahip grafikler belirlenmiş ve -10dB değerinin altında eğim

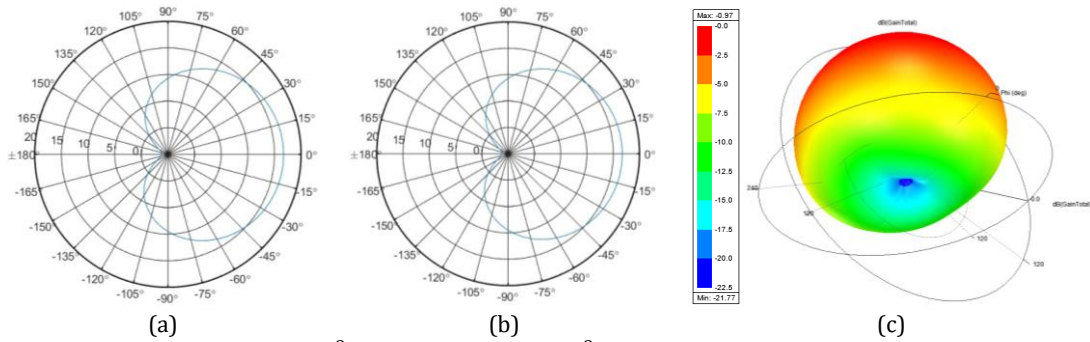
gösteren grafikler seçilerek incelenmiştir. İncelemelerde rezonans değerleri, eğrilerin -10dB'in altındaki m1 ve m2 noktaları, m1 ve m2 noktaları arasındaki fark gibi belirgin özellikler değerlendirilmiş olup; istenen koşullara uygunluğu tartışılmıştır. Tartışma sonucunda, elemeler gerçekleştirilmiş ve geriye 7 adet eğri kalmıştır. 7 adet eğrinin de frekans aralığı, 3.3-3.6 GHz aralığında seçilmiştir. Her bir eğri için; ayrı ayrı ışıma deseni (radiation pattern) çizdirilmiştir. İki düzlemde de iz düşümü alınmıştır ($\Phi=0^\circ$ ve $\Phi=90^\circ$). Yine her bir eğri için; üç boyutlu olarak kazanç çizdirilmiştir. Işıma deseni ve kazanç grafikleri, çalışma frekansı olan 3.5 GHz frekansında çizdirilmiştir. S11 parametresinin dB değerini gösteren eğrilerin -10dB değerini kesen noktaları m1 ve m2 noktalarıdır. m1 ve m2 değerleri arasındaki fark, bant genişliğine karşılık gelmektedir. Elde edilen grafik değerleri analiz edilmiş ve hedef kriterlere en uygun olarak beşincisi tercih edilmiştir. İlgili durumda 3.5 GHz rezonans frekansı mevcuttur. $\Phi=0^\circ$ ve $\Phi=90^\circ$ düzlemleri için maksimum ışıma değeri 16.76 dB, kazanç maksimum değeri ise -0.96 dB'dir. Bahsedilen 7 duruma ait grafikler Şekil 14-20 arasında sunulmuştur.

Grafiklerden birincisi için optimizasyon aralığı $4 \geq x \geq -1$, $9 \geq y \geq 4$; elde edilen grafik değerleri $x = -0.8$, $y = 4.6$; -10dB değerini kestiği m1 noktası $x = 3.6581$, $y = -10.0001$; -10dB değerini kestiği m2 noktası $x = 3.3790$, $y = -9.9923$ 'dür (bkz. Şekil 14).



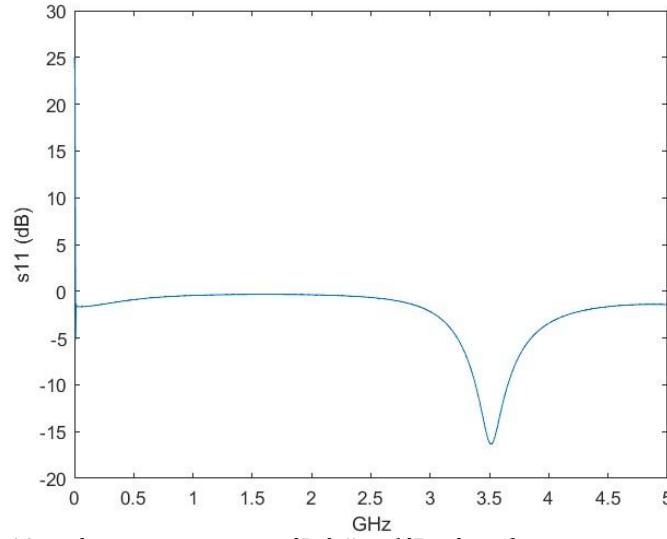
Şekil 14. s11 saçılma parametresinin dB değeri (dB value of scattering parameter s11)

Birinci grafik değerlendirildiğinde, 0 derece için maksimum ışıma değeri 16.7339 dB, 90 derece için maksimum ışıma değeri 16.7355 dB, anten kazancı maksimum değeri -0.97 dB, anten kazancı minimum değeri -21.77 dB'dir. Maksimum ışıma değeri ve kazanç modelleri Şekil 15'te gösterilmiştir.



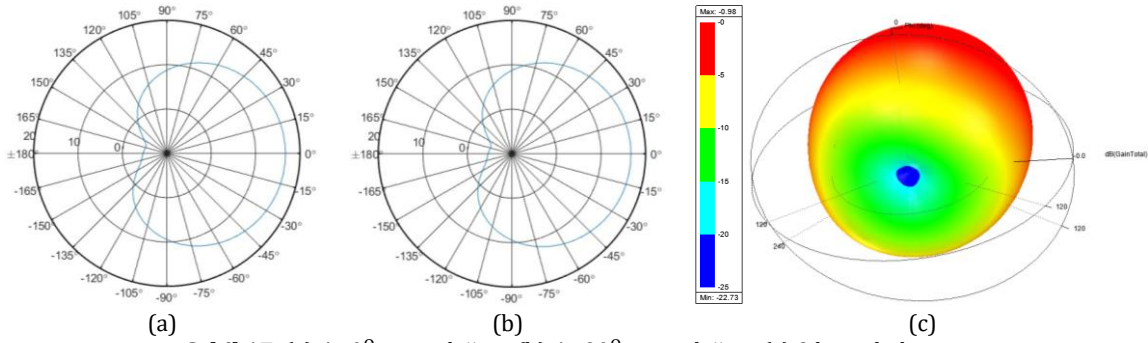
Şekil 15. (a) $\phi=0^\circ$ ışıma deseni, (b) $\phi=90^\circ$ ışıma deseni, (c) 3 boyutlu kazanç
(a) Radiation pattern for $\phi=0^\circ$ plane, (b) Radiation pattern for $\phi=90^\circ$ plane, (c) 3D gain

Grafiklerden ikincisi için optimizasyon aralığı $-1 \geq x \geq -9$, $7 \geq y \geq 4$; elde edilen grafik değerleri $x = -1.8$, $y = 4.2$; -10dB değerini kestiği m1 noktası $x = 3.3818$, $y = -9.9999$; -10dB değerini kestiği m2 noktası $x = 3.6540$, $y = -10.0006$ 'dır (bkz. Şekil 16).



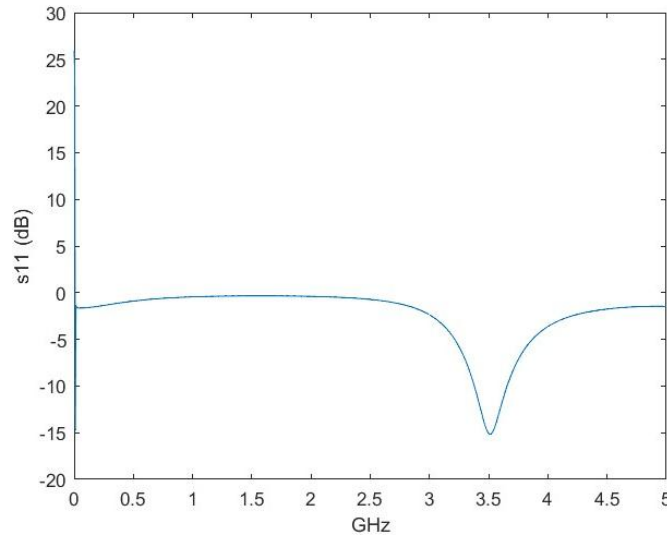
Şekil 16. s11 saçılma parametresinin dB değeri (dB value of scattering parameter s11)

İkinci grafik değerlendirildiğinde, 0 derece için maksimum ışıma değeri 16.7276 dB, 90 derece için maksimum ışıma değeri 16.7276 dB, anten kazancı maksimum değeri -0.98 dB, anten kazancı minimum değeri -22.73 dB'dir. Işıma deseni ve kazanç modelleri Şekil 17'de gösterilmiştir.



Şekil 17. (a) $\phi=0^\circ$ ışıma değeri, (b) $\phi=90^\circ$ ışıma değeri, (c) 3 boyutlu kazanç
((a) Radiation pattern for $\phi=0^\circ$ plane, (b) Radiation pattern for $\phi=90^\circ$ plane, (c) 3D gain)

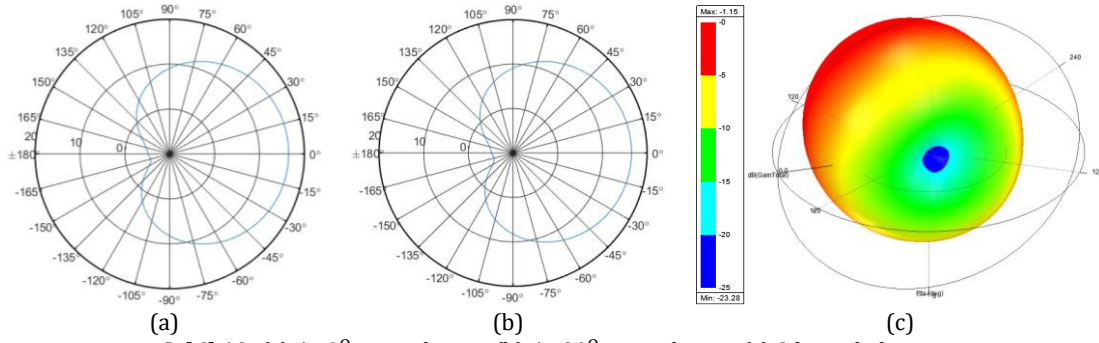
Grafiklerden üçüncüsü için optimizasyon aralığı $4 \geq x \geq -2$, $8 \geq y \geq 4$; elde edilen grafik değerleri $x = 2.6$, $y = 4.2$; -10dB değerini kestiği m1 noktası $x = 3.6550$, $y = -10.0169$; -10dB değerini kestiği m2 noktası $x = 3.3788$, $y = -10.0019$ 'dur (bkz. Şekil 18).



Şekil 18. s11 saçılma parametresinin dB değeri (dB value of scattering parameter s11)

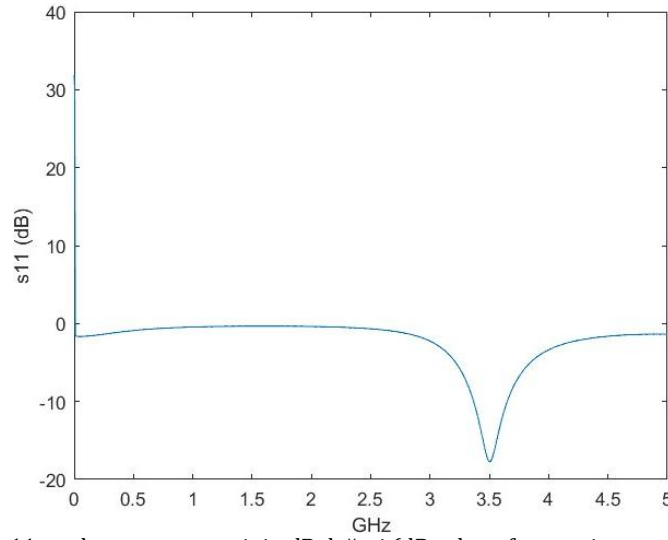
Üçüncü grafik değerlendirildiğinde, 0 derece için maksimum ışıma değeri 16.5263 dB, 90 derece için maksimum

ışırma değeri 16.5263 dB, anten kazancı maksimum değeri -1.15 dB, anten kazancı minimum değeri -23.28 dB'dir. Işıırma deseni ve kazanç modelleri Şekil 19'da gösterilmiştir.



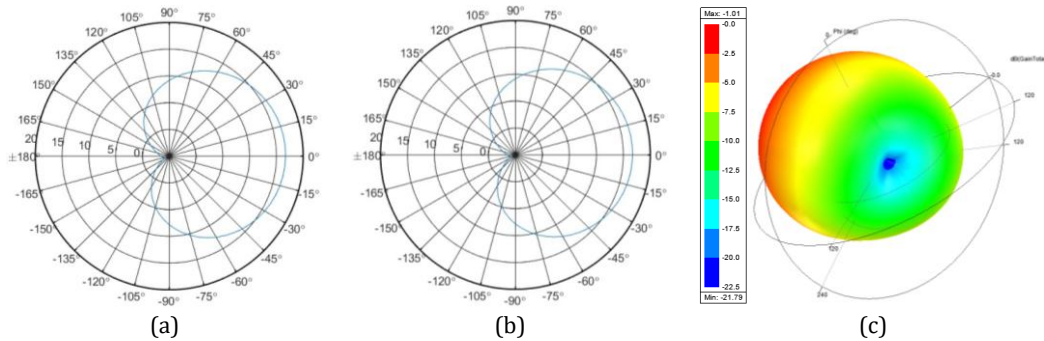
Şekil 19. (a) $\phi=0^\circ$ ışıırma deseni, (b) $\phi=90^\circ$ ışıırma deseni, (c) 3 boyutlu kazanç
((a) Radiation pattern for $\phi=0^\circ$ plane, (b) Radiation pattern for $\phi=90^\circ$ plane, (c) 3D gain)

Grafiklerden dördüncüsü için optimizasyon aralığı $4 \geq x \geq 3$, $9 \geq y \geq 2$; elde edilen grafik değeri $x = 3.0$, $y = 3.4$; -10dB değeri kestigi m1 noktası $x = 3.3666$, $y = -10.0003$; -10dB değeri kestigi m2 noktası $x = 3.6505$, $y = -10.0000$ 'dir (bkz. Şekil 20).



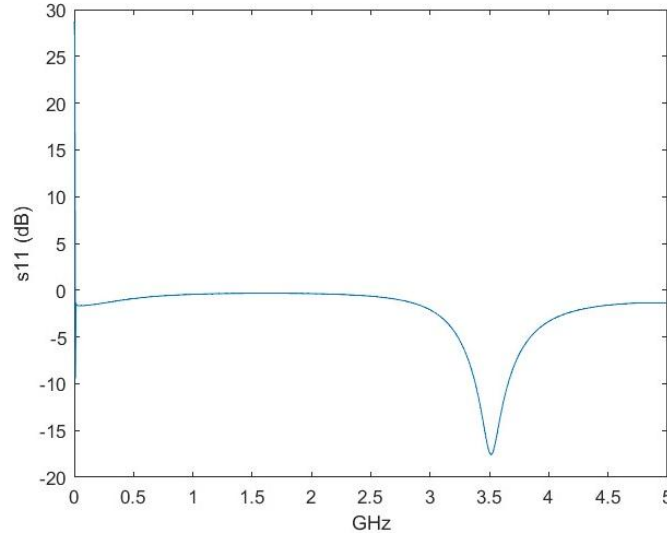
Şekil 20. s11 saçılma parametresinin dB değeri (dB value of scattering parameter s11)

Dördüncü grafik değeriendirildiğinde, 0 derece için maksimum ışıırma değeri 16.7201 dB, 90 derece için maksimum ışıırma değeri 16.7201 dB, anten kazancı maksimum değeri -1.01 dB, anten kazancı minimum değeri -21.79 dB'dir. Işıırma deseni ve kazanç modelleri Şekil 21'de gösterilmiştir.



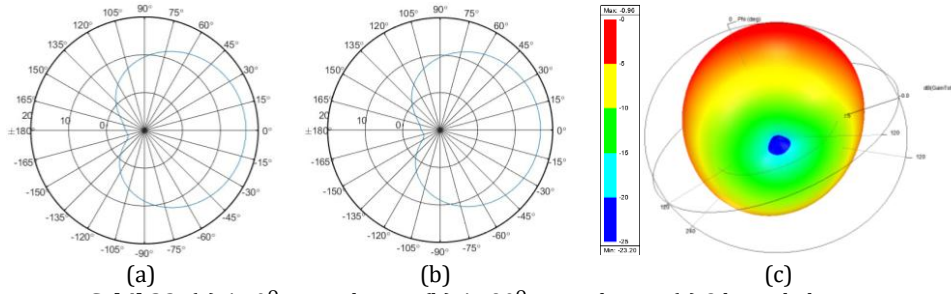
Şekil 21. (a) $\phi=0^\circ$ ışıırma deseni, (b) $\phi=90^\circ$ ışıırma deseni, (c) 3 boyutlu kazanç
((a) Radiation pattern for $\phi=0^\circ$ plane, (b) Radiation pattern for $\phi=90^\circ$ plane, (c) 3D gain)

Grafiklerden beşincisi için optimizasyon aralığı $9 \geq x \geq 1$, $-4 \geq y \geq -6$; elde edilen grafik değeri $x = 2.0$, $y = -4.0$; -10dB değeri kestigi m1 noktası $x = 3.3807$, $y = -10.0001$; -10dB değeri kestigi m2 noktası $x = 3.6563$, $y = -10.0000$ 'dir (bkz. Şekil 22).



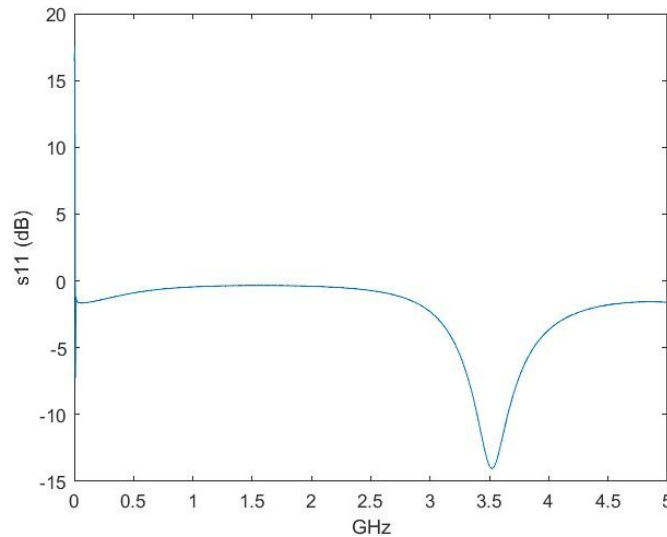
Şekil 22. s11 saçılma parametresinin dB değeri (dB value of scattering parameter s11)

Beşinci grafik değerlendirildiğinde, 0 derece için maksimum ışıma değeri 16.7606 dB, 90 derece için maksimum ışıma değeri 16.7606 dB, anten kazancı maksimum değeri -0.96 dB, anten kazancı minimum değeri -23.20 dB'dir. Işıma deseni ve kazanç modelleri Şekil 23'te gösterilmiştir.



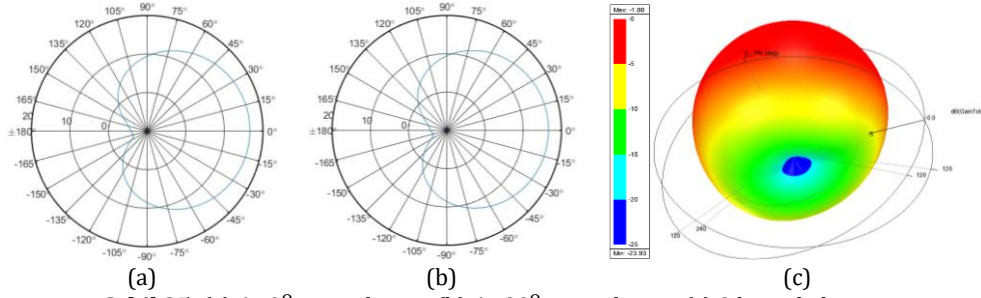
Şekil 23. (a) $\phi=0^\circ$ ışıma deseni, (b) $\phi=90^\circ$ ışıma deseni, (c) 3 boyutlu kazanç
(a) Radiation pattern for $\phi=0^\circ$ plane, (b) Radiation pattern for $\phi=90^\circ$ plane, (c) 3D gain

Grafiklerden altıncısı için optimizasyon aralığı $2 \geq x \geq -4$, $-4 \geq y \geq -8$; elde edilen grafik değerleri $x = 2.0$, $y = -4.6$; -10dB değerini kestiği m1 noktası $x = 3.3955$, $y = -10.0000$; -10dB değerini kestiği m2 noktası $x = 3.6546$, $y = -10.0000$ 'dir (bkz. Şekil 24).



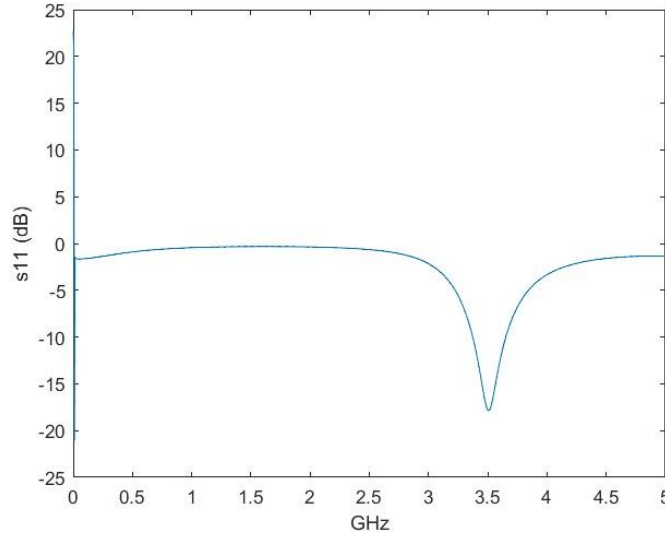
Şekil 24. s11 saçılma parametresinin dB değeri (dB value of scattering parameter s11)

Altıncı grafik değerlendirildiğinde, 0 derece için maksimum ışıma değeri 16.6324 dB, 90 derece için maksimum ışıma değeri 16.6324 dB, anten kazancı maksimum değeri -1.00 dB, anten kazancı minimum değeri -23.93 dB'dir. Işıma deseni ve kazanç modelleri Şekil 25'te gösterilmiştir.



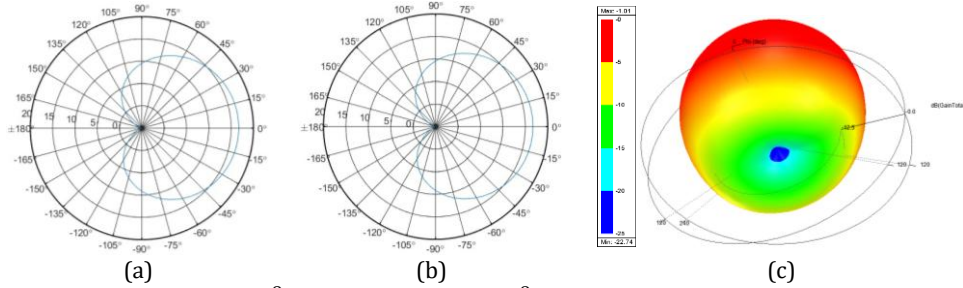
Şekil 25. (a) $\phi=0^\circ$ ışıma deseni, (b) $\phi=90^\circ$ ışıma deseni, (c) 3 boyutlu kazanç
((a) Radiation pattern for $\phi=0^\circ$ plane, (b) Radiation pattern for $\phi=90^\circ$ plane, (c) 3D gain plot)

Grafiklerden yedincisi için optimizasyon aralığı $1 \geq x \geq -4$, $-4 \geq y \geq -9$; elde edilen grafik değerleri $x = 0.8$, $y = -4.4$; -10 dB değerini kestiği m1 noktası $x = 3.3726$, $y = -10.0000$; -10 dB değerini kestiği m2 noktası $x = 3.6522$, $y = -10.0000$ 'dir (bkz. Şekil 26).



Şekil 26. s11 saçılma parametresinin dB değeri (dB value of scattering parameter s11)

Yedinci grafik değerlendirildiğinde, 0 derece için maksimum ışıma değeri 16.7194 dB, 90 derece için maksimum ışıma değeri 16.7250 dB, anten kazancı maksimum değeri -1.01 dB, anten kazancı minimum değeri -22.74 dB'dir. Işıma deseni ve kazanç modelleri Şekil 27'de gösterilmiştir.



Şekil 27. (a) $\phi=0^\circ$ ışıma deseni, (b) $\phi=90^\circ$ ışıma deseni, (c) 3 boyutlu kazanç
((a) Radiation pattern for $\phi=0^\circ$ plane, (b) radiation pattern for $\phi=90^\circ$ plane, (c) 3D gain)

Sekizinci mikroserit yama anten tasarımına ait grafiklerin optimizasyon aralığı, grafik değerleri ve grafiğin -10 dB noktasını kestiği noktalar Tablo 1'de verilmiştir. Şekil 14, Şekil 16, Şekil 18, Şekil 20, Şekil 22, Şekil 24 ve Şekil 26'da gösterilen s11 saçılma parametresinin dB değeri Tablo 1 ile ilişkilendirilir. Tablo 1, grafiklerden elde edilen ve üretim aşaması için önemli kabul edilen değerlerin net ve özet şeklinde ifade edilebilmesi amacı ile oluşturulmuştur.

Tablo 1. Seçilen grafiklerin; optimizasyon aralığı, grafik değerleri, -10 desibel değerini kestiği noktalar
(Selected graphics; optimization range, graphic values, points where it cuts the -10 decibel value)

SEÇİLEN GRAFİKLER	OPTİMİZASYON ARALIĞI (mm)	BESLEME NOKTASI (mm)	-10 DB DEĞERİNE KARŞILIK GELEN ALT FREKANS DEĞERİ	-10 DB DEĞERİNE KARŞILIK GELEN ÜST FREKANS DEĞERİ
1	$4 \geq x \geq -1$ $9 \geq y \geq 4$	$x = -0.8$ $y = 4.6$	3.3790	3.6581
2	$-1 \geq x \geq -9$ $7 \geq y \geq 4$	$x = -1.8$ $y = 4.2$	3.3818	3.6540
3	$4 \geq x \geq -2$ $8 \geq y \geq 4$	$x = 2.6$ $y = 4.2$	3.3788	3.6550
4	$4 \geq x \geq 3$ $9 \geq y \geq 2$	$x = 3.0$ $y = 3.4$	3.3666	3.6505
5	$9 \geq x \geq 1$ $-4 \geq y \geq -6$	$x = 2.0$ $y = -4.0$	3.3807	3.6563
6	$2 \geq x \geq -4$ $-4 \geq y \geq -8$	$x = 2.0$ $y = -4.6$	3.3955	3.6546
7	$1 \geq x \geq -4$ $-4 \geq y \geq -9$	$x = 0.8$ $y = -4.4$	3.3726	3.6522

Sekizinci mikroşerit yama anten tasarımına ait grafiklerin maksimum ısıma değerleri ile kazanç maksimum değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Şekil 15, Şekil 17, Şekil 19, Şekil 21, Şekil 23, Şekil 25 ve Şekil 27’de gösterilen maksimum ısıma değeri ve kazanç, Tablo 2 ile ilişkilendirilir. Tablo 2 elde edilen verilerin özetlenmesi ve daha net ifade edilebilmesi amacı ile oluşturulmuştur.

Tablo 2. Seçilen grafiklerin; maksimum ısıma değeri ve açıları, kazanç değerleri
(Selected graphics; radiation pattern maximum values and angles, gain values)

SEÇİLEN GRAFİKLER	$\Phi=0^\circ$ İÇİN MAKSİMUM IŞIMA DEĞERİ (dB)	$\Phi=90^\circ$ İÇİN MAKSİMUM IŞIMA DEĞERİ (dB)	KAZANÇ MAKSİMUM DEĞERİ (dB)
1	16.7339	16.7355	-0.97
2	16.7276	16.7276	-0.98
3	16.5263	16.5263	-1.15
4	16.7201	16.7201	-1.01
5	16.7606	16.7606	-0.96
6	16.6324	16.6324	-1.00
7	16.7194	16.7250	-1.01

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

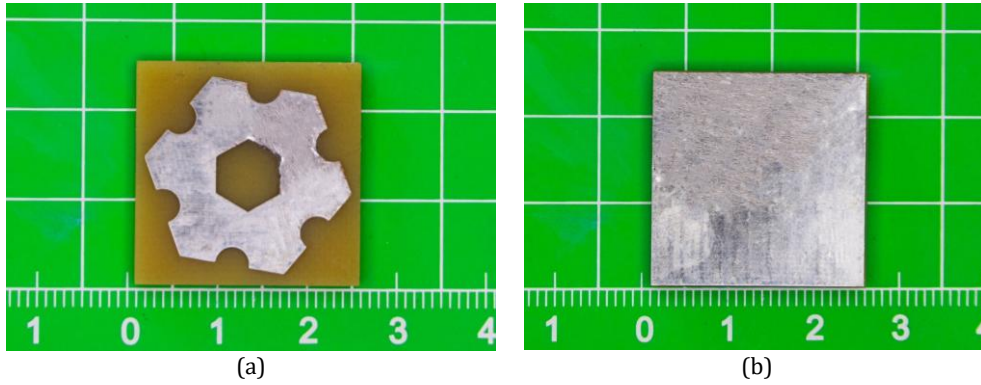
Hedef kriterler doğrultusunda; parazitik elemana sahip olmayan mikroşerit yama anten tasarımları ve parazitik elemana sahip mikroşerit yama anten tasarımları yapılmıştır. Parazitik elemana sahip olan mikroşerit yama antenler istenen performansı karşılamamaktadır. Optimizasyon ve incelemeleri yapılan bu tasarımlar sonucunda üretim için seçilen mikroşerit yama anten tasarımının, parazitik elemana sahip olmayan mikroşerit yama anten tasarımı olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Ortaya çıkan tasarımdan (sekizinci mikroşerit yama anten tasarımı); 3.3-3.6 GHz frekans aralığına sahip, yedi adet grafik elde edilmiştir. Bu yedi adet eğrinin ayrı ayrı ısıma deseni çizdirilmiş ve iki düzlemde de iz düşümü alınmıştır. Üç boyutlu olarak kazanç grafiği çizdirilmiştir. Seçilen grafiklerin; optimizasyon aralığı, grafik değerleri, m1 ve m2 noktaları, maksimum ısıma değeri ve açıları, kazanç maksimum değerleri incelendiğinde; besleme için en doğru olanın beşinci grafik olduğuna karar verilmiştir. Seçilen beş numaralı grafiğin, diğer grafiklere oranla; kazanç maksimum değeri, maksimum ısıma değeri ($\Phi=0^\circ$) ve maksimum ısıma değeri ($\Phi=90^\circ$) yüksektir. Kazanç maksimum değeri; -0.96 dB, maksimum ısıma değeri ($\Phi=0^\circ$); 16.76 dB, maksimum ısıma değeri ($\Phi=90^\circ$); 16.76 dB’dir. Bu değerler elde edilirken hedeflenen değerlere sadık kalınarak özgün sonuçlar elde edilmiştir ve üretim aşaması için uygun antenin seçilmesinde kullanılmıştır.

Üretilen tasarım sekizinci mikroşerit yama anten tasarımıdır. Anten tasarımı kendine özgü yama şekline ve dış hatlara sahiptir. Yama kısmı altıgen şekline nazaran yarım daire şeklindeki oyuklarıyla, diğer çalışmalardan farklı ve özgündür. Aynı zamanda elde edilen değerler kıyaslandığında hem özgün hem de hedef kriterleri sağlayan bir tasarım elde edilmiştir. Mikroşerit yama anten üretimi için gereken tasarımın belirlenmesinin ardından, antenin üretimi için gerber dosyası formatına dönüştürülmüştür. Bunun için Dip Trace programının standart sürümünden

faaydalanılmıştır. Dip Trace, bir baskı devre tasarımı programıdır. HFSS programından .dxf uzantısıyla elde edilen çıktılar, Dip Trace programına aktarılmıştır. Dip Trace programından .drl uzantılı bir çıktı ve .gbr uzantılı iki çıktı elde edilmiştir. Yani toplamda üç adet çıktı elde edilmiştir. Elde edilen bu dosyalar, üretim için seçilen firmaya gönderilerek üretimde kullanılmıştır. Üretilen mikroşerit yama anten 3.62 gram ağırlığa sahiptir. Üretilen mikroşerit yama antenin ön ve arka yüzü şekil 28'de verilmiştir.

Literatürdeki çalışmalara kıyasla bu çalışmada çok sayıda grafik ile performans değerlendirmesi yapılmış; farklı düzlemler için maksimum ışıma değerleri incelenmiş; ayrıca antenin fiziksel üretimi gerçekleştirilerek ağırlığı gibi gerçek dünya parametreleri de ortaya konmuştur. Tasarımın maksimum ışıma değerinin ulaştığı 16.76 dB değerleri, simülasyon düzleminde oldukça yüksek performansa ışaret etmektedir. Literatürde sunulan örneklere kıyasla, bu çalışmada çok daha geniş bir analiz aralığı, çoklu karşılaştırmalı grafikler, ve üç boyutlu performans değerlendirmeleri sunulurak anten tasarımının uygulama potansiyeli daha kapsamlı biçimde ortaya konmuştur. Bu karşılaştırma, çalışmanın yalnızca frekans aralığı açısından değil; analiz kapsamı, optimizasyon süreçleri ve uygulamaya dönük üretim bilgileri açısından da literatürdeki mevcut örneklerden ayrıldığını ve özgün bir katkı sunduğunu göstermektedir.



şekil 28. Üretilen mikroşerit yama anten (a) Antenin ön yüzü, (b) Antenin arka yüzü (Fabricated microstrip patch antenna (a) Front side of the antenna, (b) Back side of the antenna)

Bu çalışmada, ülkemizde 5G (Beşinci Nesil) uygulaması için kullanılan 3.5 GHz çalışma frekansında; özgün, yerli ve milli, iç/dış ortamlarda kullanılabilecek bir mikroşerit yama anten tasarımı yapılmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, ülkemizde henüz kullanıma alınan 5G sistemlerinde dışa bağımlılığı azaltmaya, yerli ve milli imkanlarla donanım sağlamaya katkıda bulunmaktır. Bu amaç doğrultusunda özgün bir yama şekline sahip mikroşerit yama anten tasarımı yapılmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretiminin kolay oluşu, düşük maliyeti, hafif ve mekanik olarak dayanıklı olma özellikleriyle ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmanın temel motivasyonu, 5G ve benzeri ileri düzey kablosuz iletişim sistemlerinde kullanılabilecek, 3.5 GHz frekansın da çalışan, yönlülüğü yüksek ve kompakt bir mikroşerit yama anten tasarlamaktır. Literatürde çoğunlukla dar frekans bandına sahip ve yalnızca temel parametrelerle değerlendirilen anten çalışmaları bulunmasına karşın, bu çalışmada hem geniş frekans bandı kapsamış, hem de ışıma desenleri, iz düşümleri ve kazanç karakteristikleri detaylı biçimde analiz edilmiştir. Ayrıca antenin fiziksel üretimi gerçekleştirilmiş ve gerçek dünya boyutları elde edilmiştir. Bu yönüyle, çalışmanın literatürdeki mevcut anten tasarımlarına göre daha uygulanabilir, çok yönlü ve özgün bir çözüm sunduğu değerlendirilmektedir.

12. Kalkınma Planı (2024-2028), 11. Kalkınma Planı (2019-2023) ve Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB) koordinasyonunda hazırlanan Ulusal Genişbant Stratejisi ile Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) Stratejik Planı dahilinde, özellikle yerli üretim ve Ar-Ge hedefleri göz önüne alındığında bu çalışmada elde ettiğimiz 5G antenin milli tasarım ve üretime katkıda bulunacağı açıktır.

Üretimi yapılmış antenin S parametresi ve kazanç ölçümleri devam etmekte olup bu ölçümler farklı bir proje dahilinde ele alınmaktadır. Bahsedilen projenin sonuçlarının diğer bir çalışmada sunulması planlanmaktadır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Attaran, M., 2023. The Impact of 5G on the Evolution of Intelligent Automation and Industry Digitization. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14.5: 5977-5993.
- Bryant, B., Won, H., Hong, Y. K., Lee, W., Choi, M., 2022. Design of Triple-Band (DSRC, 5G, 6G) Antenna for Autonomous Vehicle Telematics, *Electronics*, 1-14.
- Ceylan, O., Asan Z., Dogusgen Erbas, C., 2023. Design of Microstrip Patch Antennas with Circular Slots for UMTS Application. *BİLTEK-VIII International Symposium on Current Developments in Science, Technology and Social Sciences*, France.
- Dangi, R., Lalwani, P., Choudhary, G., You, I., Pau, G., 2021. Study and Investigation on 5G Technology: A Systematic Review. *Sensors*, 22.1: 26.
- Dogusgen Erbas, C., 2021. Annular Ring Microstrip Patch Antennas with Slots in Patch and Ground Plane for GSM-1800 and Radio Navigation. *8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*.
- Dogusgen Erbas, C., 2021. Microstrip Patch Antenna Designs with Quarter-Circular and Semi-Circular Slots in Patches for Wireless Communication Applications in Frequency Range of 1.2 GHz-4.6 GHz. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal* Vol. 6, No. 3, 257-262.
- Dogusgen Erbas, C., 2023. Dual-band and dual-mode annular ring microstrip patch antenna with slots for GSM-1800 and GPS operations. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 38:1 547-556.
- Dogusgen Erbas, C., Okatan, A., 2018. Annular Ring Microstrip Patch Antenna Structures with Slotted Ground Planes for GSM-1800. *ELECO Electrical-Electronics and Biomedical Engineering Conference*, Istanbul.
- Ha, S.G., Cho, J., Jung, K.Y., 2017. Design of Miniaturized Microstrip Patch Antennas Using Non-Foster Circuits for Compact Controlled Reception Pattern Antenna Array. *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 17, no. 2, 108-110.
- Kim, J.H., Kim, B.G., 2018. Effect of Feed Substrate Thickness on the Bandwidth and Radiation Characteristics of an Aperture-Coupled Microstrip Antenna with a High Permittivity Feed Substrate. *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 18, no. 2, 101-107.
- Kim, J., Sung, Y., 2018. Dual-Band Microstrip Patch Antenna with Switchable Orthogonal Linear Polarizations. *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 18, no. 4, 215-220.
- Kong, D.K., Kim, J., Woo, D., Yoon, Y.J., 2021. Broadband Modified Proximity Coupled Patch Antenna with Cavity-Backed Configuration. *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 21, no. 1, 8-14.
- Koziel, S., Bekasiewicz, A., 2017. On reduced-cost design-oriented constrained surrogate modeling of antenna structures. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 1618-1621.
- Liu, Z., Wang, P., Zeng, Z., 2013. Enhancement of the Gain for Microstrip Antennas Using Negative Permeability Metamaterial on Low Temperature Co-Fired Ceramic (LTCC) Substrate. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol.12, 429-432.
- Marzuki, A.S.M., Rahim, A.R., Mohmd, B., Khalil, K., Naemat, A., Tee, A., 2006. Antenna isolation considerations in WCDMA repeater deployment. *Proceedings of International RF and Microwave Conference*, Putra Jaya, Malaysia, pp. 347-350.
- Mashayekhi, M., Kabiri, P., Nooramin, A. S., Soleimani, M., 2023. A reconfigurable graphene patch antenna inverse design at terahertz frequencies, *Scientific Reports*, 13:8369.
- Naji, D.K., 2020. Miniature Slotted Semi-Circular Dual-Band Antenna for WiMAX and WLAN Applications. *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 20, no. 2, 115-124.
- Nelaturi, S., Sarma, N.V., 2018. A Compact Microstrip Patch Antenna Based on Metamaterials for Wi-Fi and WiMAX Applications. *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 18, no. 3, 182-187.
- Nguyen, D.D., Seo, C., 2022. Frequency-Selective Surface Stopband Designed with a Genetic Algorithm for Gain Enhancement of a Broadband Monopole Antenna. *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 22, no. 3, 236-244.
- Perli, B.R., Avula, M.R., 2021. Design of Wideband Elliptical Ring Monopole Antenna Using Characteristic Mode Analysis. *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 21, no. 4, 299-306.
- Rana, M.S., Smieeee, M.M.R., 2022. Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna for 5G Wireless Communication Systems. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 11, no. 6, 3329-3337.
- Salazar, H. Y., Hariyadi, T., Pantjawati, A. B., 2020. Design of Microstrip Antenna C-Band Frequency for Ground Surveillance Radar, *Materials Science and Engineering*, 850.
- Simruni, M., Jam, S., 2019. Design of High Gain, Wideband Microstrip Resonant Cavity Antenna Using FSS Superstrate with Equivalent Circuit Model. *AEU International Journal of Electronics and Communications*, vol. 112, article no. 152935.
- Tahir, F.A., Arshad, T., Ullah, S., Flint, J.A., 2017. A Novel FSS for Gain Enhancement of Printed Antennas in UWB Frequency Spectrum. *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 59(10), 2698-2704.
- Trinh-Van, S., Hwang, K.C., Park, J.Y., Kim, S.J., Shin, J.H., 2013. An Improvement of Closed-Form Formula for Mutual Impedance Computation. *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 13, no. 4, 240-244.
- Wong, K.L., 2002. Compact and Broadband Microstrip Antennas. *Wiley Series in Microwave and Optical Engineering*.
- Yeo, J., Lee, J. I., 2023. Gain Enhancement of Microstrip Patch Array Antennas Using Two Metallic Plates for 24 GHz Radar Applications, *Electronics*, 12, 1-18.
- Yoon, S.J., Choi, J., 2018. A Low-Profile Broadband Array Antenna for Home Repeater Applications. *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 18, no. 4, 261-266.
- Zhang, X.Y., Tian, Y.B., Zheng, X., 2020. Antenna Optimization Design Based on Deep Gaussian Process Model. *School of Electronics and Information, Jiangsu University of Science and Technology, Hindawi International Journal of Antennas and Propagation*.