

Kabin İçi 4G (LTE) ve WiFi Kablosuz Haberleşme Sistemlerinde Kullanılmak Üzere Mikroşerit Anten Tasarımı

Özgür DÜNDAR^{1,*}  Batuhan KOYUNCU²

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fak., Havacılık ve Uzay Mühendisliği, Konya, Türkiye
² TUSAŞ, Ankara, Türkiye

*odundar@erbakan.edu.tr (Corresponding Author/Sorumlu Yazar)

Makale Bilgileri	ÖZ
Makale Geçmişi Geliş: 26/05/2023 Kabul: 24/06/2023 Yayın: 30/06/2023	<p>Bu çalışmanın özü, gündelik hayatta olmazsa olmaz bir ulaşım aracı haline gelen uçak yolculuklarında, seyahat esnasında günümüz cep telefonları henüz 5G altyapısına hazır olmadığı için mevcut cihazlara entegre edilebilecek, aynı anda ister 4G (LTE) mobil şebeke ister WiFi kablosuz internet bağlantısı ile kullanılacak genişbant mikroşerit anten tasarım detayları ve High Frequency Structural Simulator (HFSS) program ile gerçekleştirilmiş simülasyon sonuçlarını içermektedir. Cep telefonu, tablet, dizüstü bilgisayar vb. mobil kişisel cihazların içerisine entegre edilerek uçak içinde seyahatler esnasında hem 4G (LTE) hem de 2.4 GHz WiFi kablosuz haberleşme bantları ile aynı anda haberleşebilecek mikroşerit yama anten tasarımı amaçlanmıştır. İlgili mikroşerit yama anten tasarımı mikroşerit hat besleme yöntemi ile tasarlanmış olup malzeme seçimi FR-4 dielektrik malzemesinden yana olmuştur. Bant genişliğinin artırılabilmesi için ise tasarımın toprak katında ölçü farklılıklarına gidilmiştir. HFSS program ile simüle edilmiştir. Yapılan mikroşerit yama anten tasarımı ve HFSS program ile yapılan simülasyon sonuçlarına göre; anten merkez frekansı 2,57 GHz olup S_{11} değeri -24,18 dB olarak ölçülmüştür. Sistemin bant genişliği 250 MHz seviyesindedir. Ayrıca, anten kazanç değeri ise 3,08 dBm olarak simüle edilmiştir. Tasarlanan anten kazancının büyüklüğü ve genişbant olması sebebi ile günümüz mevcut cep telefonlarında hem 4G (LTE) hem de 2.4 GHz WiFi (9-14 kanalları arası) kablosuz haberleşme sistemlerinde verimli bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.</p>
Anahtar Kelimeler: Mikroşerit, Anten, WiFi, LTE, 4G.	

Microstrip Antenna Design for In-Cabin 4G (LTE) and WiFi Communication Systems

Article Info	ABSTRACT
Article History Received: 26/05/2023 Accepted: 24/06/2023 Published: 30/06/2023	<p>The essence of this study is the broadband microstrip that can be integrated into devices, whether it is 4G (LTE) mobile network or WiFi wireless internet connection, at the same time, since today's mobile phones are not ready for 5G infrastructure, during airplane journeys, which have become an indispensable means of transportation in daily life, includes antenna design details and simulation results with High Frequency Structural Simulator (HFSS) program. It is aimed to design a microstrip patch antenna that can communicate with both 4G (LTE) and 2.4GHz WiFi wireless communication bands at the same time, by integrating it into mobile personal devices such as mobile phone, tablet, laptop, etc. The related microstrip patch antenna design was designed with the microstrip feeding method and the material selection was in favor of the FR-4 dielectric material. In order to increase the bandwidth, measurement differences were made on the ground floor of the design. According to the microstrip patch antenna design and simulation results made with the HFSS program; antenna center frequency is 2.57 GHz and S_{11} value is measured as -24.18 dB. The bandwidth of the system is at 250 MHz. In addition, the antenna gain value is simulated as 3.08 dBm. Due to the large size of the designed antenna gain and broadband, it has been seen that it can be used efficiently in both 4G (LTE) and 2.4 GHz WiFi (between 9-14 channels) wireless communication systems in today's existing mobile phones.</p>
Keywords: Microstrip, Antenna, WiFi, LTE, 4G.	

Atf/Citation: Dündar, Ö. & Koyuncu, B. (2023). Kabin İçi 4G (LTE) ve WiFi Kablosuz Haberleşme Sistemlerinde Kullanılmak Üzere Mikroşerit Anten Tasarımı. *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*, 2(1), 19-26.

"This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)"



GİRİŞ

Kablosuz haberleşme günlük hayatta olmazsa olmazlarımız arasına girmiştir. Bu ihtiyaç hayatın her anında olduğu gibi yolculuklar esnasında da gerekliliğini göstermektedir. Kara ve deniz yolculuklarının yanı sıra özellikle hava yolculuklarında insanlar mobil cihazlarını kullanabilmeyi istemektedir. Uçak içerisinde yolcuların mobil telefonlarını kullanabilmelerine imkan sağlayan birçok çalışma, örnekler ve üretimler mevcuttur (Dündar vd., 2021).

1G, 2G, 3G, 4G, LTE gibi gelişmelerin ardından artık 5G ve 6G için çalışmalar hızla ilerlemekte ve bu yeni teknolojileri mobil cihazlara adapte edebilmek için süreçler hızla devam etmektedir (Mutlu, 2022), (Demirci, 2021). Dünya çapında telekomünikasyon sektöründeki hızlı gelişmelere adapte olabilmek için mevcut olarak kullanılan kişisel mobil cihazların sık sık değiştirilmesi ihtiyacına sebebiyet vermektedir. Günümüz hayat şartlarının pahalılığı göz önüne alındığında sık sık yeni mobil cihaz satın almak çoğu kişi için mümkün olmamaktadır (Sugianto, 2013).

Günümüzde insanların sıklıkla kullandığı mobil cihazlar göz önüne alındığında birçoğunun henüz 5G altyapısına uyum sağlamaya hazır olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla yolcuların özellikle yurtiçi uçuşlarında farklı teknolojilerdeki kablosuz ağların ortaklaşa çalışabilmesinin yanı sıra hizmet kalitesi yüksek ve düşük maliyetli bağlantı ihtiyacını karşılayabilmek, daha az maliyetle hizmet vermek ve ses, veri, video gibi farklı trafik kapasitelerine sahip hizmetlerin, hizmet kalitesinin maksimumda tutularak kablosuz haberleşme aracılığı ile iletilmesi büyük kolaylıklar getirecektir (Ateş, 2017).

Hem mobil ağları kullanabilmek hem de istendiğinde Wi-Fi kablosuz haberleşme sisteminden faydalanabilmek adına bant genişliği büyük, verimi yüksek, tek bir mikroşerit anten kullanmak mobil cihaz üreticileri için maliyeti de düşüreceğinden cihaz satış fiyatları da düşecektir (Tiwari, 2020). Kolaylıkla erişilebilen cihazlar insanlar için cezbedici ve satın alımı sıklıkla yapılabilir hale gelecektir. Bu nedenle bu tarz etkin bir mikroşerit anten tasarımı hedeflenmektedir (Döne, 2011).

Tablo 1. 2.4 GHz (802.11b/g/n/ax) WLAN Frekans Kanal Listesi, Frekans Aralıkları ve Bu Kanalları Kullanan Ülkeler Listesi

Kanal	Merkez Frekansı (MHz)	Frekans Aralığı (MHz)	Çoğu Dünya Ülkesi	Kuzey Amerika	Japonya
9	2452	2441-2463	EVET	EVET	EVET
10	2457	2446-2468	EVET	EVET	EVET
11	2462	2451-2473	EVET	EVET	EVET
12	2467	2456-2478	EVET	HAYIR	EVET
13	2472	2461-2483	EVET	HAYIR	EVET
14	2484	2473-2495	HAYIR	HAYIR	EVET

2.4 GHz frekans bandı kanal listelerinin bir kısmı Tablo 1’de frekans aralıkları ve dünya çapında hangi ülkelerde kullanıldıkları bilgisi ile birlikte verilmiştir. Dünya çapında birçok ülkede 9-14. Kanalların aktif olarak kullanıldığı görülmektedir (Kayabaşı, 2019).

Öte yandan Bilgi Teknolojileri Kurumu (BTK) tarafından yayımlanan GSM/IMT-2000 UMTS Ayrıntılı Band Planı ve Tahsis Bilgileri Tablo 2’de belirtilmiştir. Şu anda 4G – LTE mobil şebeke haberleşmesi için kullanılan 2600 MHz FDD ve TDD bandı baz alınarak; yapılan mikroşerit anten tasarımı bant genişliği 2.453 – 2.703 MHz aralıklarını kapsayacak şekilde toplamda 250MHz bant genişliğine sahip bir tasarım olarak yapıldığından; aynı anten ile hem 2.4 GHz WiFi kanal 9-14 arasında hem de 2.6 GHz 4G-LTE FDD/TDD bantları ile haberleşebilecek bir yapı hedeflenmiştir.

Bunların yanı sıra hedeflenen anten tasarımı özellikle yurtiçi hava yolu ulaşım araçlarında kullanılmak istendiğinden; uçak içerisindeki diğer kablosuz haberleşme yapılarını etkilemeyecek

şekilde tasarlanmalı ve uygulaması yapılmalıdır (Zhang, 2013). Uluslararası havacılık içerisinde hali hazırda kullanılan Aviyonik Haberleşme Bantları Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 2. BTK GSM/IMT-2000 UMTS Ayrıntılı Band Planı ve Tahsis Bilgileri - Türkiye

2600 MHz FDD Bandı (MHz)	2600 MHz TDD Bandı (MHz)
T(UL) – 2500	A (UL/DL) – 2570
V (UL) – 2525	V (UL/DL) – 2585
A (UL) – 2540	T(UL/DL) – 2595
TD – 2550	TD – 2605/2620
2.6 TDD – 2570	
T(DL) - 2620	
V (DL) – 2645	
A(DL) – 2660	
TD – 2670/2690	

T: Turkcell, V: Vodafone, A: Avea, TD: Tahsisli Değil, UL; Uplink, DL: Downlink

Tablo 3. Aviyonik Kablosuz Haberleşme Bantları

Frekans Aralığı	Sistem
190 – 1750 kHz	Automatic Directional Finder
2-30 MHz	High Frequency (HF) Radio
75 MHz	Marker Beacon
108 – 112 MHz	Localizer (LOC)
108 – 118 MHz	VHF Omnidirectional Range (VOR)
118 – 137 MHz	Very High Frequency (VHF) Radio
329 – 335 MHz	Glide Slope
962 – 1213 MHz	Distance Measuring Equipment
1030, 1090 MHz	Traffic Alert and Collision Avoidance (TCAS)
1030, 1090 MHz	Air Traffic Control (ATC)
1530 – 1660 MHz	Satellite Communication (SATCOM)
1575.42 MHz	Global Position Satellite (GPS)
4235 – 4365 MHz	Radio Altimeter
5031 – 5091 MHz	Microwave Landing System (MLS)
5440, 9350 MHz	Weather Radar

YÖNTEM

Mikroşerit Yama Anten Tasarımı

Tasarlanan antenin hem 2.4 GHz WiFi kablosuz haberleşmesi ile hem de 2.6 GHz 4G (LTE) mobil şebeke haberleşmesi ile aynı anda çalışabilmesi adına merkez frekansı 2.57 GHz olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak kullanılacak dielektrik malzeme, bağıl dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4.4$, kayıp tanjantı ise $\tan \delta = 0.02$ olan FR-4 seçilmiş ve dielektrik malzeme kalınlığı bant genişliğini artırabilmek adına 1.6 mm olarak belirlenmiştir. Bundan sonraki aşamalarda anten boyutlarını hesaplayabilmek için; dielektrik malzemenin sabiti, malzeme kalınlığı kullanılarak yapılacaktır. Yama genişliği W ile gösterilmiş olup, Eşitlik 1 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$W = \frac{c_0}{\left(2f_c \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}\right)} \quad (1)$$

İlgili eşitlikte c_0 ışık hızı, f_c ise merkez frekansı göstermektedir. $f_c = 2.5720 \text{ GHz}$ merkez

frekansı için; anten genişliği $W = 36.025 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır. Tasarımda $h = 1.6 \text{ mm}$ olup, FR-4 dielektrik malzeme kalınlığını temsil etmektedir (Bansal, 2008). Bu değerlere göre; $\frac{W}{h} \geq 1$ koşulu sağlandığından, efektif dielektrik sabiti ϵ_{reff} Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

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

$\epsilon_r = 4.4$, $h = 1.6 \text{ mm}$ ve $W = 36.025 \text{ mm}$ değerleri için; $\epsilon_{reff} = 4.0730395712074$ olarak elde edilmiştir.

$$L_{eff} = \frac{c_0}{2f_c \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3)$$

Efektif uzunluk L_{eff} , Eşitlik 3 ile verilen formül ile hesaplandığında ve $c_0 = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, $\epsilon_{reff} = 4.0730395712074$ ve $f_c = 2.5720 \text{ GHz}$ değerleri kullanıldığında; $L_{eff} = 28.897 \text{ mm}$ olarak bulunur.

$$\Delta L = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right) h}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (4)$$

$$L = \frac{c_0}{2f_c \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (5)$$

Mikroşerit anten yama uzunluğu L ve saçak değeri ΔL hesaplanırken, $W = 36.025 \text{ mm}$, $c_0 = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, $\epsilon_{reff} = 4.0730395712074$ ve $f_c = 2.5720 \text{ GHz}$, $L_{eff} = 28.897 \text{ mm}$, $h = 1.6 \text{ mm}$ değerleri ile Eşitlik 4 ve Eşitlik 5 kullanılarak sırasıyla $\Delta L = 0.738 \text{ mm}$ ve $L = 27.8125 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan tüm hesaplamalar sonucunda belirlenen yama boyutları $W = 36.025 \text{ mm}$ ve $L = 27.8125 \text{ mm}$ olmuştur.

Tablo 4. Anten Parametreleri

Parametre	Değer
Dielektrik Malzeme	FR-4
W	36.025 mm
L	27.8125 mm
ϵ_r	4.4
ϵ_{reff}	4.0730395712074
L_{eff}	28.897 mm
f_c	2.5720 GHz
ΔL	0.738 mm
c_0	$3 \times 10^8 \text{ m/s}$

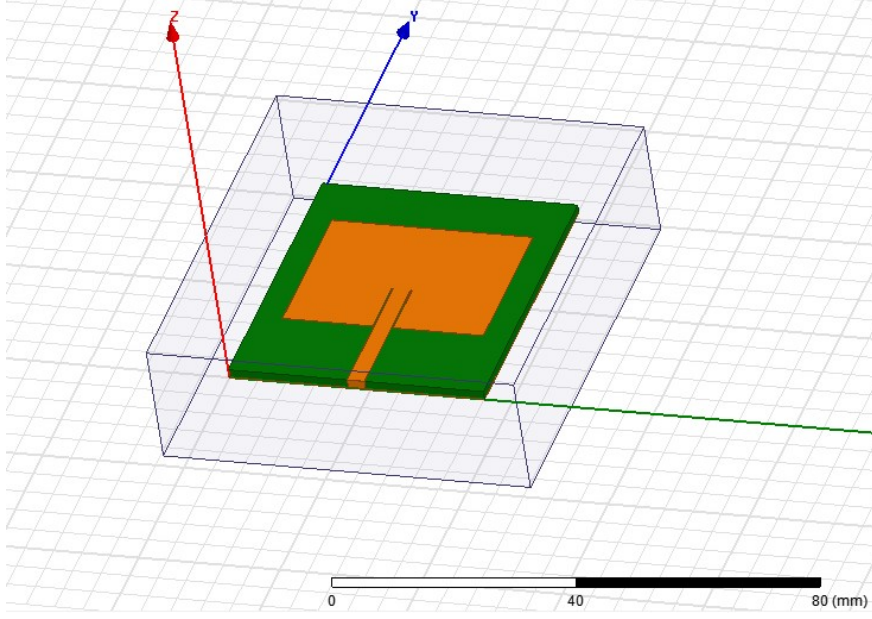
Tasarlanan anten parametre değerleri Tablo 4'te özetlenmiştir.

BULGULAR

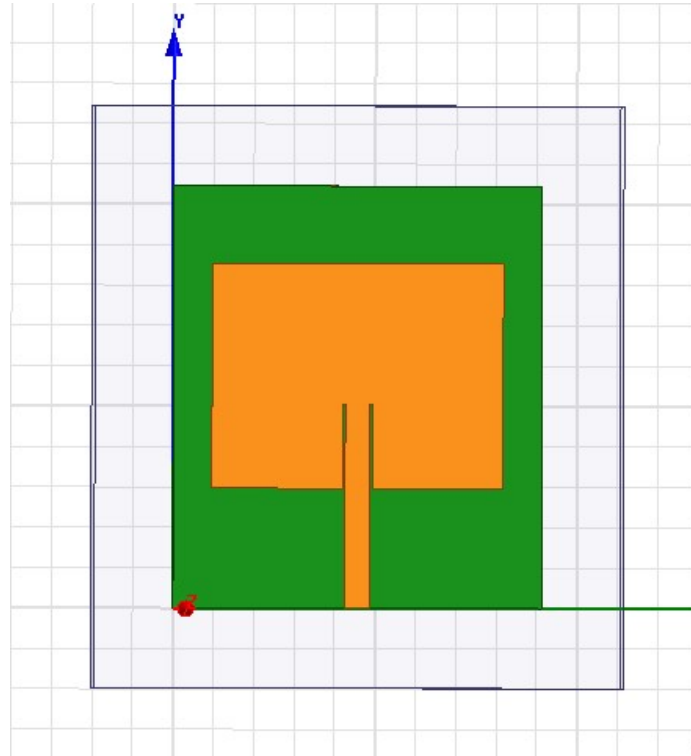
Tablo 4'te belirtilen Anten Parametreleri'ne göre mikroşerit beslemeli yama anten tasarımı HFSS simülasyon programı ile yapılmıştır. Tasarım yapılırken anten feed kolu sağ ve soluna yarıklar açılarak anten kazancı artırılmış, geri dönüş kaybı S_{11} değeri iyileştirilmiş ve merkez frekansı ayarlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan mikroşerit yama antenin görüntüleri Şekil 1 ve Şekil 2'de belirtilmiştir.

Tasarlanan antenin HFSS ile yapılmış simülasyonları incelendiğinde; S_{11} grafiğininde merkez

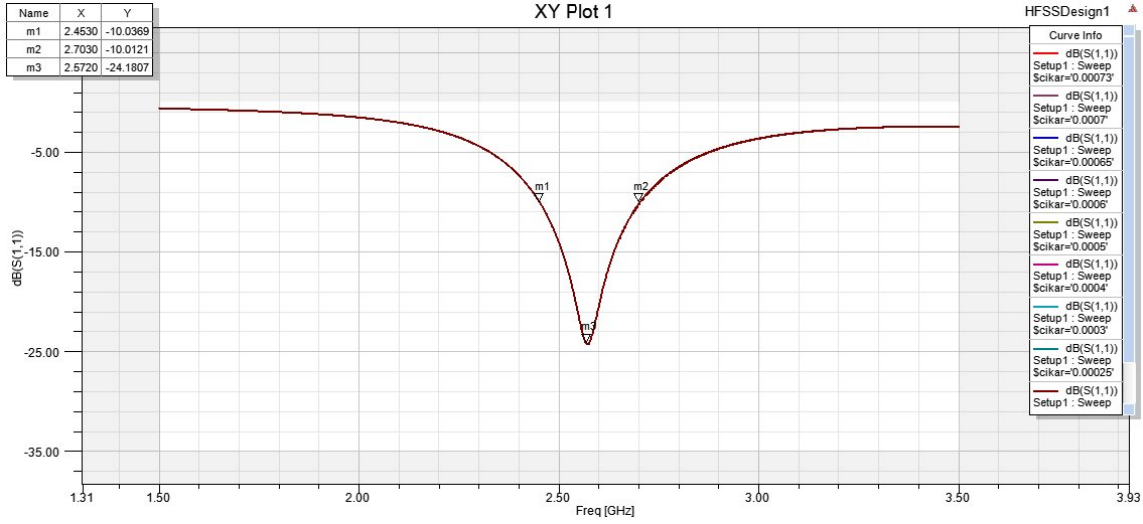
frekansının 2.5720 GHz ve geri dönüş kaybı S_{11} değerinin -24.1807 dBm olduğu görülmüştür. İlgili grafik Şekil 3'te gösterilmiştir. Öte yandan; -10 dBm referans değerinin altında kalan alana baktığımızda 250 MHz bant genişliğine sahip bir anten tasarlandığı görülmüştür.



Şekil 1. Tasarlanan Mikroşerit Anten Genel Görünümü

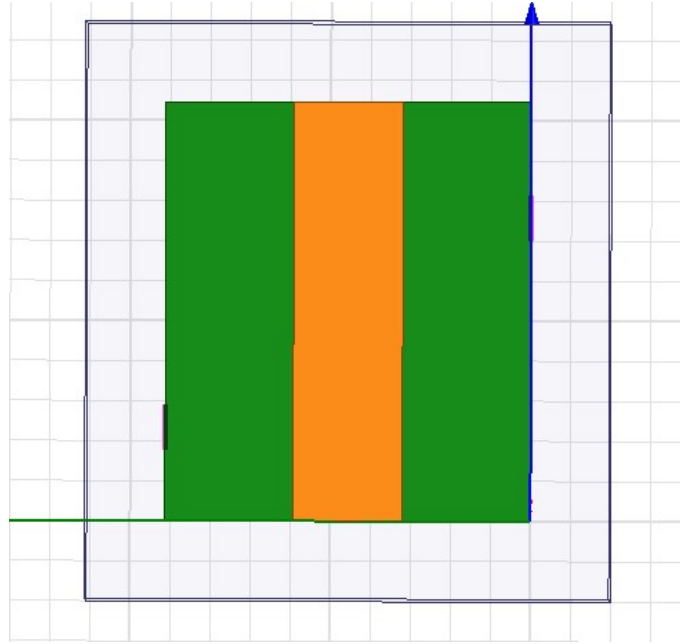


Şekil 2. Tasarlanan Mikroşerit Anten Üstten Görünümü



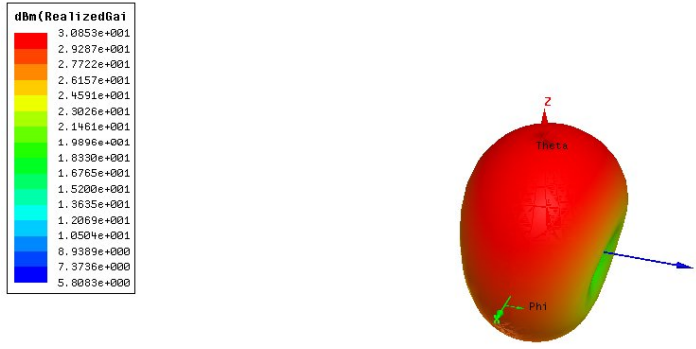
Şekil 3. Mikroşerit Yama Anten S_{11} Parametre Grafiği

Hem WiFi WLAN haberleşmesi hem de 4G (LTE) şebeke haberleşmesinin aynı anda yapılması hedeflendiğinden anten tasarımında bant genişliğini artırıcı bazı durumlar gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilki dielektrik malzeme kalınlığı 1.6 mm olarak yüksek bir değer seçilmiştir. Ancak sadece bu malzeme seçimi yeterli olmayacağından anten tasarımı toprak katında şekil değişikliklerine de gidilmiştir. Bu şekil değişiklikleri sayesinde anten bant genişliği (BW) 250 MHz seviyesine kadar çıkarılmıştır. Anten toprak katının tasarım görüntüsü Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Mikroşerit Yama Anten Toprak Katı Tasarım Görünümü

Öte yandan; tasarlanan mikroşerit antenin Şekil 5'deki kazanç grafiği incelendiğinde hem ışıma şekli görüntüsü görülmekte ve kazancının 3.085 dBm olduğu HFSS programı ile simüle edilmiştir.



Şekil 5. Mikroşerit Yama Anten Kazanç Grafiği

SONUÇ

Yapılan tasarım ve HFSS programı ile yapılan simülasyonlar neticesinde -24.1807 dBm S_{11} değeri ve 250 MHz bant genişliğine sahip mikroşerit yama anten 2.5720 GHz merkez frekansında ve bant genişliği 2.453 – 2.703 MHz aralıklarını kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu anten 3.085 dBm kazanç ile uçak içerisinde seyahat esnasında yolcuların hem 4G – LTE mobil şebeke haberleşmesi için kullanılan 2600 MHz FDD ve TDD bandı hem de 2.4 GHz WiFi kanal 9-14 arasında haberleşme sağlayabileceği gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Ateş, Y. & Ürgün, S. (2017). Kablosuz Uçak İçi Eğlence Sistemi Uygulaması Ve Gömülü Sistemlere Göre. In Journal of Aviation (Vol. 1, Issue 2).
- Bansal, R. (2008). Antenna theory; analysis and design. In Proceedings of the IEEE (Vol. 72, Issue 7). <https://doi.org/10.1109/proc.1984.12959>
- Demirci, M., & Ermiş, S. (2021). 5G Teknolojisi için Çift Bantlı (28/38 GHz) Dikdörtgen Mikroşerit Anten Tasarımı. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 14(2), 171-181.
- Döne, E. & Kaya, A. (2011). 2.4 GHz ISM Bandı Kablosuz Haberleşme Sistemleri Rf Ön Uç Modülleri için Aktif Kutuplama ile Güçlendirilmiş Güç Yükseltici Tasarımı . *Teknik Bilimler Dergisi* , 1 (2) , 18-21 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/tbed/issue/20927/225013>
- Dundar, O. , Koyuncu, B. & Ozcelik, H. (2021). Microstrip Patch Antenna System Design for In Cabin Wireless Communications and Internet Services . *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics* , 14 , 8-14 . DOI: 10.55549/epstem.1050149
- Kayabasi, Ahmet & Tekbas, Mustafa & Güngörer, Büşra. (2019). WLAN Uygulamaları için Besleme Metotları Farklı Dairesel Mikroşerit Anten Benzetimi ve Üretimi. 1. 117-124.
- Mutlu, M., & Kurnaz, Ç. (2022). 5G Uygulamaları için Eliptik Mikroşerit Anten Tasarımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(5), 52-64.
- Sugianto, D., & Hariyadi, T. (2013). Design of microstrip antenna for LTE (Long Term Evolution) 700 MHz applications. 2013 International Conference of Information and Communication Technology (ICoICT), 328-331.

- Tiwari, R. N., Singh, P., Kanaujia, B. K., Kumar, S., Gupta, S. K. (2020). A low profile dual band MIMO antenna for LTE/Bluetooth/Wi-Fi/WLAN applications. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 34(9), 1239–1253. <https://doi.org/10.1080/09205071.2020.1716859>
- Zhang, C., Yu, J., & Pang, K. (2013). Multiple access points deployment optimization in cabin wireless communications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 12, 1220-1223. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2013.2282156>