

5G uygulamaları için bant-dışı baskılamalı bütünleşik M-YTED filtre-yama anten tasarımı ve üretimi

Design and production of integrated compact M-SIW filter-patch antenna with out-of-band suppression for 5G applications

Kemal GÜVENLİ¹, Sibel YENİKAYA², Mustafa SEÇMEN³, Berkay EMİN¹

¹Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Osmaniye Ömer Derindere MYO, Hitit Üniversitesi, Çorum, Türkiye.

kemalguvenli@hitit.edu.tr, berkayemin@hitit.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye.

sguler@uludag.edu.tr

³Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Yaşar Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

msecmen@yasar.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 11.05.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 27.09.2023

doi: 10.5505/pajes.2023.79438

Kabul Tarihi/Accepted: 25.10.2023

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu makalede, 5G uygulamaları için 5.90 GHz rezonans frekanslı ve bant-dışı baskılamalı bütünleşik M-YTED (Mikroşerit-Yalıtkan Taban Entegreli Dalga Kılavuzu) bant geçiren filtre-yama anten (BMBGF-YA) tasarımı CST (Computer Simulation Technology) Studio Suite programı kullanılarak ortaya konulmuş ve üretimi yapılarak ölçülmüştür. 1.50-12.00 GHz geniş çalışma frekans bölgesindeki bant-dışı frekanslar, BMBGF-YA tasarımında baskılanmıştır. Filtre-antenin yama antene göre simülasyon sonuçlarındaki anten kazancı artışı %0.32 ve bant-ici frekans aralığı artışı %22'dir. Yapılan ölçümde, anten kazancı artışı %0.78 ve bant-ici frekans aralığı artışı %14.4 olarak gerçekleşmiştir.

Anahtar kelimeler: M-YTED, 5G, Dikdörtgen yama anten, Bant geçiren filtre, Bant-Dışı baskılama.

Abstract

In this article, the Integrated M-SIW (Microstrip-Substrate Integrated Waveguide) band-pass filter-patch antenna (IMBPF-PA) design with 5.90 GHz resonant frequency and the out-of-band suppression is presented, produced and measured for 5G applications using the CST (Computer Simulation Technology) Studio Suite program. The out-of-band frequencies in the 1.50-12.00 GHz wide operating frequency region are suppressed in the BMBGF-PA design. The antenna gain increase in the simulation results of the filter-antenna compared to the patch antenna is 0.32% and the in-band frequency range increase is 22%. In the measurement, the antenna gain increase was 0.78% and the in-band frequency range increase was 14.4%.

Keywords: M-SIW, 5G, Rectangular patch antenna, Bandpass filter, Out-of-Band suppression.

1 Giriş

Dünya genelinde mobil abone başına aylık veri kullanımı, 2025 yılı itibarıyla 39.4 GB ve 2030 yılı itibarıyla 257.1 GB olması öngörülmektedir [1]. 1 km²'deki 1 milyon aboneye 10 Gbps bağlantı hızının sunulabildiği 5G'nin (Fifth Generation) kullanım oranı 2023 itibarıyla %22.3 iken, 2028 yılı itibarıyla bu oranın %59.3'e ulaşacağı hesaplanmaktadır [2]. Şaşırtıcı derecede hızla gelişen yapay zeka, sanal gerçeklik, hologram görüşme, vb. teknolojiler nedeniyle 5G'den 100 kat daha hızlı olacak olup mobil aboneye 1 Tbps veri hızı sunması, km²'de 10 milyon adet cihaza hizmet vermesi planlanan 6G'nin 2020'de ticari olarak geliştirilmesine başlanmıştır. 2027'de gündelik hayatımızda yerini alacağı düşünülmektedir [3]. 5G'de 100 MHz olan mobil kullanıcının bant genişliği, bir üst nesil teknolojisine geçişteki beş-kat artış kuralına göre 500 MHz-1 GHz arasında olması planlanmıştır [4].

Türkiye'de mobil kara haberleşmesi (GSM vb.) için 5G frekans bant tahsisinin henüz yapılmadığı, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından yayınlanan Milli Frekans Bandı ve GSM & IMT-2000/UMTS & IMT Ayrıntılı Band Planı ve Tahsis Bilgileri listesi incelendiğinde görülmektedir [5],[6]. Bunun yanında BTK, 5G için test ölçümlerinin 5.89 GHz için başlatıldığını 2019 yılında duyurmuştur [7]. Avrupa Birliği, 5G

için 5.90-6.40 GHz frekans aralığını belirlemiştir. ABD ve Kanada ise 5.90-7.10 GHz frekans aralığını tercih etmiştir [8].

Radar, otomotiv, uçak, füze, uydu, WLAN, uzay vb. uygulamalarda kullanılan düşük profilli antenler, haberleşme alanındaki yeni nesil haberleşme ağı teknolojilerinin önemli bir parçasıdır. Kullanıcılara sıfır gecikme (1 ms'den daha az) vadeden 5G ve 5G'den daha yüksek sayıda cihaza daha yüksek veri transfer hızı sunması için geliştirilmeye devam eden 6G teknolojisinde filtre ve antenlerin öneminin giderek artacağı öngörülmektedir [8],[9].

5-6 GHz frekans aralığında yüksek hızlı (IEEE 802.11a) kablosuz yerel ağlarda (Wireless Local Area Network)(WLAN) bulunmaktadır. Wi-Fi (Wireless-Fidelity) uygulamalarında mikroşerit yama antenler tercih edilmektedir. Düzlemsel olması, bütünleşik olarak entegre edilebilmesi, ucuzluğu, hafif ve küçük hacme sahip olması sebebiyle mikroşerit yama antenlerin 5-6 GHz ve 5G uygulamalarında geniş kullanım alanı bulunmaktadır [10],[11].

Elektromanyetik Uyumluluk (EMU) ve Elektromanyetik Girişim (EMG) gereklilikleri nedeniyle, mikrodalga devreler için tasarlanan herhangi bir antenden istenmeyen bant-dışı frekansların yayılması, sistemin performansını kötü etkilemesi nedeniyle uygun bulunmaz [12]. Literatürde, mikroşerit

*Yazışılan yazar/Corresponding author

antenden yayılacak bant-dışı frekansların baskılanması için antene uygulanan farklı teknikler yer almaktadır. Kullanılan tasarım iyileştirme teknikleri şunlardır:

- Mikroşerit yama anten yüzeyinde E tipi, H tipi, I tipi, L tipi, U tipi ve T tipi çentik ve/veya slot açma (Rectangular notch/etching slot) [13]-[17],
- Mikroşerit yama antenin yüzeyinde yarık halka rezonatör (Complementary Split Ring Resonator) (CSRR)/Koch fraktal ekleme [18]-[21],
- Mikroşerit yama anten yüzeyinden iletken kısma açık uçlu ve/veya kısa devreli saplama ekleme [22]-[25],
- Mikroşerit yama antende zemin kusurlu yapılar (Defected Ground Structure)(DGS) oluşturma [26]-[29],
- Bu çalışmada da kullanılan, mikroşerit yama anten ile düzlemsel filtreyi hibrit bütünleşik filtre-anten şeklinde tasarlama [30]-[32].

Bütünleşik hibrit filtre-anten tekniği sayesinde tasarımda kompaktlık sağlanmakta ve yapıda ilave bir araya girme kaybının oluşması engellenmektedir. Aynı zamanda modüler ve geliştirilebilir bir yapı olması nedeniyle bu teknik tercih edilmiştir.

5.90 GHz rezonans frekansına (TM₁₀) sahip dikdörtgen mikroşerit yama antenin kazancı 6.29 dBi, yönlülüğü 7.01 dBi, geri dönüş kaybı (Return Loss)(RL) 10.51 dB ve -10 dB noktasındaki bant genişliği (Bandwidth)(BW_{10dB}) ise 70 MHz'dir. 1.50-12.00 GHz geniş çalışma frekansı bölgesindeki bant-dışı frekanslar tümleşik M-YTED bant geçiren filtre ile baskılanmıştır. Yeni M-YTED filtre-yama antenin kazancı 6.31dBi, yönlülüğü 7.10 dBi, geri dönüş kaybı (RL) 16.17 dB ve -10.00 dB noktasındaki bant genişliği (BW_{10dB}) ise 140 MHz'dir.

Bütünleşik hibrit filtre-anten yapısı CST Studio Suite EM simülasyon programında modellenmiştir. Tasarımda Rogers 4003C (Yükseklik (*h*) 1.52 mm, dielektrik katsayı (ϵ_r) 3.55 ve kayıp tanjant ($\tan\delta$) 0.0027) dielektrik malzeme kullanılmıştır.

Yama anten ve filtre-anten tasarımında aşağıdaki tasarım geliştirme basamakları sırasıyla dikkate alınmıştır [33]:

- Rezonans frekansı, çalışma frekans aralığı ve bant genişliğinin belirlenmesi,
- Tasarımda kullanılacak dielektrik malzemenin belirlenmesi,
- Dikdörtgen mikroşerit yama antenin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi,
- Filtre-anten tasarımında istenmeyen harmonik/üst modların (bant-dışı frekanslar) baskılanması için filtrenin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve modelde antene düzlemsel olarak eklenmesi.

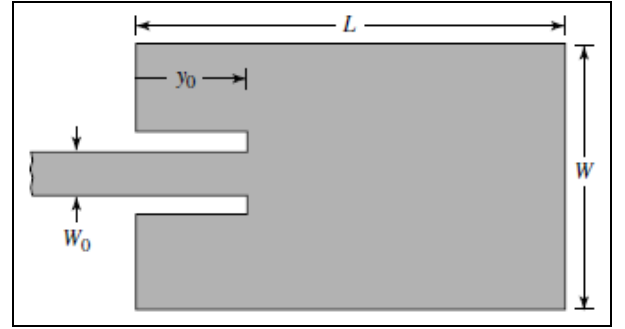
2 Bant-dışı baskılamalı bütünleşik hibrit filtre-anten tasarımı

Genel olarak bir anten için elektromanyetik uyumluluk; içinde yer aldığı elektromanyetik alanlarda diğer sistemleri etkileyecek seviyede elektromanyetik gürültü oluşturmaması ve diğer sistemlerin elektromanyetik girişiminden etkilenmeden yayılım (propagasyon) yapabilesidir [12].

Yüksek veri aktarım hızı için 5G uygulamalarında kullanılması düşünülerek tasarlanan 5.90 GHz rezonans frekansa sahip antenin geniş çalışma frekans aralığında (1.50-12.00 GHz) ortaya çıkan bant-dışı frekansların antenden yayılmasının

engellenmesi ve harici sistemlerden antenin bağlı olduğu sisteme elektromanyetik girişimin olmaması için EMU/EMG gereklilikleri sağlanmalıdır. Bu nedenle ileriye dönük olarak istenen frekans aralığı için geliştirilebilir, genişletilebilir esneklikte olan 5.80 GHz merkez frekansına sahip bant geçiren M-YTED filtre 5.90 GHz rezonans frekanslı dikdörtgen mikroşerit yama antene bütünleşik olarak uygulanması, bir iyileştirme tekniği olarak seçilmiştir. Belirtilen geniş çalışma frekans aralığında tasarlanan bütünleşik filtre-anten elektromanyetik kirlilik oluşturmamış ve 5G uygulamaları için EMU/EMG standartlarını sağlamış olacaktır.

Şekil 1'de dikdörtgen mikroşerit yama anten geometrisi ve parametrik büyüklükler yer almaktadır. Anten tasarım ifadeleri ise (1)-(6) olarak verilmiştir [9].



Şekil 1. Bir dikdörtgen mikroşerit yama anten.

Figure 1. A rectangular microstrip patch antenna [9].

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-0.5}, \quad \frac{W}{h} > 1 \quad (1)$$

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right), & \frac{W_0}{h} \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left[\frac{W_0}{h} + 1.4 + 0.7 \ln \left(\frac{W_0}{h} + 1.4 \right) \right]}, & \frac{W_0}{h} > 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3)$$

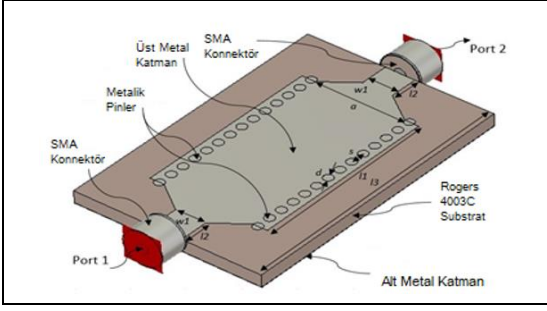
$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (4)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (5)$$

$$D_2 = \begin{cases} 6.6 \text{ (boyutsuz)} = 8.2 \text{ dB} & W \ll \lambda_0 \\ 8 \left(\frac{W}{\lambda_0} \right) & W \gg \lambda_0 \end{cases} \quad (6)$$

Burada, ϵ_r dielektrik sabitini; ϵ_{eff} etkin dielektrik sabitini; μ_0 boş uzayın manyetik geçirgenliğini; ϵ_0 boş uzayın elektrik geçirgenliğini; h dielektrik malzemenin yüksekliğini; f_r mikroşerit yama antenin rezonans frekansını; W_0 antenin mikroşerit besleme hattının genişliğini; W antenin genişliğini; L antenin uzunluğunu; Z_c karakteristik empedansını; λ_0 dalga boyunu ve D_2 antenin yönlülüğünü göstermektedir.

Şekil 2'de M-YTED yüksek geçiren filtre geometrisi yer almaktadır. Filtre tasarım ifadeleri ise (7)-(12) olarak verilmiştir [34],[35].



Şekil 2. M-YTED yüksek geçiren filtre.
Figure 2. M-SIW band pass filter [35].

$$f_{c_{mn}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a_{eff}}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (7)$$

$$a_{eff} = a - 1.08 \frac{d^2}{s} + 0.1 \frac{d^2}{a} \quad (8)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2} \quad (9)$$

$$\beta = \sqrt{(\omega^2 \mu \epsilon) - \left(\frac{\pi}{a_{eff}}\right)^2} \quad (10)$$

$$Z_{TE} = \frac{\omega \mu}{\beta} = \frac{\omega \mu \lambda_g}{2\pi} = \frac{\eta}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2}} \quad (11)$$

$$\lambda_g = \frac{2\pi}{\sqrt{\left(\frac{2\pi f}{c}\right)^2 \epsilon_r - \left(\frac{\pi}{a_{eff}}\right)^2}} \quad (12)$$

Burada, m, n TE mod numaralarını, a iletken çubuk dizisi arasındaki mesafeyi, d iletken çubuğun çapını, s komşu iki iletken çubuk merkezi arasındaki mesafeyi, a_{eff} etkin a değerini, b kullanılan dielektrik malzemenin yüksekliğini, f_c M-YTED filtrenin kesim frekansını, ω açısal frekansını, ω_0 merkezi açısal frekansını, ω_1 açısal alt kesim frekansını, ω_2 açısal üst kesim frekansını, β faz sabitini, λ_g kılavuz dalga boyunu, Z_{TE} karakteristik empedansı göstermektedir.

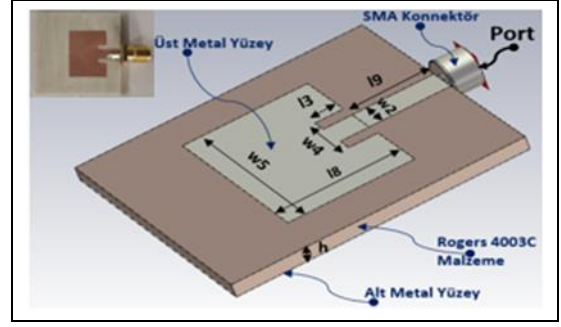
2.1 5.90 GHz mikroşerit yama anten tasarımı

1.50-12.00 GHz çalışma frekans aralığında 5G uygulamaları için CST Studio Suite simülasyon programında tasarlanan 5.90 GHz rezonans frekanslı, 5.87 GHz alt kesim frekanslı, 5.94 GHz üst kesim frekanslı, 70 MHz bant genişliğine sahip dikdörtgen mikroşerit yama antenin geometrisi, simülasyon ve ölçüm sonucu (S_{11}) Şekil 3'te verilmiştir. Antenin simülasyon ile ölçüm sonuçlarının uyum içinde olduğu görülmektedir. Boyutu $17.98 \times 16.77 \times 1.52$ (mm³) olan mikroşerit yama antenin parametreleri ve değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.

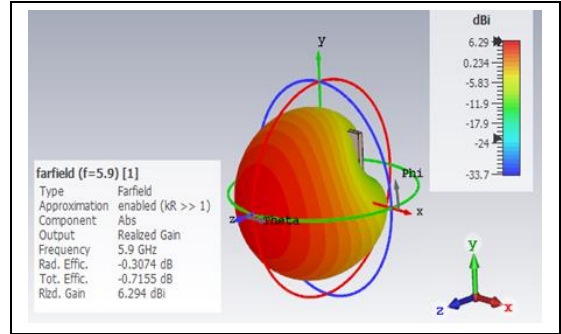
Tablo 1. 5.90 GHz rezonans frekanslı dikdörtgen mikroşerit yama antenin parametreleri ve değerleri

Table 1. Parameters and values of a 5.90 GHz resonant frequency rectangular microstrip patch antenna.

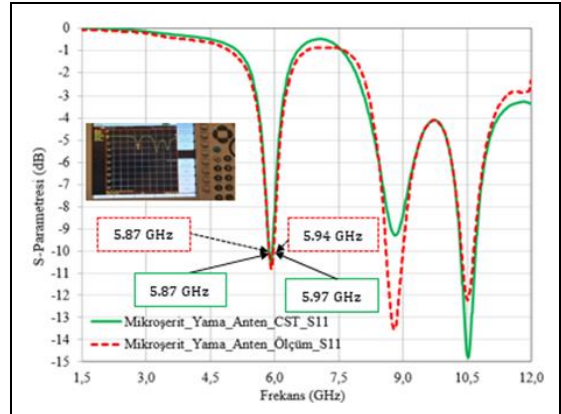
| Parametre | Değer(mm) | Parametre | Değer (mm) |
|-----------|-----------|-----------|------------|
| h | 1.52 | l_3 | 3.00 |
| w_2 | 3.20 | l_8 | 12.98 |
| w_4 | 6.40 | l_9 | 5.00 |
| w_5 | 16.77 | | |



(a): Geometrisi ve parametreleri.
(a): Its geometry and parameters.



(b): CST Kazanç (ışınım) diyagramı.
(b): Gain (radiation) diagram.



(c): 1.50-12.00 GHz frekans aralığı CST simülasyon ve ölçüm sonucu (S_{11}).

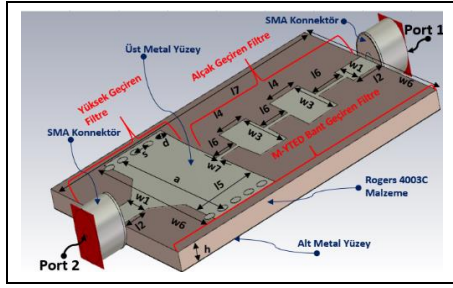
(c): CST simulation and measurement result in the frequency range of 1.50-12.00 GHz (S_{11}).

Şekil 3. 5G için tasarlanan 5.90 GHz rezonans frekanslı dikdörtgen mikroşerit yama anten.

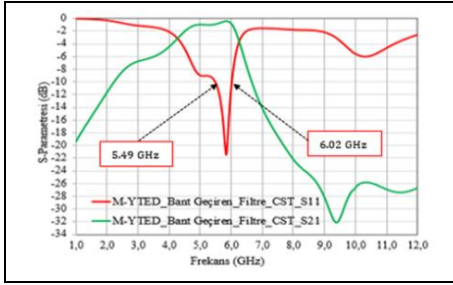
Figure 3. A rectangular microstrip patch antenna with a resonance frequency of 5.90 GHz designed for 5G.

2.2 5.80 GHz M-YTED bant geçiren filtre tasarımı

1.50-12.00 GHz çalışma frekans aralığında 5G uygulamalarında kullanılacak olan mikroşerit yama antenin bant-dışı baskılaması için geliştirilen, 5.80 GHz merkez frekanslı, 5.49 GHz alt kesim frekanslı, 6.02 GHz üst kesim frekanslı ve 0.53 GHz bant genişliğine sahip M-YTED bant geçiren filtrenin geometrisi ile CST simülasyon sonucu (S_{11}) (S_{21}) Şekil 4'te; parametreleri ve değerleri ise Tablo 2'de verilmiştir.



(a) Geometrisi ve parametreleri.
(b): Geometry and parameters.



(b): CST simülasyon sonucu (S_{11}), (S_{21}).
(b): CST simulation result (S_{11}), (S_{21}).

Şekil 4. 1.00-12.00 GHz frekans aralığında 5.80 GHz merkez frekanslı M-YTED bant geçiren filtre.

Figure 4. 5.80 GHz center frequency M-SIW band pass filter in the 1.00-12.00 GHz frequency range.

Tablo 2. 5.80 GHz merkez frekanslı M-YTED bant geçiren filtrenin parametreleri ve değerleri.

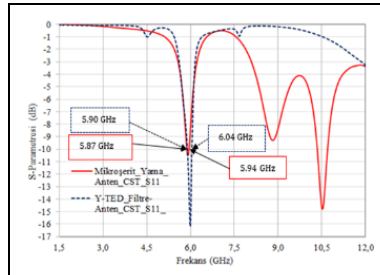
Table 2. Parameters and values of the M-SIW band pass filter with 5.80 GHz center frequency

| Parametre | Değer(mm) | Parametre | Değer(mm) |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| a | 20.00 | w_6 | 22.00 |
| d | 1.00 | w_7 | 0.81 |
| h | 1.52 | l_2 | 3.00 |
| s | 1.50 | l_4 | 2.88 |
| w_1 | 3.20 | l_5 | 6.75 |
| w_3 | 8.08 | l_7 | 30.00 |

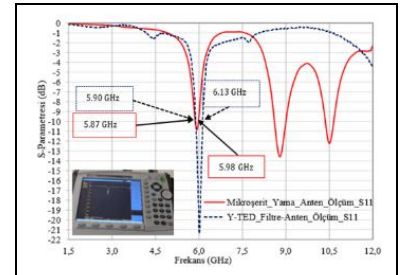
Bant geçiren filtre için, [35]'teki çalışmanın modüler tasarımı benimsenmiştir, Bu modülerlik, farklı frekanslar için filtreye



(a)



(b)



(c)

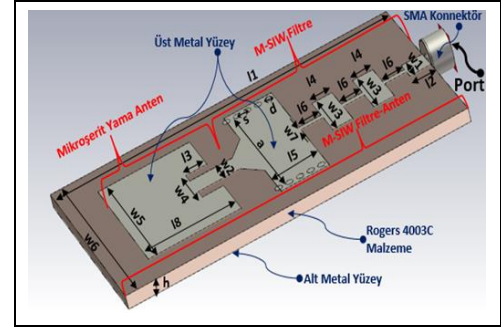
Şekil 6. Bant-dışı baskılamalı bütünleşik hibrit M-YTED filtre-yama anten (BHM-F-Y anten). (a): Ölçüm. (b): Dikdörtgen mikroşerit yama anten ile filtre-antenin CST simülasyon sonucu (S_{11}). (c): Dikdörtgen mikroşerit yama anten ile filtre-antenin ölçüm sonucu (S_{11}).

Figure 6. Integrated hybrid M-SIW filter-patch antenna with the out-of-band suppression (IHM-F-P antenna). (a): Measurement. (b): The CST simulation result (S_{11}) of the rectangular microstrip patch antenna and filter antenna. (c): The measurement result (S_{11}) of the rectangular microstrip patch antenna and filter.

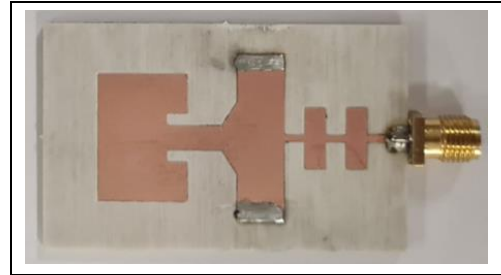
esneklik sağlamaktadır. Geliştirilebilir ve genişletilebilir model olması avantajıdır. Bu çalışmada ise YTED yüksek geçiren filtre, filtre-anten tasarımının boyutunu düşürmek için küçültülmüştür.

2.3 5.90 GHz filtre-anten tasarımı

1.50-12.00 GHz çalışma frekans aralığında 5G uygulamaları için CST Studio Suite simülasyon programında tasarlanan 5.90 GHz rezonans frekanslı M-YTED filtre-yama antenin geometrisi ve üretim fotoğrafı Şekil 5'te; ölçüm düzeneği, simülasyon ile ölçüm sonucu (S_{11}) Şekil 6'da; CST kazanç diyagramı, kazanç ölçümü ve kazanç sonuçları Şekil 7'de; parametreleri ve değerleri ise Tablo 3'te verilmiştir.



(a): Geometri ve parametreler.
(a): Geometry and parameters.

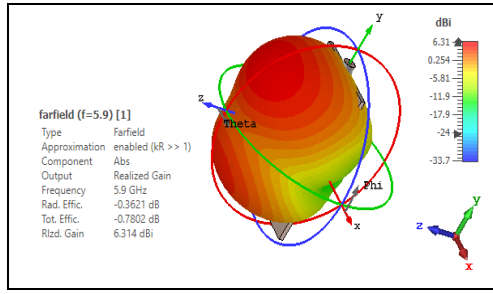


(b): Üretilmiş Y-TED filtre-yama anten.

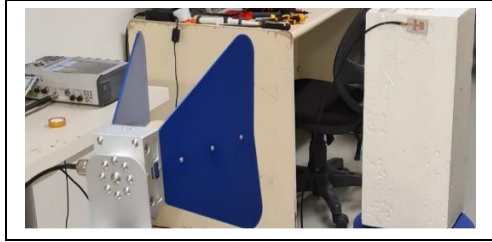
(b): The fabricated M-SIW filter-patch antenna.

Şekil 5. Bant-dışı baskılamalı bütünleşik hibrit M-YTED filtre-yama anten (BHM-F-Y anten).

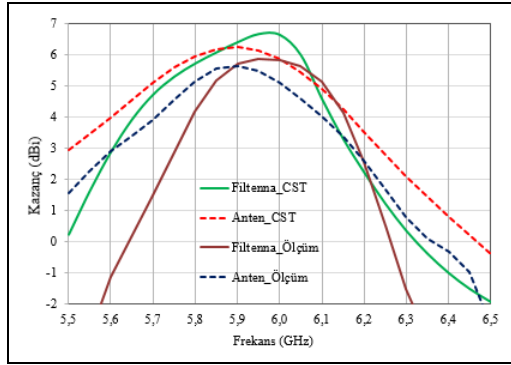
Figure 5. Integrated hybrid M-SIW filter-patch antenna with the out-of-band suppression (IHM-F-P antenna).



(a)



(b)



(c)

Şekil 7. Bant-dışı baskılamalı bütünleşik hibrit M-YTED filtre-yama anten (BHM-F-Y anten). (a): CST kazanç (ışınma) diyagramı. (b): Referans anten ile kazanç ölçümü. (c): 5.5-6.5 GHz frekans aralığında kazanç karşılaştırması.

Figure 7. Integrated hybrid M-SIW filter-patch antenna with the out-of-band suppression (IHM-F-P antenna). (a): CST gain (radiation) diagram. (b): The gain measurement with the reference antenna. (c): Gain comparison in the 5.5-6.5 GHz frequency range.

Tablo 3. Bant-dışı baskılamalı M-YTED bant geçiren filtre-yama antenin parametreleri ve değerleri.

Table 3. M-SIW band pass filter-patch antenna parameters and values with the out-of-band suppression.

| Parametre | Değer(mm) | Parametre | Değer (mm) |
|-----------|-----------|-----------|------------|
| a | 20.00 | w_7 | 0.81 |
| d | 1.00 | l_1 | 44.98 |
| h | 1.52 | l_2 | 3.00 |
| s | 1.50 | l_3 | 3.00 |
| w_1 | 3.20 | l_4 | 2.88 |
| w_2 | 3.20 | l_5 | 6.75 |
| w_3 | 8.08 | l_6 | 3.12 |
| w_4 | 6.40 | l_7 | 30.00 |
| w_5 | 16.77 | l_8 | 12.98 |
| w_6 | 22.00 | | |

Üretilen antenin geri yansımaya kaybı ve kazanç ölçümleri, Yaşar Üniversitesi'ndeki Anten ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde, aynı laboratuvarında bulunan 2 kapılı Anritsu MS2028C devre ağ analizörü (Vector Network Analyzer) (VNA) kullanılmış olup kısa devre-açık devreyumlu-yük-bağlantı (Short-Open-Load-Thru) (SOLT) kalibrasyonu yapılarak antenlerin geri yansımaya kayıp değerleri, S_{11} parametresi ölçümlerinden elde edilmiştir.

Antenlerin kazanç ölçümleri, kazancı bilinen bir referans antenin kazancı ile karşılaştırma yapılarak kıyaslama yöntemi ile elde edilmiştir. Bu amaçla, kazancı tasarlanmış antenlere yakın olan (ilgili frekans aralığında yaklaşık 5-6 dBi) yatay polarizasyonlu Aaronia Hyperlog 60180 geniş bant log periyodik anteni, referans anten olarak kullanılmıştır. Antenlerin kazanç ölçümleri, Yaşar Üniversitesi'ndeki Anten ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda yansısız oda bulunmadığı için yansısız olmayan bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerde, Şekil 7(b)'de gösterilen Aaronia Powerlog 70180 geniş bantlı boynuz antenin pozisyonu sabit olarak tutulmuş olup karşısına sırasıyla üretilen antenler Şekil 5(b)'de filtre-anten için gösterildiği üzere) ve referans anten yerleştirilmiştir. Her durumlara ait dB cinsinden S_{21} değerleri ölçülmüş ve bu ölçüm değerleri ile referans antenin kazanç değerleri kullanılarak dBi cinsinden üretilen antenlerin kazanç değerleri hesaplanmıştır. Aaronia Powerlog 70180 geniş bantlı boynuz anten, hem yatay polarizeli log periyodik anten ile polarizasyon uyumu sağlaması bakımından hem de yanlardan gelebilecek yansımaları azaltacak şekilde E-düzlemdeki kazancının daha fazla (yaklaşık 13 dBi) ve huzmesinin daha dar olması sebebiyle yatay polarizasyona sahip olacak şekilde döndürülmüştür [36].

Boynuz ve log periyodik antenlerin 20 cm civarındaki boyutları ve 6 GHz düşünülürken uzak alan mesafesini sağlamak amacıyla her iki durum için de antenler arası mesafe, 2 m olacak şekilde yerleşim yapılmıştır. Yansımaları azaltmak amacıyla antenlerin yerden ve yan duvarlardan uzaklığı, en az 1.2 m olarak ayarlanmıştır. Boynuz ve log periyodik antenlerin ilgili frekans bölgesi için veri sayfalarında verilen kazanç değerleri ve ışıma örüntüleri/huzmeleri, antenler arası mesafe ile yerden ve yan duvarlardan olan uzaklık değerleri alınarak ölçülen kazanç değerleri için yaklaşık ± 1 dB'lik bir hata payı olacağı hesaplanmıştır. Bu anlamda, kurulan düzenepteki anten kazanç değerleri, ± 1 dB'lik hata payı içeren bir güvenilirliğe sahip olarak ölçülmüştür. Bu çıkarım, Şekil 7(c)'de verilen simülasyon ile ölçüm tepe kazanç değerleri arasındaki yaklaşık 1 dB'lik fark ile de uyum göstermektedir [37]. Literatürde yer alan örnek bant-dışı baskılamalı mikroşerit anten çalışmaları ile bu çalışmanın sonuçları Tablo 4'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Karşılaştırma çalışma bölgesi frekans aralığı, geri dönüş kaybı, boyut/hacim ve anten kazancı üzerine yapılmıştır.

3 Sonuçlar

Bu çalışmada, bir entegre anten-filtre tasarım modeli 5,90 GHz rezonans frekanslı mikroşerit yama antenin çalışma frekans bölgesindeki (1.50-12.00 GHz) bant dışı frekansları bastırmak için ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

CST simülasyon sonuçlarına göre 5.90 GHz rezonans frekanslı (TM₁₀) dikdörtgen mikroşerit yama antenin -10 dB noktasındaki alt kesim frekansı 5.87 GHz, üst kesim frekansı 5.94 GHz, kazancı 6.29 dBi, yönlülüğü 7.01 dBi, geri dönüş kaybı (RL) -10.51 dB ve -10 dB noktasındaki bant genişliği (BW_{10dB}) ise 70 MHz'dir.

Tablo 4. Bant-dışı baskılamalı M-YTED bant geçiren filtre-yama antenin parametreleri ve değerleri.
Table 4. M-SIW band pass filter-patch antenna parameters and values with the out-of-band suppression.

| Ref. No | Rez. Fr. /Fr. Böl. (GHz) | S ₁₁ (dB) | Hacim (mm ³) | Kazanç (dBi) | Metot |
|-------------|--------------------------|----------------------|--|--------------|----------------|
| [38] | 4.90/ 4-13 | <-10 | 41.5×27×1.6 (1758.3 mm ³) | 7.30 | Saplama Ekleme |
| [39] | 3.55/ 0-15 | <-15 | 81×32×0.4 (1036.8 mm ³) | - | DGS Ekleme |
| [40] | 3.0/ 2-10 | <-10 | 90×60×1.5 (8100 mm ³) | - | CSSR |
| [41] | 2.45/ 1-7.5 | <-10 | 45.5×28×1.6 (2036.2 mm ³) | - | DGS Ekleme |
| [42] | 2.00/ 1.8-2.3 | -27.4 | 75×70×0.8 (4200 mm ³) | 3.70 | CSSR |
| [43] | 0.95/ 0.8-4.2 | <-10 | 60×44×1.6 (4224 mm ³) | - | Filtre Ekleme |
| *Bu Çalışma | 5.90/ 1.5-12 | -16.17 | 45×22×1.5 (1485 mm ³) | 6.31 | Filtre Ekleme |

Karşılaştırmalı sonuçlara göre, en geniş çalışma bölgeleri bu çalışma ve [39]'da; en düşük hacimler bu çalışma ve [39]'da; en düşük geri dönüş kayıpları bu çalışma ve [42]'de; en yüksek kazançları bu çalışma ve [38]'de görülmektedir.

Bütünleşik M-YTED filtre-yama antenin ise -10 dB noktasındaki alt kesim frekansı 5.90 GHz, üst kesim frekansı 6.04 GHz, kazancı 6.31 dBi, yönlülüğü 7.10 dBi, geri dönüş kaybı (RL) -16.17 dB ve -10 dB noktasındaki bant genişliği (BW_{10dB}) ise 140 MHz'dir. CST simülasyon sonuçlarında görüldüğü gibi geniş çalışma frekansı bölgesindeki (1.50-12.00 GHz) bant-dışı frekanslar baskılanmıştır.

Ölçüm sonuçları, rezonans frekansı (TM₁₀) 5.90 GHz olan dikdörtgen mikroserit antenin alt kesim frekansının 5.87 GHz, üst kesim frekansının 5.98 GHz, geri dönüş kaybının (RL) -10,82 dB, anten kazancı 5.664 dBi ve -10 dB noktasındaki bant genişliğinin (BW_{10dB}) ise 110 MHz olduğunu göstermektedir. Bunun yanında bütünleşik M-YTED filtre-yama antenin alt kesim frekansının 5.90 GHz, üst kesim frekansının 6.13 GHz, geri dönüş kaybının (RL) -21.36 dB, anten kazancı 5.708 dBi ve -10 dB noktasındaki bant genişliğinin ise 230 MHz olduğunu da göstermektedir.

CST simülasyon sonuçlarında görüldüğü gibi geniş çalışma frekansı bölgesindeki (1.50-12.00 GHz) bant-dışı frekanslar baskılanmıştır. Filtre-anten tasarımı geleneksel mikroserit anten tasarımına göre anten kazancında %0.32, yönlülükte %1.28, geri dönüş kaybında %53.85 ve -10 dB noktasındaki bant genişliğinde %100 bir artış sağlamıştır. Ölçüm sonuçlarında da bant-dışı frekanslar baskılanmaktadır (1.50-12.00 GHz). Filtre-anten tasarımı, geleneksel mikroserit anten tasarımına göre anten kazancında %0.78, geri dönüş kaybında %97.41 ve -10 dB noktasındaki bant genişliğinde %109.09 bir artış sağladığı ölçülmüştür.

5.80-6.10 GHz frekans bölgesindeki anten kazancı 6 dBi'den yüksek olan CST simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde, mikroserit yama antenin bant-ıçi frekans aralığı 5.80 GHz-5.98 GHz ve filtre-antenin bant-ıçi frekans aralığı 5.84 GHz-6.06 GHz olduğu görülür. Filtre-antenin bant-ıçi frekans aralığı artışı %22'dir. Bant-dışında daha az kazanca (daha iyi bastırma) sahiptir.

Yaşar Üniversitesi Anten ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda yapılan ölçümlerde bazı istenmeyen kayıplar (gürültü vb.) nedeniyle 5 dBi kazanç, eşik değeri olarak baz alınmıştır. Kazancı 5 dBi'den yüksek olan 5.75-6.15 GHz frekans

bölgesindeki ölçüm kazanç sonuçları incelendiğinde mikroserit yama antenin bant-ıçi frekans aralığı 5.78 GHz-6.01 GHz ve filtre-antenin bant-ıçi frekans aralığı 5.84 GHz-6.11 GHz'dir. Filtre-antenin bant-ıçi frekans aralığı artışı %14.4'dir. Bant-dışında da daha az kazanca (daha iyi bastırma) sahiptir.

4 Conclusions

In this study, an integrated antenna-filter design model is presented in detail to suppress out-of-band frequencies in the operating frequency region (1.50-12.00 GHz) of a 5.90 GHz resonant frequency microstrip patch antenna.

According to CST simulation results, the lower cut-off frequency at the -10 dB of the 5.90 GHz resonant frequency (TM₁₀) rectangular microstrip antenna is 5.87 GHz, the upper cut-off frequency is 5.94 GHz, the gain is 6.29 dBi, the directivity is 7.01 dBi, the return loss (RL) is -10.51 dB and The bandwidth at the -10 dB point (BW_{10dB}) is 70 MHz. The lower cut-off frequency of the integrated M-SIW filter-patch antenna at the -10 dB point is 5.90 GHz, the upper cut-off frequency is 6.04 GHz, the gain is 6.31 dBi, the directivity is 7.10 dBi, the return loss (RL) is -16.17 dB and the bandwidth at the -10 dB point is (BW_{10dB}) is 140 MHz. As seen in the CST simulation results, out-of-band frequencies in the wide operating frequency region (1.50-12.00 GHz) are suppressed.

Measurement results show that the lower cut-off frequency of the rectangular microstrip antenna, whose resonance frequency (TM₁₀) is 5.90 GHz, is 5.87 GHz, the upper cut-off frequency is 5.98 GHz, the Return Loss (RL) is -10.82 dB, the gain is 5.664 dBi, and the bandwidth at the -10 dB point (BW_{10dB}) is 110 MHz. In addition, it also shows that the lower cut-off frequency of the integrated M-SIW filter patch antenna is 5.90 GHz, the upper cut-off frequency is 6.13 GHz, the Return Loss (RL) is -21.36 dB, the gain is 5.708 dBi, and the bandwidth at the -10 dB point is 230 MHz.

As seen in the CST simulation results, the out-of-band frequencies are suppressed in the wide operating frequency range (1.50-12.00 GHz). The filter-antenna design provided an increase of 0.32% in antenna gain, 1.28% in directivity, 53.85% in return loss and 100% in bandwidth at the -10 dB point

compared to the traditional microstrip antenna design. In the measurement results, out-of-band frequencies are suppressed (1.50-12.00 GHz). It has been measured that the filter-antenna design provides an increase of 0.78% in antenna gain, 97.41% in return loss and 109.09% in bandwidth at the -10 dB point compared to the traditional microstrip antenna design.

When the CST simulation results in the 5.80-6.10 GHz frequency region with antenna gain higher than 6 dBi are evaluated, it is seen that the in-band frequency range of the microstrip patch antenna is 5.80 GHz-5.98 GHz and the in-band frequency range of the filter-antenna is 5.84 GHz-6.06 GHz. The in-band frequency range increase of the filter-antenna is 22%. It has less the out-of-band gain (better suppression).

In the measurements made at Yaşar University Antenna and Microwave Laboratory, 5 dBi gain is taken as the threshold value due to some undesirable losses (noise, etc.). When the measurement gain results in the 5.75-6.15 GHz frequency region with a gain higher than 5 dBi are examined, the in-band frequency range of the microstrip patch antenna is 5.78 GHz-6.01 GHz and the in-band frequency range of the filter-antenna is 5.84 GHz-6.11 GHz. the in-band increase is 14.4%. It also has less gain (better suppression) out-of-band.

5 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Kemal GÜVENLİ, fikrin oluşması, anten, filtre, filtre-anten tasarımının yapılması ve literatür taraması başlıklarında; Kemal GÜVENLİ, Sibel YENİKAYA ve Mustafa SEÇMEN, elde edilen simülasyon ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi ile sonuçların karşılaştırılması başlıklarında; Sibel YENİKAYA ve Mustafa SEÇMEN yazım denetimi ve bilimsel içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında; Mustafa SEÇMEN, mikroşerit anten ve filtre-anten tasarımının üretilmesi ve ölçülmesi başlıklarında; Berkay EMİN, mikroşerit anten tasarımı ve simülasyonu başlığında katkı sunmuştur.

6 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur". "Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

7 Kaynaklar

- [1] ITU-R. "IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030". Geneva, Italy, M. 2370-0, 2015.
- [2] Ericsson. "Ericsson Mobility Visualizer". <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/mobility-visualizer?f=1&ft=2 &r=4,3,5,6,2,7,8,9&t=1,2,3,4,5,6,7&s=1,2,3&u=1&y=2023,2028&c=3> (13.03.2023).
- [3] Chowdhury MZ, Shahjalal M, Ahmed S, Jang YM. "6G Wireless communication systems: applications, requirements, technologies, challenges, and research directions". *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 957-975, 2020.
- [4] Tong W, Zhu P. *6G: The Next Horizon: From Connected People and Things to Connected Intelligence*. 1st ed. Cambridge, England, Cambridge University Press, 2021.
- [5] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. "Milli Frekans Planı (2023)". <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/milli-frekans-plani-23012023.pdf> (14.03.2023).

- [6] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. "GSM & IMT-2000/UMTS & IMT Ayrıntılı Band Planı ve Tahsis Bilgileri". <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/gsm-umts-ve-imt-ayrintili-band-plani-ve-tahsis-bilgileri-002.pdf> (14.03.2023).
- [7] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. "5G Vadisi Açık Test Sahası'nda 5.89 GHz Frekans Bandında V2X Kanal Ölçümü Projesine Başlandı". <https://www.btk.gov.tr/duyurular/5g-vadisi-acik-test-sahasi-nda-5-89-ghz-frekans-bandinda-v2x-kanal-olcumu-projesine-baslandi> (14.03.2023).
- [8] Hasan MM, Islam MT, Samsuzzaman M, Baharuddin MH, Soliman MS, Alzamil A, Islam MS. "Gain and isolation enhancement of a wideband MIMO antenna using metasurface for 5G sub-6 GHz communication systems". *Scientific Reports* 12(9433), 1-17, 2022.
- [9] Balanis CA. *Anten Teorisi: Analiz ve Tasarımı*, 3. Baskı. Ankara, Türkiye, Nobel, 2013.
- [10] Yadav J, Sharma S, Arora M. "A paper on microstrip patch antenna for 5G applications". *Materials Today: Proceedings*, 66(8), 3430-3437, 2022.
- [11] Kumar P. *A Dual-Band Microstrip Patch Antenna for Wireless Applications*. Editors: Kalam A, Niazi K, Soni A, Siddiqui S, Mundra A. *Intelligent Computing Techniques for Smart Energy Systems*. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 607, Springer, Singapore, 2020.
- [12] Arı N, Özen Ş. *Elektromanyetik Uyumluluk*. 1. Baskı. Ankara, Türkiye, Palme Yayıncılık, 2008.
- [13] Li WW, Qin ZZ, Chen SJ, Zhang L, Liu, QHA. "Wideband printed slot antenna with harmonic suppression". *Microwave and Optical Technology Letters*, 60, 1946-1952, 2018.
- [14] Hankui E, Nakase K, Sakai J. "Noise suppression Structure" <https://patents.google.com/patent/US20130192865>, (16.03.2023).
- [15] Awan WA, Hussain N, Kim S, Kim N. "A frequency-reconfigurable filtenna for GSM, 4G-LTE, ISM, and 5G-Sub 6 GHz Band Applications". *Sensors (Basel)*, 22(15), 5558, 2022.
- [16] Velidi V, Kumar M, Subramanyam A, Sivareddy, D, Kumar V, Ramana, D, Sitaraman, P, De A. "Uniplanar microstrip patch antenna with reduced harmonic radiation using multi-stub filter unit" *2017 IEEE International Conference on Antenna Innovations & Modern Technologies for Ground, Aircraft and Satellite Applications (iAIM)*, Bangalore, India, 24-26 November 2017.
- [17] Narita Y, Nozawa K, Tanba N, Hara S, Hirayama HH. "Shaped slot antenna with harmonic tuning function and integrated power amplifier". *Energies*, 16(5), 1-14, 2023.
- [18] Sanap K, Labade, RP. *Fractal Patch Antenna with Exalted Bandwidth and Harmonic Suppression for WiMAX Applications*. Editors: Kumar A, Mozar S. *ICCCE 2019 Lecture Notes in Electrical Engineering*, 570, Singapore, Springer, 2020.
- [19] Wang Q, Chu H, Dang Y, Qiu J, Qi J. "A compact 5.8 GHz rectenna with high conversion efficiency enabled by the harmonic suppression for wireless power transfer". *2022 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT)*, Harbin, China, 12-15 August 2022.

- [20] Manikandan M, Karthigai Lakshmi S. "A compact penta-band low-sar antenna loaded with split-ring resonator for mobile applications". *International Journal of Antennas and Propagation*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/3298866>
- [21] Hacımehmet M. "X bant mikroşerit halka yama anten tasarımı ve besleme türlerine göre performanslarının değerlendirilmesi". *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(2), 215-221, 2022.
- [22] Zang Y, Zhai H, Xi L, Li L. "A Compact microstrip antenna with enhanced bandwidth and ultra-wideband harmonic suppression". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 67(3), 1969-1974, 2019.
- [23] Kumar Ghosh C. "Harmonics suppression of microstrip antenna using open ended stubs". *Microwave and Optical Technology Letters*, 58(6), 1340-1345, 2016.
- [24] Hakanoglu BG, Koc B, Sen O, Yalduz H, Turkmen M. "Stub loaded patch antenna and a novel method for miniaturization at Sub 6 GHz 5G and Wi-Fi frequencies". *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 21(2), 23-32, 2021.
- [25] Ghosh CK. "Harmonics suppression of microstrip antenna using open ended stubs". *Microwave and Optical Technology Letters*, 58(6), 1340-1345, 2016.
- [26] Fan J, Jiangchuan L, Feng Q, Jinliang C, Mingxu K, Renato C. "Ultrawideband harmonic suppression in microstrip patch antenna using novel defected ground structures". *International Journal of Antennas and Propagation*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/9602841>
- [27] Zhang H, F. Huang F, Han Y. "A new approach to design microstrip patch antenna with wideband harmonic suppression". *2021 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, Taipei, Taiwan, 19-22 October 2021.
- [28] Souza FA, Campos AL, Gomes Neto A, Serres AJ, Albuquerque CC. "Higher order mode attenuation in microstrip patch antenna with DGS H filter specification from 5 to 10 GHz range". *Journal Microwaves Optoelectron Electromagn Appl*, 19(2), 214-227, 2020.
- [29] Elftouh H, Touhami Amar N, Mchbal A, Zakriti A, Elbakkali M. "Suppression of harmonic of microstrip patch antenna using defected ground and defected microstrip structure". *Procedia Manufacturing*, 32(1), 653-660, 2019.
- [30] Jeong T, Lee JS, Lee DG, Kim JH, Park J, Hwang DH, Hwang KC. "Quasi-Isotropic Hybrid Dielectric Resonator Antenna -Bow-Tie Patch with Harmonic Suppression". *Applied Sciences*, 12(8), 1-13, 2022.
- [31] Zakaria Z, Sam WY, Abd Aziz MZ, Ismail M. "The Integration of Rectangular SIW Filter and Microstrip Patch Antenna based on Cascaded Approach". *Procedia Engineering*, 53, 347-353, 2013.
- [32] Zhang YM, Zhang S, Ye QC, Pedersen GF. "Cosynthesis of a filtering antenna with harmonic suppression". *IEEE antennas and wireless propagation letters*, 19(10), 1729-1733, 2020.
- [33] Jayanth J, Mahadevaswamy M, Shreehansa, R. Gururaj K.S, Ravikiran H.K "Design and analysis of sixth-generation (6G) microstrip patch antenna". *SN Computer Science*, (4), 1-7, 2023.
- [34] Güvenli K. Mikrodalga Frekanslarında Kullanılacak Yüzey Tümlüşik Dalga Kılavuzu Filtrelerinin Tasarımı, Gerçekleşmesi ve Optimizasyonu, Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2022.
- [35] Guvenli K, Yenikaya S, Seçmen M. "Analysis, design, and actual fabrication of a hybrid microstrip-SIW bandpass filter based on cascaded hardware integration at x-band". *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 27(1), 23-28, 2021.
- [36] Kadagan, OM, Turkmen, C, Secmen, M. "Base station antenna with enhanced cross polarization discrimination performance by using horizontal meandered dipole and vertical parasitic elements". *Advanced Electromagnetics*, 8(2), 28-38, 2019.
- [37] Türkmen, C, Seçmen, M. "Omnidirectional and circularly polarized waveguide circular slot antenna array for satellite communication". *2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO)*, Bursa, Turkey, 1-3 December, 2016.
- [38] Zhang JD, Zhu L, Wu QS, Liu NW, Wu W. "A compact microstrip-fed patch antenna with enhanced bandwidth and harmonic suppression". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 64(12), 5030-5037, 2016.
- [39] Mandal MK, Mondal P, Sanyal S, Chakrabarty A. "An improved design of harmonic suppression for microstrip patch antennas". *Microwave and Optical Technology Letters*, 49(1), 103-105, 2007.
- [40] Xiao S, Wang BZ, Jiang L, Gao S. "Compact coplanar design for harmonic suppression in microstrip antenna". *Microwave and Optical Technology Letters*, 51(5), 1326-1329, 2009.
- [41] Ma W. "A microstrip patch antenna design with harmonic rejection using defected ground structure". *2019 IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS)*, Guangzhou, China, 19-22 May 2019.
- [42] Ramanujam P, Venkatesan PG, Arumugam RC. "Electromagnetic interference suppression in stacked patch antenna using complementary split ring resonator". *Microwave and Optical Technology Letters*, 62(1), 193-199, 2020.
- [43] Oukil S, Kimouche H, Azrar, A. "An electrically small antenna with integrated DGS filter". *Microwave and Optical Technology Letters*, 55(5), 962-966, 2013.