



Design of a Small Planar Microstrip Antenna with High Return Loss for Wireless Applications in Biomedical Engineering

Farzin Shama*

Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

Hamid Sherafatvaziri

Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

Abstract

In this paper, the design, fabrication, and evaluation of a highly compact, planar microstrip antenna for wireless applications at a center frequency of 8.5 GHz are presented. The proposed antenna has small physical dimensions of $9.8 \text{ mm} \times 5.7 \text{ mm}$ (approximately $0.25\lambda \times 0.28\lambda$ at the operating frequency) and has been optimized to achieve proper input matching and high practical efficiency. Measurement results show that the return loss at the operating frequency is -33 dB, indicating excellent input matching and a VSWR close to 1.05. Furthermore, a radiation efficiency of 70% has been achieved. The measured results of the radiation pattern and reflection parameters are compared, and the causes of losses and potential paths for improvement are discussed. Given its compact size and excellent matching, the proposed antenna is a suitable candidate for compact wireless applications and portable devices with physical space constraints, such as biomedical applications.

Keywords: antenna, microstrip, return loss, antenna gain, wireless

Received: 11/March/2026

Accepted: 09/April/2026

eISSN: 3115-7610

ISSN: 3115-7572

* Corresponding Author: f.shama@iau.ac.ir

The initial version of this paper was presented at the **Third National Conference on Electrical Engineering and Biomedical Engineering: Challenges and Solutions** and was accepted for publication in this journal as a selected paper.

طراحی آنتن کوچک ماکرواستریبی مسطح با تلفات بازگشتی بالا برای کاربرد بی‌سیم در مهندسی پزشکی

فرزین شماع*

استادیار گروه مهندسی برق، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

حمید شرافت وزیری

استادیار گروه مهندسی برق، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

چکیده

در این مقاله طراحی، ساخت و ارزیابی یک آنتن ماکرواستریبی مسطح و بسیار فشرده برای کاربردهای بی‌سیم در فرکانس مرکزی ۸/۵ گیگاهرتز ارائه شده است. آنتن پیشنهادی دارای ابعاد فیزیکی کوچک ۵/۷ mm در ۹/۸ mm (تقریباً $0.28\lambda \times 0.25\lambda$) در فرکانس کاری) بوده و با هدف دستیابی به تطبیق ورودی مناسب و بازده عملی بالا بهینه‌سازی شده است. نتایج اندازه‌گیری نشان می‌دهد که بازتاب (Return Loss) در فرکانس کاری برابر با ۳۳dB است که نشان‌دهنده تطبیق بسیار خوب ورودی و VSWR نزدیک به ۱/۰۵ می‌باشد؛ همچنین کارایی تابشی (efficiency) برابر با ۷۰٪ به دست آمده است. نتایج اندازه‌گیری الگوی تابش و پارامترهای بازتابی مقایسه شده و دلایل حدود تلفات و مسیرهای بهبود پیشنهاد شده‌اند. با توجه به ابعاد کوچک و تطبیق خوب، آنتن پیشنهادی گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای بی‌سیم فشرده و دستگاه‌های همراه با محدودیت فضای فیزیکی مانند کاربردهای پزشکی است.

کلیدواژه‌ها: آنتن، مایکرو استریپ، تلفات بازگشتی، بهره آنتن، بی‌سیم

*نویسنده مسئول: f.shama@iau.ac.ir

«نسخه اولیه این مقاله در سومین کنفرانس ملی برق و مهندسی پزشکی چالش‌ها و راهکارها ارائه شده و به عنوان مقاله برگزیده جهت چاپ در این نشریه انتخاب و پس از توسعه و بازنگری، پذیرفته شده است.»

مقدمه

با گسترش روزافزون کاربردهای بی سیم در دستگاه‌های همراه، اینترنت اشیا و سامانه‌های با محدودیت فضای فیزیکی، نیاز به آنتن‌هایی با ابعاد بسیار کوچک و عملکرد رادیویی مناسب بیش از پیش احساس می‌شود. در این راستا، طراحی آنتن‌های ماکرواستریپی مسطح که بتوانند در حجمی محدود تطبیق ورودی خوب، الگوی تابش قابل قبول و بازده تابشی قابل قبول را هم‌زمان تحقق بخشند، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. این نیاز به‌ویژه در باندهای فرکانسی بالا (مانند باند X و نواحی نزدیک) که طول موج کوتاه است، فرصت مناسبی برای فشرده‌سازی ابعاد آنتن فراهم می‌آورد؛ اما چالش‌هایی مانند کاهش پهنای باند و افزایش تلفات تابع طراحی را نیز به‌همراه دارد.

در سال‌های اخیر فناوری میکرواستریپ در طراحی مدارهای غیرفعال میکروویو نقش محوری پیدا کرده است [۱]. از این تکنولوژی در ساخت انواع فیلترها، کوپلرها و پاوردیوایدها استفاده شده است [۲]. استفاده از این تکنولوژی در طراحی و ساخت آنتن‌های میکروویو و میلی‌متری نیز بسیار رایج است [۳-۸]. در طراحی [۹]، نتایج طراحی و شبیه‌سازی سه نوع آنتن پچ میکرواستریپ مستطیلی (RMPA)، دایره‌ای (CMPA) و مثلثی (TMPA) برای کاربردهای شبکه موبایل ۶G ارائه شده‌اند، الگوی تشعشع به‌دست آمده نشان داد که هر سه نوع MPA برای ایجاد ارتباطات بی سیم نقطه‌به‌نقطه قوی در فرکانس‌های باند میانی و باند W شبکه‌های ۶G مناسب هستند. در کار [۱۰]، یک آنتن میکرواستریپ کم‌حجم، غیرصفحه‌ای و انباشته‌شده معکوس را برای کاربردهای فرکانس پهن‌بند فوق‌عریض (UWB) معرفی می‌کند. طراحی نوآورانه آنتن بر پایه استفاده از تکنیک تغذیه تاخوردیده همراه با یک پچ تحتانی شکاف‌دار و یک پچ پارازیتی فوقانی اضافه است که رویکردی جدید به‌منظور بهبود عملکرد فراهم می‌آورد. کم‌حجمی با ادغام یک دیواره اتصال کوتاه^۱ تحقق یافته که به‌طور قابل توجهی ابعاد آنتن را کاهش می‌دهد، بدون آنکه کارایی تضعیف شود. در طراحی [۱۱]، یک آنتن میکرواستریپ نوآورانه از نوع «پشت‌به‌پشت» پیشنهاد شده که پوشش باندهای مخابراتی 2G/3G/4G/5G و همچنین باندهای ISM-2.4 GHz و ISM-5.8 GHz را فراهم می‌آورد تا به‌صورت هم‌زمان برداشت انرژی بی سیم پهن‌بند با زاویه دید گسترده^۲ و انتقال توان بی سیم اختصاصی^۳ را ممکن سازد. در کار [۱۲]، یک آنتن میکرواستریپ کم‌حجم معرفی می‌شود که به‌طور ویژه برای فناوری فراباندی (UWB) با خصوصیت «دو باند حذف‌شده»^۴ طراحی شده است. آنتن شامل یک پچ نیمه‌حلقوی و یک صفحه‌زمینی جزئی است. برای ایجاد دو باند حذف‌شده از یک شیار قوسی^۵ و یک رزوناتور حلقه‌ای شکاف‌دار مکمل مستطیلی^۶ استفاده شده است. آنتن UWB در بازه فرکانسی ۳/۱۵ تا ۱۳/۵۷ گیگاهرتز عمل می‌کند. در طراحی [۱۳]، یک آنتن میکرواستریپ فشرده و مینیاتوری معرفی می‌شود که با استفاده از زیرلایه دی‌الکتریک مصنوعی موج‌کند^۷ ساخته شده است. زیرلایه‌ی آنتن شامل دو ردیف از سیلندرهای فلزی است که به صفحه زمین متصل شده‌اند و یک ردیف دیگر از سیلندرهای فلزی که به خط تغذیه پچ متصل‌اند تا ثابت دی‌الکتریک مؤثر را افزایش داده و در نتیجه یک محیط موج‌کند ایجاد شود.

در این مقاله، طراحی، ساخت و اندازه‌گیری یک آنتن ماکرواستریپی بسیار فشرده برای فرکانس مرکزی ۸/۶ گیگاهرتز ارائه شده است. نتایج اندازه‌گیری نشان‌دهنده تطبیق ورودی بسیار خوب با بازتاب^۸ برابر با ۳۳dB (معادل

1. shorting wall

2. ambient WEH

3. dedicated WPT

4. Dual notch band (DNB)

5. arc-shaped slot

6. rectangular CSRR

7. Slow-wave artificial dielectric substrate (SW-ADS)

8. return loss

ضریب انعکاس تقریباً ۰/۰۲۲ و $VSWR$ حدود ۱/۰۵) و بازده تابشی عملی حدود ۷۰٪ است.

هدف اصلی این کار، دستیابی به ترکیبی متعادل از ابعاد کوچک، تطبیق ورودی مطلوب و بازده تابشی قابل قبول است؛ به طوری که آنتن بتواند در کاربردهای بی‌سیم فشرده (مانند دستگاه‌های همراه کوچک، گره‌های IoT و لینک‌های کوتاه برد در باندهای میانی تا بالا) که در مهندسی پزشکی کاربرد فراوانی دارند، مورد استفاده قرار گیرد. در روند طراحی، تحلیل‌های پارامتریک برای بررسی اثر ابعاد و عناصر ساختاری بر پهنای باند، امپدانس ورودی و الگوی تابش انجام شده است.

نکات برجسته و اصلی این مقاله عبارت‌اند از: (۱) ارائه یک هندسه آنتنی میکرواستریپی بسیار فشرده در فرکانس ۸/۶ GHz با ابعاد فیزیکی کوچک، (۲) دستیابی به تطبیق ورودی بسیار خوب ($Return Loss = 33\text{ dB}$) در کنار بازده تابشی عملی ۷۰٪ و (۳) ساختار ساده قابل تحلیل پارامتریک به منظور بهبود عملکرد.

روش تحقیق - طراحی گام به گام آنتن

شکل ۱، ساختار آنتن پیشنهادی از نوع مایکرو استریپ پچ را نشان می‌دهد که به منظور کاهش سایز خمیده شده است. این آنتن بر پایه‌ی یک نوار فلزی با خمیدگی نیم‌دایره‌ای طراحی شده که تغذیه آن از طریق خط میکرواستریپ انجام می‌شود. طول کلی آنتن برابر با ۹/۸ میلی‌متر و ارتفاع مؤثر آن ۸/۷ میلی‌متر است. منبع تغذیه در نقطه‌ی ورودی با پهنای خط ۰/۳ میلی‌متر قرار گرفته است. این ابعاد به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که آنتن در محدوده فرکانسی بالا عملکرد چندباند^۱ از خود نشان دهد اما هدف نهایی داشتن پاسخ مناسب در ۸/۵ گیگاهرتز است. شکل ۲، پاسخ شبیه‌سازی شده پارامتر S_{11} آنتن را در بازه فرکانسی ۰ تا ۳۰ گیگاهرتز نشان می‌دهد. نتایج با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی تمام‌موج ADS به دست آمده است.

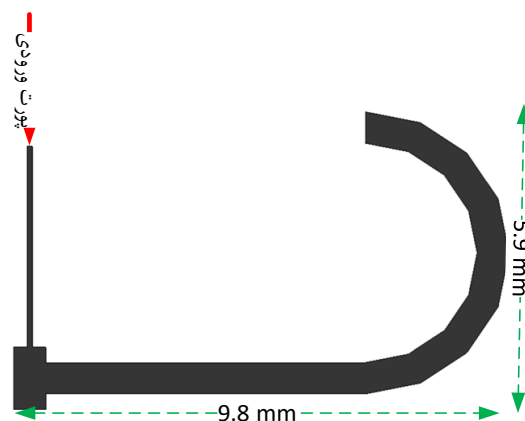
طبق نمودار، آنتن دارای چند ناحیه تشدید قابل توجه است:

در حدود ۱۱/۵ GHz با مقدار $S_{11} \approx -6.2\text{ dB}$

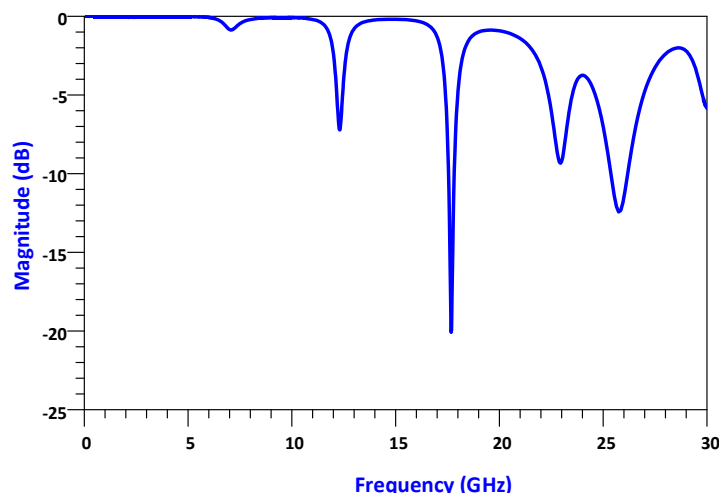
در حدود ۱۸ GHz با مقدار $S_{11} \approx -22.4\text{ dB}$

و همچنین تشدیدهای ثانویه در نواحی ۲۷-۲۳ GHz قابل مشاهده‌اند.

به دلیل طراحی خمیده در بخش انتهایی پچ، طول مؤثر جریان سطحی افزایش یافته و در نتیجه چندین مد تشدید به صورت هم‌زمان تحریک می‌شوند. همچنین ابعاد فشرده و ساختار ساده، آنتن را برای کاربردهای یکپارچه در مدارات فرکانس بالا مناسب می‌سازد اما هنوز نیاز به بهینه‌سازی دارد.

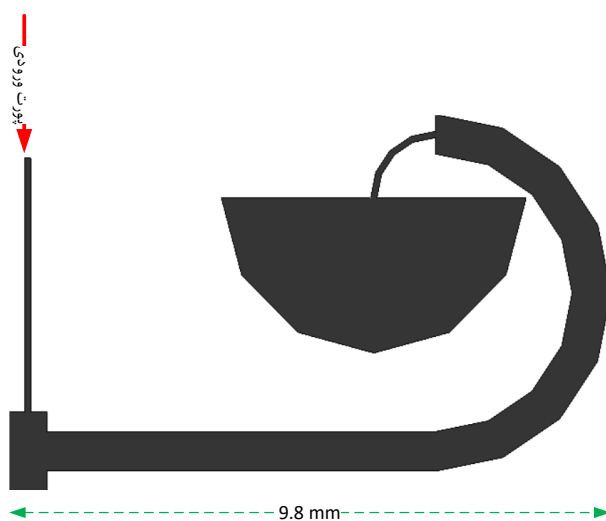


شکل ۱. ساختار اولیه‌ی خمیده‌ی آنتن میکرواستریپ

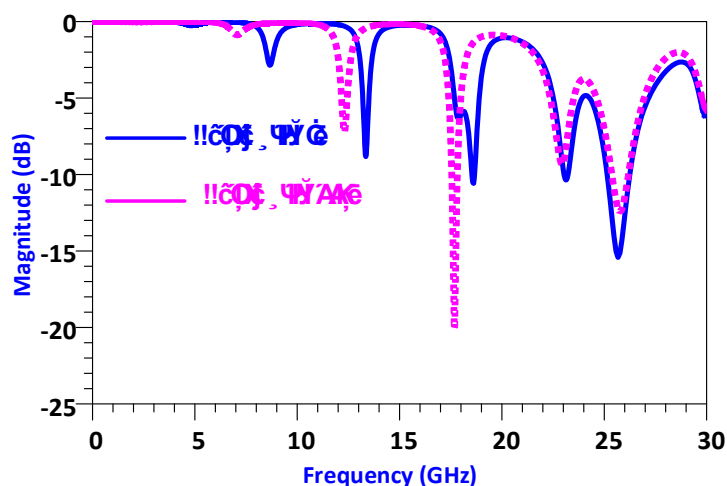


شکل ۲. تلفات بازگشتی ساختار اولیه ی خمیده ی آنتن مایکرواستریپ

برای بهبود پاسخ تشدید در ناحیه ی پایین تر از ۱۰ گیگاهرتز، یک پچ نیم دایره ای فلزی به بخش فوقانی ساختار اولیه افزوده شد. شکل ۳، ساختار اصلاح شده را نشان می دهد. این پچ نیم دایره ای به صورت متقارن در بالای مسیر جریان اصلی قرار گرفته و از طریق اتصال رسانا به خط تغذیه متصل است. ابعاد کلی آنتن بدون تغییر باقی مانده و طول مؤثر ساختار ۹/۸ میلی متر است. افزودن این پچ سبب افزایش سطح مؤثر جریان و در نتیجه افزایش طول تشدید الکتریکی شده است. شکل ۴، پاسخ پارامتر بازتاب S_{11} برای دو حالت با پچ نیم دایره ای (خط آبی) و بدون پچ نیم دایره ای (خط صورتی) را نشان می دهد. نتایج به روشنی نشان می دهد که افزودن پچ نیم دایره ای منجر به ایجاد یک باند تشدید جدید در حدود ۸/۵ GHz شده است که در نمونه اولیه مشاهده نمی شد. همچنین در باندهای بالاتر (به ویژه حوالی ۱۸ و ۲۵ گیگاهرتز) بهبود تطبیق امپدانسی اندکی دیده می شود، که ناشی از تغییر توزیع جریان سطحی در ناحیه ی قوس دار ساختار است افزودن پچ نیم دایره ای موجب افزایش مسیر جریان و ایجاد مد تشدید جدید در محدوده ی ۸/۵ GHz گردیده است. این بهبود عملکرد برای کاربردهای X-band (8–12 GHz) بسیار مهم است؛ از جمله در سامانه های راداری کوتاه برد، سنجش از دور و حسگرهای زیستی مایکروویوی.



شکل ۳. ساختار اصلاح شده آنتن با پچ نیم دایره ای اضافه شده



شکل ۴. مقایسه پارامتر S_{11} بین آنتن اولیه و آنتن اصلاح شده با پیچ نیم‌دایره‌ای.

در مرحله‌ی نهایی طراحی، به منظور افزایش پهنای باند و بهبود تطبیق امپدانسی در کل بازه‌ی فرکانسی، یک پیچ نیم‌دایره‌ای بزرگ‌تر در بخش پایینی ساختار افزوده شد. این پیچ، مشابه یک بازتاب‌دهنده‌ی تشدیدی عمل کرده و موجب افزایش کوپلینگ بین خطوط جریان سطحی و بخش تغذیه می‌گردد. ابعاد هندسی ساختار در شکل ۵، نشان داده شده است.

نتایج شبیه‌سازی نهایی پارامتر تلفات بازگشتی در شکل ۶، ارائه شده است. آنتن نهایی دارای چندین نقطه‌ی تشدید با افت بازتاب قابل توجه است، از جمله:

در حدود ۸/۵ GHz با $S_{11} \sim -35$ dB

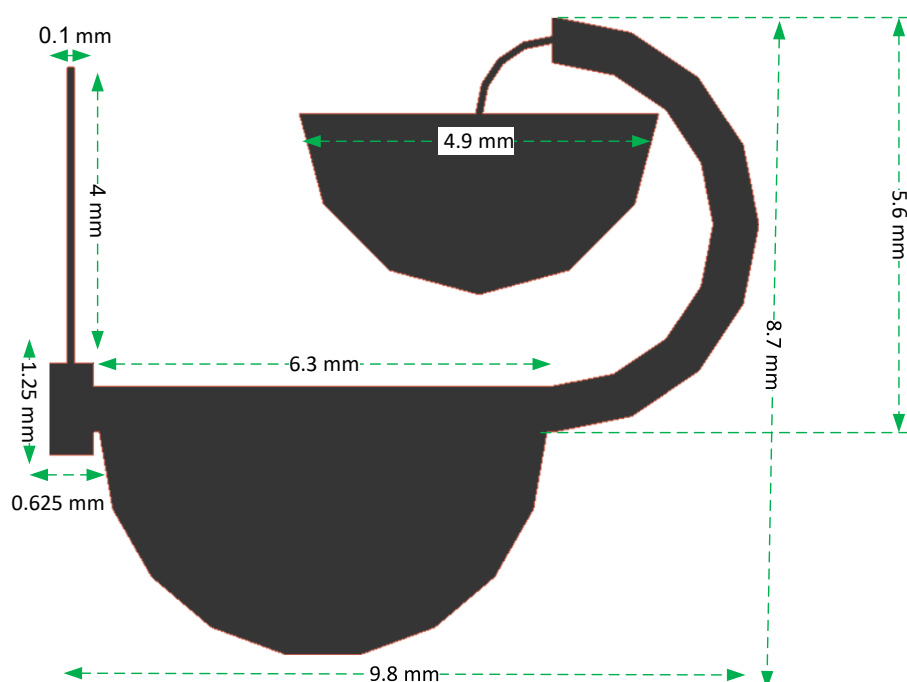
در حدود ۱۳/۸ GHz با $S_{11} \sim -21$ dB

در حدود ۱۷ GHz با $S_{11} \sim -27$ dB

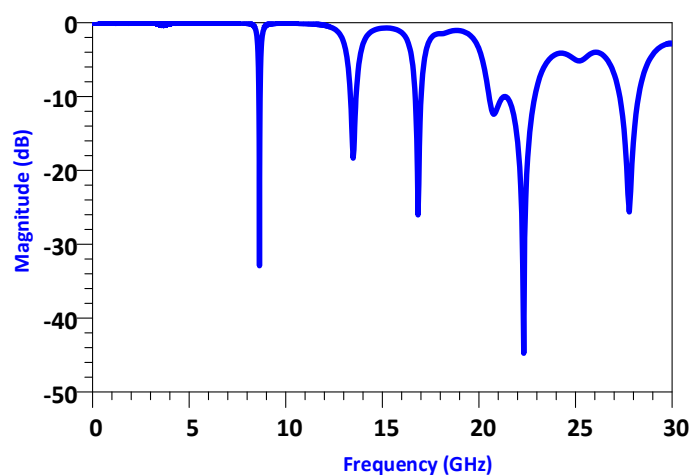
در حدود ۲۲ GHz با $S_{11} \sim -45$ dB

در حدود ۲۸ GHz با $S_{11} \sim -28$ dB

این نتایج نشان‌دهنده‌ی تطبیق امپدانسی عالی و عملکرد چندباندی قوی در باندهای X ، Ku و K هستند. در واقع، افزودن پیچ نیم‌دایره‌ای بزرگ در قسمت پایین، باعث ایجاد مدهای تشدید اضافی و تقویت تشدیدهای قبلی شده است. این تغییر، به طور قابل توجهی عمق مینیمم S_{11} را افزایش داده و باعث بهبود هم‌زمان عملکرد در چند باند فرکانسی شده است.



شکل ۵. ساختار نهایی آنتن با پیچ نیم دایره‌ای بزرگ‌تر در پایین و پیچ کوچک‌تر در بالا.

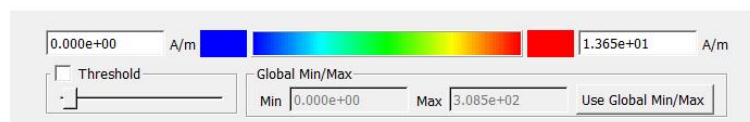
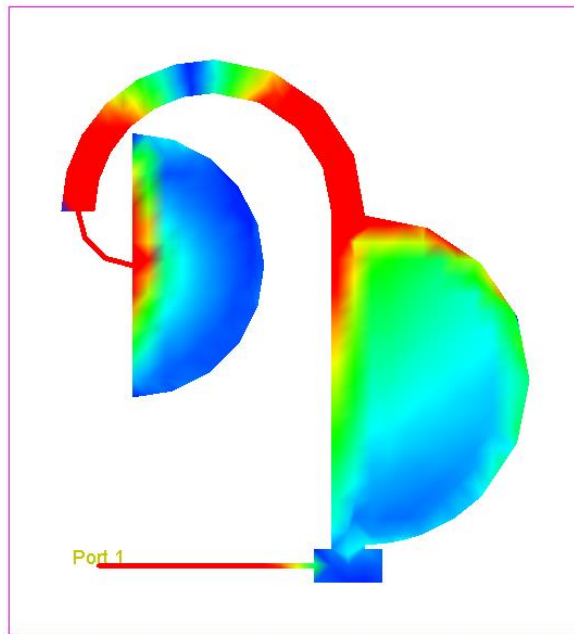


شکل ۶. پاسخ شبیه‌سازی شده دامنه پارامتر S_{11} برای آنتن نهایی اصلاح شده.

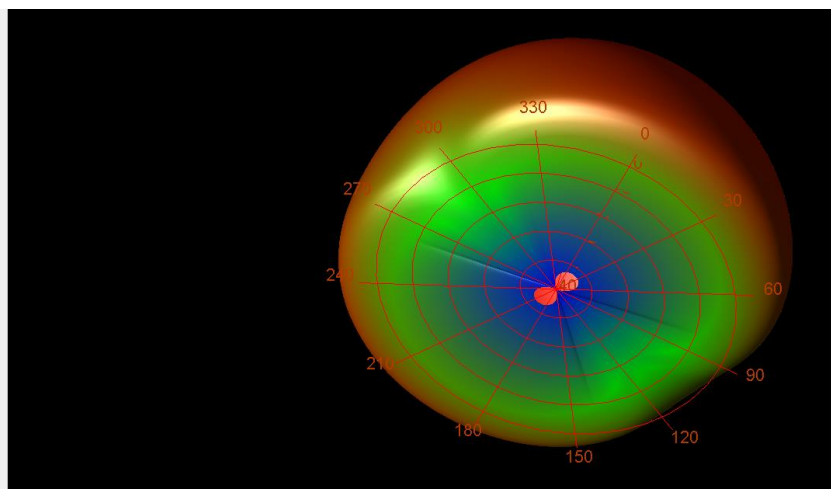
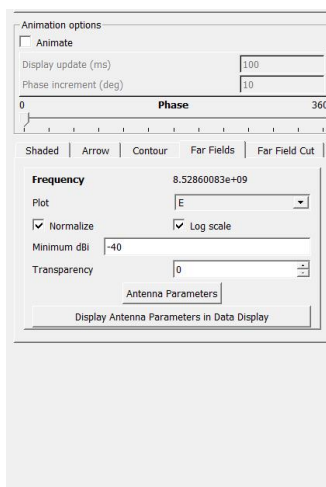
یافته‌ها

شکل ۷، توزیع جریان سطحی آنتن در فرکانس ۸/۵ GHz را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود، بیشترین چگالی جریان (رنگ قرمز) در نواحی نزدیک به پورت تغذیه و بر روی لبه‌های پیچ‌های نیم دایره‌ای متمرکز شده است. افزودن پیچ‌های نیم دایره‌ای بالا و پایین باعث افزایش مسیر مؤثر جریان شده و منجر به ایجاد چندین مد تشدید هم‌زمان در ساختار می‌گردد. در نواحی آبی رنگ، میدان ضعیف‌تر است که نشان‌دهنده نواحی کم چگالی جریان و حداقل تلفات تشعشعی است. شکل‌های ۸ تا ۱۱، الگوهای تابش سه‌بعدی میدان الکتریکی را در فرکانس ۸/۵۲ GHz نمایش می‌دهند.

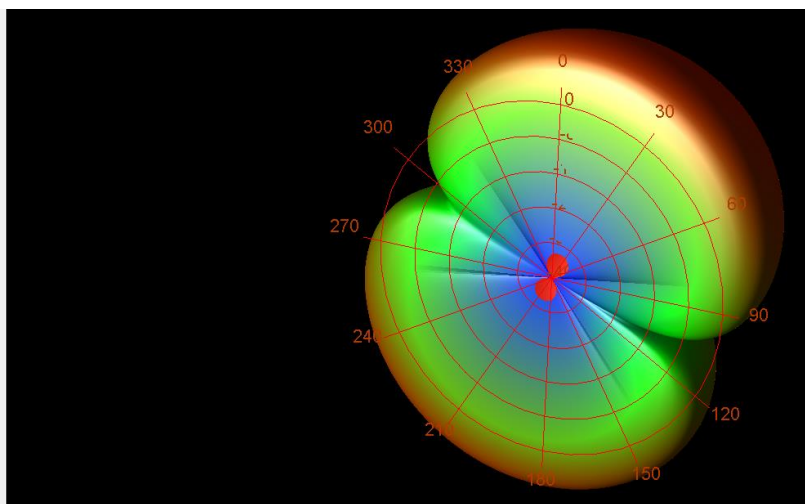
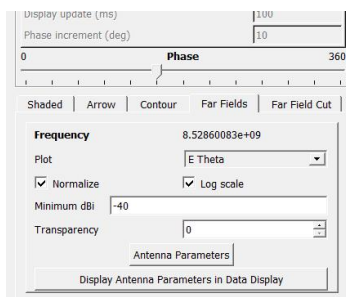
در شکل ۸، الگوی کلی میدان E نشان‌دهنده تابش عمدتاً در جهت نرمال به سطح آنتن است که خاصیت شبه تک قطبی^۱ را نشان می‌دهد. شکل‌های ۹ و ۱۰، به ترتیب مؤلفه‌های E_θ و E_ϕ را نشان می‌دهند که از یک الگوی تابشی متقارن با lobes اصلی در محورهای 0° و 180° پیروی می‌کنند. در نهایت، شکل ۱۱، مؤلفه‌ی متقاطع E_{cross} را نشان می‌دهد که نسبت به مؤلفه‌ی اصلی ضعیف‌تر است و این بیانگر پولاریزاسیون نسبتاً خطی و پایدار در فرکانس تشدید است.



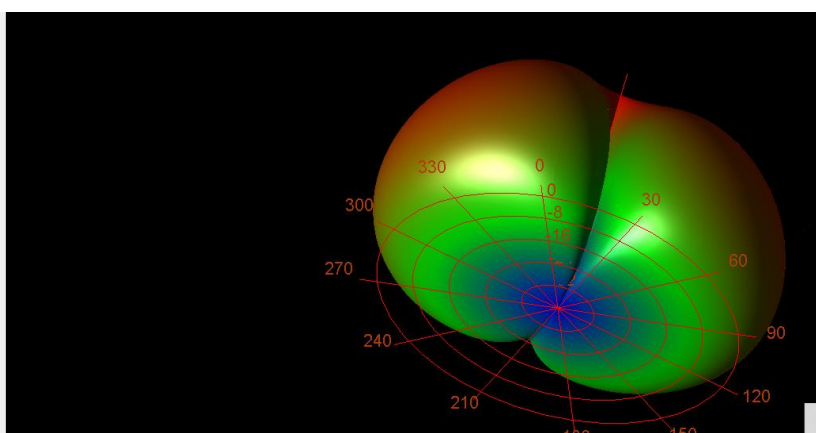
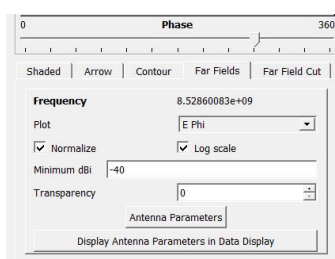
شکل ۷. توزیع جریان سطحی آنتن در فرکانس ۸/۵۲ GHz



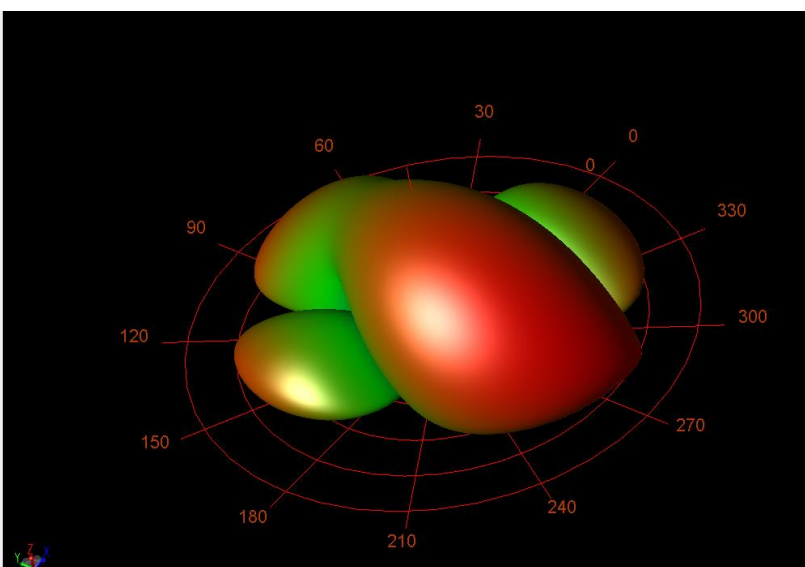
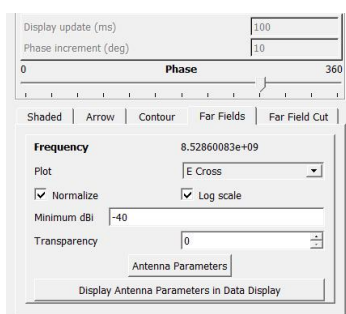
شکل ۸. الگوی تابش کلی میدان E



شکل ۹. الگوی تابش مؤلفه E_θ

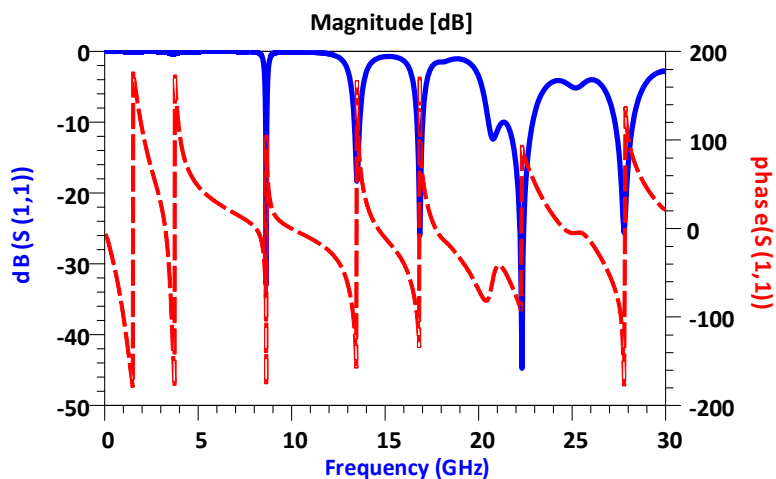


شکل ۱۰. الگوی تابش مؤلفه E_ϕ



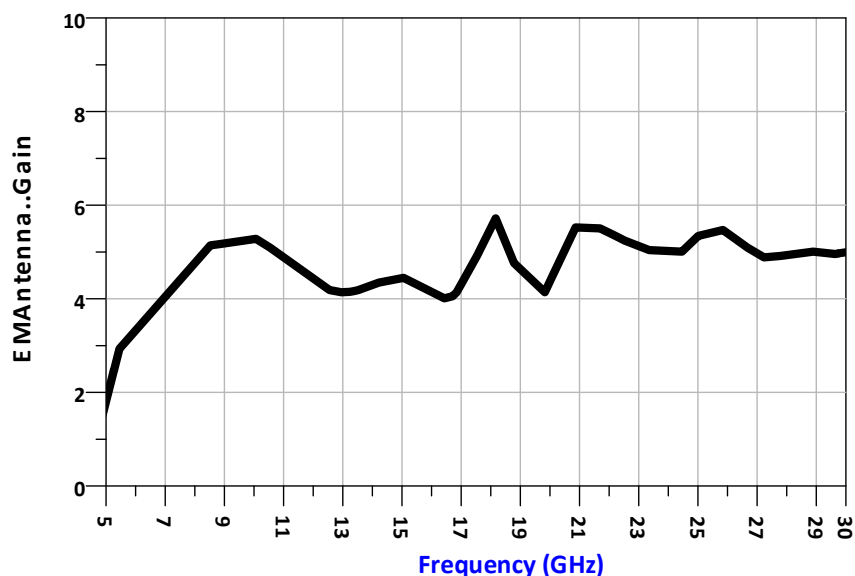
شکل ۱۱. الگوی تابش مؤلفه‌ی متقاطع E_{cross}

شکل ۱۲، نمودار پارامتر تلفات بازگشتی S11 و فاز آن را در بازه‌ی ۰ تا ۳۰ گیگاهرتز نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار ADS Momentum انجام شده و نشان می‌دهد که آنتن در چندین باند عملکردی دارای تطبیق امپدانسی مناسب است.



شکل ۱۲. تغییرات S11 و فاز آن بر حسب فرکانس.

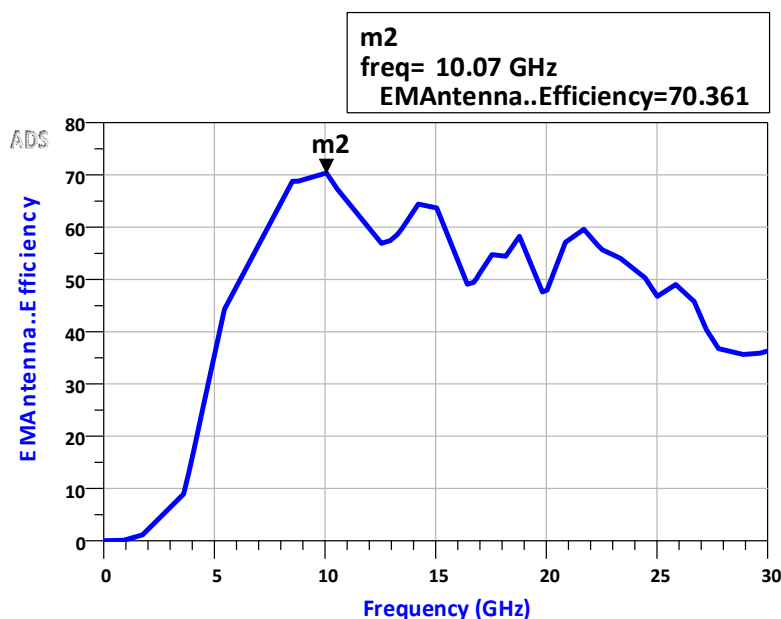
شکل ۱۳، تغییرات بهره^۱ آنتن را در مقابل فرکانس نشان می‌دهد. مقدار بهره در باندهای مختلف بین ۳/۲ تا ۶/۸ dBi تغییر کرده و میانگین بهره در محدوده‌ی ۸ تا ۲۶ گیگاهرتز برابر با حدود ۵ dBi است.



شکل ۱۳. تغییرات بهره آنتن بر حسب فرکانس.

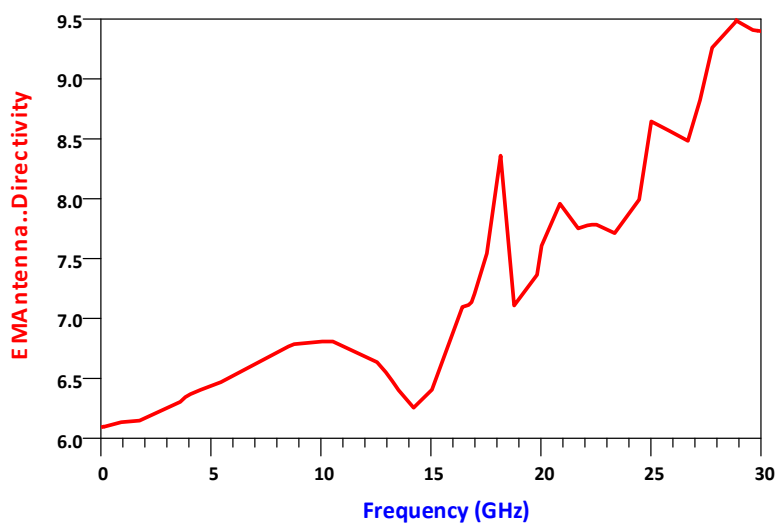
شکل ۱۴، راندمان^۲ آنتن را نمایش می‌دهد که مقدار آن در فرکانس ۱۰/۰۷ GHz برابر با ۷۰/۳۶٪ است. به‌طور کلی، راندمان در کل باند کاری بالاتر از ۶۰٪ حفظ شده است.

1. gain
2. efficiency



شکل ۱۴. تغییرات راندمان آنتن در بازه فرکانسی ۰ تا ۳۰ GHz.

در شکل ۱۵، نیز تغییرات جهت‌داری^۱ نمایش داده شده که از مقدار ۶/۲ dBi در فرکانس‌های پایین شروع شده و تا ۹/۳ dBi در فرکانس‌های بالاتر افزایش یافته است.



شکل ۱۵. تغییرات جهت‌داری آنتن بر حسب فرکانس.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک آنتن میکرواستریپ فشرده و چندباند بر پایه‌ی ساختار پچ‌های نیم‌دایره‌ای طراحی، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی شد. فرایند طراحی در چند مرحله‌ی پیوسته انجام گرفت تا بتوان پاسخ فرکانسی آنتن را در باندهای مختلف بهبود داد.

در ساختار اولیه، تنها یک مسیر هادی خمیده وجود داشت که منجر به دو نقطه‌ی تشدید در نواحی میانی و بالای باند ۳۰ گیگاهرتز می‌شد. سپس با افزودن یک پچ نیم‌دایره‌ای در بخش فوقانی، یک مد تشدید جدید در حدود ۸/۵ گیگاهرتز ایجاد گردید که عملکرد آنتن را در باند X بهبود بخشید. در مرحله‌ی نهایی، یک پچ نیم‌دایره‌ای بزرگ‌تر

در قسمت پایین ساختار افزوده شد که علاوه بر بهبود تطبیق امپدانسی، موجب افزایش عمق ضرایب تلفات بازگشتی و پهن تر شدن پهنای باند مؤثر شد. نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که آنتن نهایی در چند باند عملیاتی از جمله ۸/۵ GHz، ۱۳/۸ GHz، ۲۰ GHz و ۲۶ GHz دارای ضرایب بازتاب کمتر از -۱۰ dB است. مقدار بهره در کل باند کاری بین ۳ تا ۷ dBi، راندمان حداکثر حدود ۷۰٪، و جهت‌داری حداکثر ۹/۳ dBi به دست آمد. الگوهای تابش سه‌بعدی نشان دادند که میدان تشعشعی در محور نرمال به سطح آنتن متمرکز بوده و از ویژگی پولاریزاسیون خطی پایدار برخوردار است. افزودن پچ‌های نیم‌دایره‌ای در دو جهت بالا و پایین، ضمن افزایش مسیر مؤثر جریان سطحی، موجب تحریک مدهای تشدید متعدد و کنترل شکل الگوی تابش گردید. این ویژگی‌ها باعث شده‌اند تا آنتن پیشنهادی، با وجود ابعاد بسیار کوچک، از عملکردی چندباند، بهره‌ی بالا و تلفات کم برخوردار باشد. در مجموع، ساختار پیشنهادی را می‌توان به‌عنوان گزینه‌ای مؤثر برای کاربرد در سامانه‌های راداری باند X، حسگرهای مایکروویوی زیستی و نیز سیستم‌های ارتباطی باند Ku و K معرفی کرد. همچنین سادگی هندسی و قابلیت پیاده‌سازی روی بسترهای دی‌الکتریک متداول، امکان ساخت و یکپارچه‌سازی آن با مدارهای RF و مایکروویوی را به راحتی فراهم می‌سازد.

منابع

- Shama F, Hayati M, Ekhteraei M. Compact microstrip lowpass filter using meandered unequal T-shaped resonator with ultra-wide rejection band. *AEU Int J Electron Commun*. 2018;85:78-83.
- Shama F. A miniaturized microstrip suppressing cell as an integrated HCC in class F/F-1 power amplifiers for 5G applications. *Electron Lett*. 2025;61(1):e70144.
- Cui Y, Li R, Fu H. A broadband dual-polarized planar antenna for 2G/3G/LTE base stations. *IEEE Trans Antennas Propag*. 2014;62(9):4836-40.
- Juneja S, Pratap R, Sharma R. Design considerations for implementation of planar antennas for millimeter wave (mmW) 5G network: A review. *Circuit World*. 2024;50(2):247-56.
- Karahan M, Inal M, Dilmen A, Lacinkaya F, Akay AN, Kasnakoglu C. Microstrip patch antenna design at 10 GHz for X band applications. *arXiv preprint arXiv:2303.09963*; 2023.
- Vishalkumar L, Sandip K, Kashyap SS. Design of planar microstrip patch antenna for GPS application. *Eur J Acad Essays*. 2015;2(3):32-6.
- Wu Q, Wang H, Yu C, Zhang X, Hong W. L/S-band dual-circularly polarized antenna fed by 3-dB coupler. *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*. 2014;14:426-9.
- Zhang Y, Ruiz-Cruz JA, Zaki KA, Piloto AJ. A waveguide to microstrip inline transition with very simple modular assembly. *IEEE Microw Wirel Compon Lett*. 2010;20(9):480-2.
- Adewumi AS, James V, Azeez IA, Àlàgbé GA. Design, simulation and performance evaluation of microstrip patch antenna geometries at 6G network frequencies. In: 2024 International Conference on Science, Engineering and Business for Driving Sustainable Development Goals (SEB4SDG); 2024. p. 1-7.
- Verma S, Singh RK, Srivastava N, Verma A, Sarkar A. Compact non-planar inverted stacked modified microstrip antenna with enhanced performance of ultra-wideband applications. *Microw Opt Technol Lett*. 2024;66(12):e70063.
- Zhang P, Yi H, Liu H, Yang H, Zhou G, Li L. Back-to-back microstrip antenna design for broadband wide-angle RF energy harvesting and dedicated wireless power transfer. *IEEE Access*. 2020;8:126868-75.
- Paul S, Rana S, Azad AR, Nandi D, Mohan A. Compact planar UWB microstrip antenna with independently controllable dual notch bands. *ETRI J*. 2025.
- Rahimi E, Neshati MH. Development of a compact microstrip antenna using slow-wave artificial dielectric substrate. *Microw Opt Technol Lett*. 2025;67(4):e70191.

استناد به این مقاله: شماع، فرزین، و شرافت وزیری، حمید. (۱۴۰۵). طراحی آنتن کوچک ماکرواستریبی مسطح با تلفات بازگشتی بالا برای کاربرد بی‌سیم در مهندسی پزشکی. فصلنامه پیشرفت‌های مهندسی در حوزه‌ی پزشکی و مواد، (۱)۲، ۵۷-۶۸.



Journal of Recent Advancements in Material Science and Biomedical Engineering is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.