Journal of Recent Advancements in Material Science and Biomedical Engineering
Vol. 2, Issue 1, Spring 2026, 57-68
ram.apadana.ac.ir

Apadana Institute of Higher Education

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

Received: 11/March/2026 Accepted: 09/April/2026 eISSN: 3115-7610 ISSN: 3115-7572

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 mm × 5.7 mm (approximately 0.25λ × 0.28λ 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

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

"Based on a selected paper presented at the 3rd National Conference on Electrical and Biomedical Engineering in Shiraz (2026), this manuscript has been expanded and revised for publication in this journal."

فصلنامه پیشرفت‌های مهندسی در حوزه‌ی پزشکی و مواد
دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ۵۷-۶۸
ram.apadana.ac.ir

موسسه آموزش عالی آپادانا
غیر دولتی - غیر انتفاعی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۰ eISSN: 3115-7610 ISSN: 3115-7572

طراحی آنتن کوچک ماکرواستریپی 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 ماکرواستریپی 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 ۰/۲۸λ × ۰/۲۵λ 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٪ به‌دست‌آمده 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

* نویسندهٔ مسئول: f.shama@iau.ac.ir

«نسخه اولیه این مقاله در سومین کنفرانس ملی برق و مهندسی پزشکی چالش‌ها و راهکارها که در سال ۱۴۰۵ شهر شیراز برگزار گردیده است 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 بی‌سیم 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 قابل‌قبول 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 مایکروویو نقش محوری پیدا کرده است [۱]. از این تکنولوژی در ساخت انواع فیلترها، کوپلرها و پاوردیوایدرها استفاده شده است [۲]. استفاده از این تکنولوژی در طراحی و ساخت آنتن‌های مایکروویو 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 به‌دست‌آمده نشان داد که هر سه نوع MPA برای ایجاد ارتباطات بی‌سیم 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 پهن‌باند فوق‌عریض (UWB) معرفی می‌کند. طراحی نوآورانه آنتن بر پایه استفاده از تکنیک تغذیه تاخورده 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[1] 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 بی‌سیم پهن‌باند با زاویه دید گسترده[2] و انتقال توان بی‌سیم اختصاصی[3] را ممکن سازد. در کار [۱۲]، یک آنتن میکرواستریپ کم‌حجم معرفی می‌شود که به‌طور ویژه برای فناوری فراپهنای‌باند (UWB) با خصوصیت «دو باند حذف‌شده»[4] طراحی شده است. آنتن شامل یک پچ نیمه‌حلقوی و یک صفحه‌زمینی جزئی است. برای ایجاد دو باند حذف‌شده از یک شیار قوسی[5] و یک رزوناتور حلقه‌ای شکاف‌دار مکمل مستطیلی[6] 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[7] 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 ارائه‌شده است. نتایج اندازه‌گیری نشان‌دهنده تطبیق ورودی بسیار خوب با بازتاب[8] 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؛ به‌طوری 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 ماکرواستریپی بسیار فشرده در فرکانس ۸/۶ GHz با ابعاد فیزیکی کوچک، ۲) دستیابی به تطبیق ورودی بسیار خوب (Return Loss = 33 dB) در کنار بازده تابشی عملی ۷۰٪، و ۳) ساختار ساده قابل تحلیل پارامتریک به‌منظور بهبود عملکرد.

روش تحقیق- طراحی گام‌به‌گام آنتن

شکل ۱، ساختار آنتن پیشنهادی از نوع مایکرو استریپ پچ را نشان می‌دهد که به‌منظور 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 به‌گونه‌ای انتخاب شده‌اند که آنتن در محدوده فرکانسی بالا عملکرد چندبانده[1] از خود نشان دهد اما هدف نهایی داشتن پاسخ مناسب در ۸/۵ گیگاهرتز است. شکل ۲، پاسخ شبیه‌سازی‌شده پارامتر S11 آنتن را در بازه فرکانسی ۰ تا ۳۰ گیگاهرتز نشان می‌دهد. نتایج با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی تمام‌موج ADS به‌دست‌آمده است.

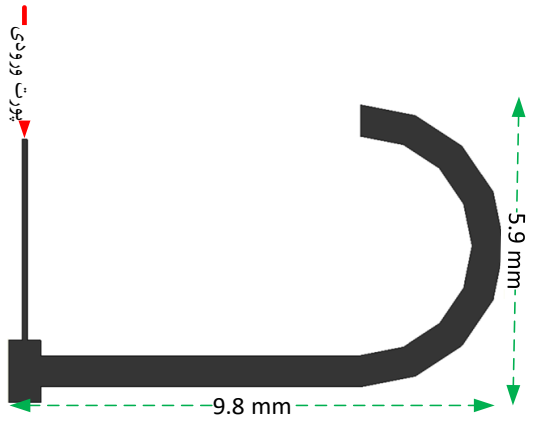
طبق نمودار، آنتن دارای چند ناحیه تشدیدی قابل‌توجه است:

در حدود ۱۱/۵ GHz با مقدار $S11 \approx -6.2$ dB

در حدود ۱۸ GHz با مقدار $S11 \approx -22.4$ dB

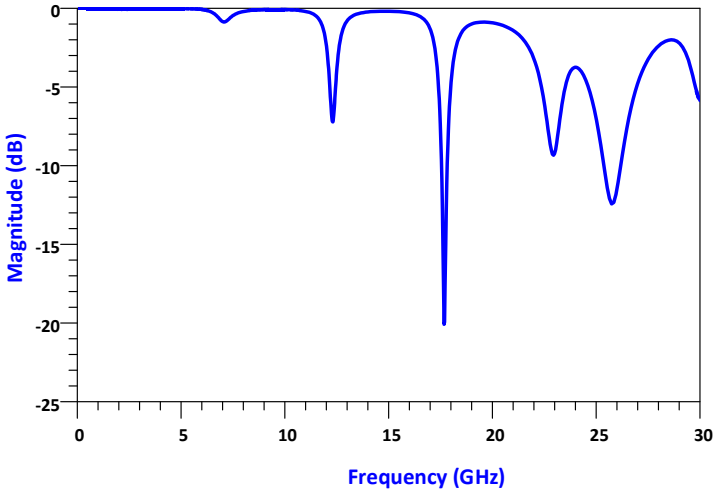
و همچنین تشدیدهای ثانویه در نواحی ۲۷-۲۳ GHz قابل مشاهده‌اند.

به‌دلیل طراحی خمیده در بخش انتهایی پچ، طول مؤثر جریان سطحی افزایش یافته و در نتیجه چندین مد تشدید به‌صورت 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.



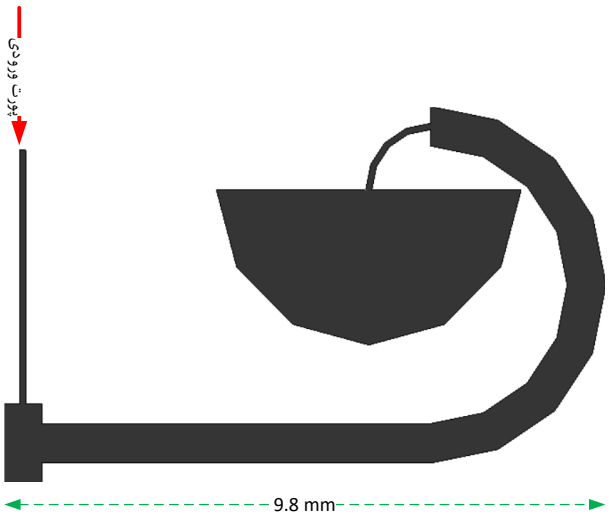
شکل ۱. ساختار اولیه‌ی خمیده‌ی آنتن مایکرواستریپ

1. multiband

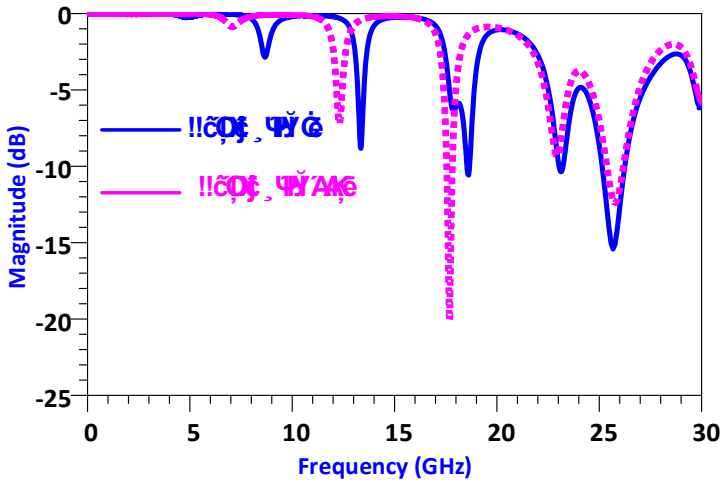


شکل ۲. تلفات بازگشتی ساختار اولیه‌ی خمیده‌ی آنتن مایکرواستریپ

برای بهبود پاسخ تشدید در ناحیه‌ی پایین‌تر از ۱۰ گیگاهرتز، یک پچ نیم‌دایره‌ای فلزی به بخش فوقانی ساختار اولیه افزوده شد. شکل ۳، ساختار اصلاح‌شده را نشان می‌دهد. این پچ نیم‌دایره‌ای به‌صورت متقارن در بالای مسیر جریان اصلی قرار گرفته و از طریق اتصال رسانا به خط تغذیه متصل است. ابعاد کلی آنتن بدون تغییر باقی‌مانده و طول مؤثر ساختار ۹/۸ میلی‌متر است. افزودن این پچ سبب افزایش سطح مؤثر جریان و در نتیجه افزایش طول تشدید الکتریکی شده است. شکل ۴، پاسخ پارامتر بازتاب S11 برای دو حالت با پچ نیم‌دایره‌ای (خط آبی) و بدون پچ نیم‌دایره‌ای (خط صورتی) را نشان می‌دهد. نتایج به‌روشنی نشان می‌دهد که افزودن پچ نیم‌دایره‌ای منجر به ایجاد یک باند تشدید جدید در حدود ۸/۵ GHz شده است که در نمونه اولیه مشاهده نمی‌شد. همچنین در باندهای بالاتر (به‌ویژه حوالی ۱۸ و ۲۵ گیگاهرتز) بهبود تطبیق امپدانسی اندکی دیده می‌شود، که ناشی از تغییر توزیع جریان سطحی در ناحیه‌ی قوس‌دار ساختار است افزودن پچ نیم‌دایره‌ای موجب افزایش مسیر جریان و ایجاد مد تشدید جدید در محدوده‌ی ۸/۵ GHz گردیده است. این بهبود عملکرد برای کاربردهای X-band (8–12 GHz) بسیار مهم است؛ ازجمله در سامانه‌های راداری کوتاه‌برد، سنجش از دور و حسگرهای زیستی مایکروویوی.



شکل ۳. ساختار اصلاح‌شده آنتن با پچ نیم‌دایره‌ای اضافه‌شده



شکل ۴. مقایسه پارامتر S11 بین آنتن اولیه و آنتن اصلاح‌شده با پچ نیم‌دایره‌ای.

در مرحله‌ی نهایی طراحی، به‌منظور افزایش پهنای باند و بهبود تطبیق امپدانسی در کل بازه‌ی فرکانسی، یک پچ نیم‌دایره‌ای بزرگ‌تر در بخش پایینی ساختار افزوده شد. این پچ، 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، ارائه‌شده است. آنتن نهایی دارای چندین نقطه‌ی تشدیدی با افت بازتاب قابل‌توجه است، ازجمله:

در حدود ۸/۵ GHz با $S11 \approx -35$ dB

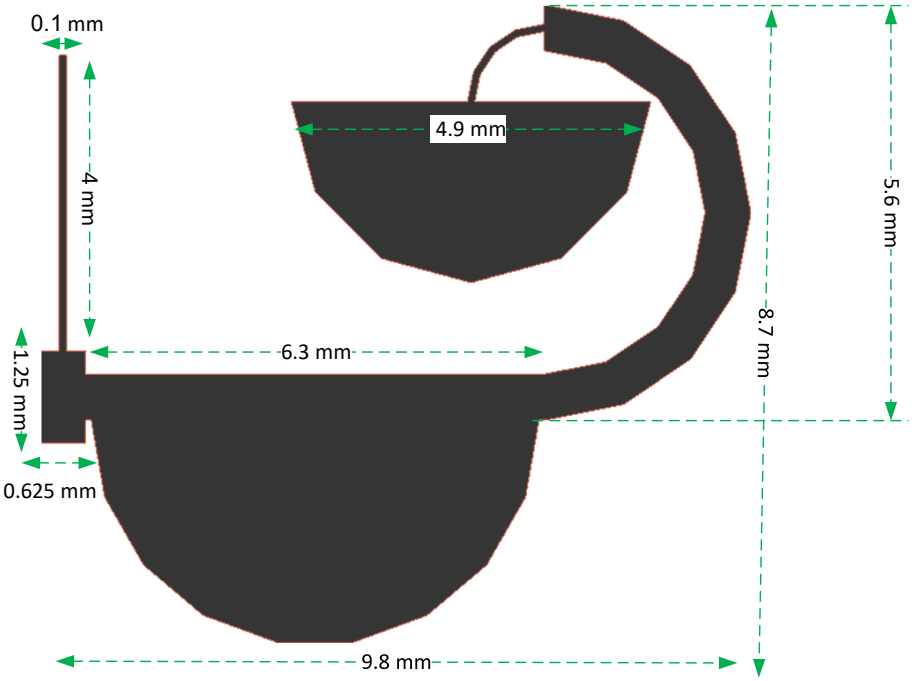
در حدود ۱۳/۸ GHz با $S11 \approx -21$ dB

در حدود ۱۷ GHz با $S11 \approx -27$ dB

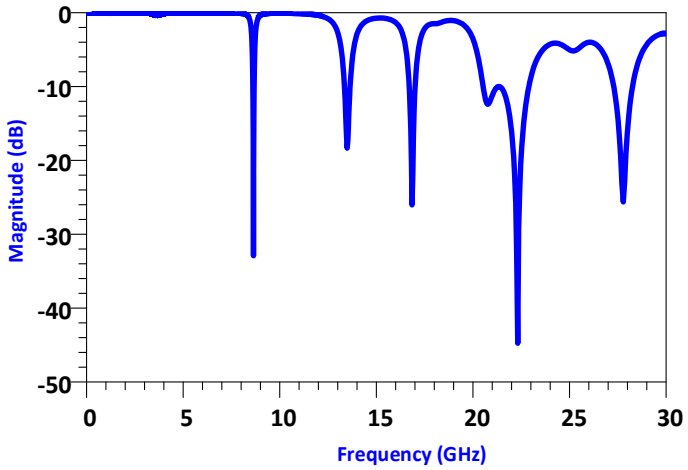
در حدود ۲۲ GHz با $S11 \approx -45$ dB

در حدود ۲۸ GHz با $S11 \approx -28$ dB

این نتایج نشان‌دهنده‌ی تطبیق امپدانسی عالی و عملکرد چندباندهی قوی در باندهای X، Ku و K هستند. در واقع، افزودن پچ نیم‌دایره‌ای بزرگ در قسمت پایین، باعث ایجاد مدهای تشدید اضافی و تقویت تشدیدهای قبلی شده است. این تغییر، به‌طور قابل توجهی عمق مینیمم S11 را افزایش داده و باعث بهبود هم‌زمان عملکرد در چند باند فرکانسی شده است.



شکل ۵. ساختار نهایی آنتن با پچ نیم‌دایره‌ای بزرگ‌تر در پایین و پچ کوچک‌تر در بالا.



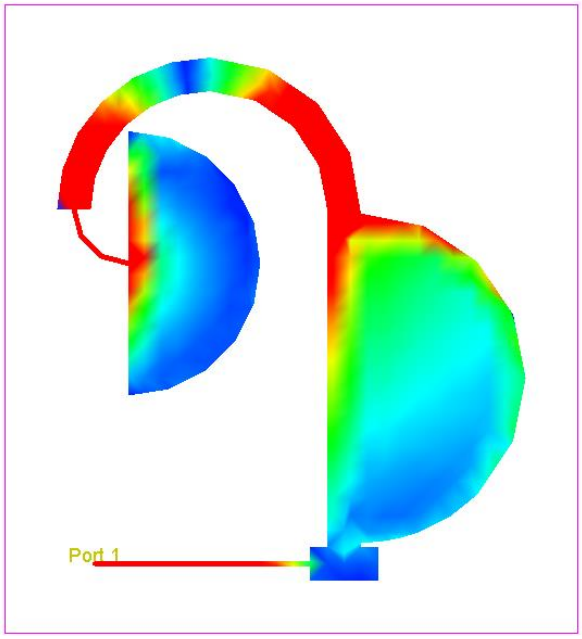
شکل ۶. پاسخ شبیه‌سازی‌شده دامنه پارامتر S11 برای آنتن نهایی اصلاح‌شده.

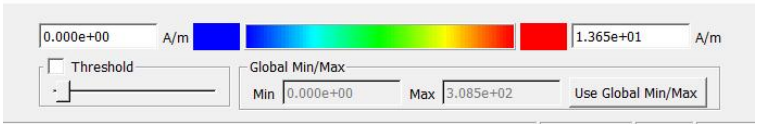
یافته‌ها

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 پچ‌های نیم‌دایره‌ای متمرکز شده است.

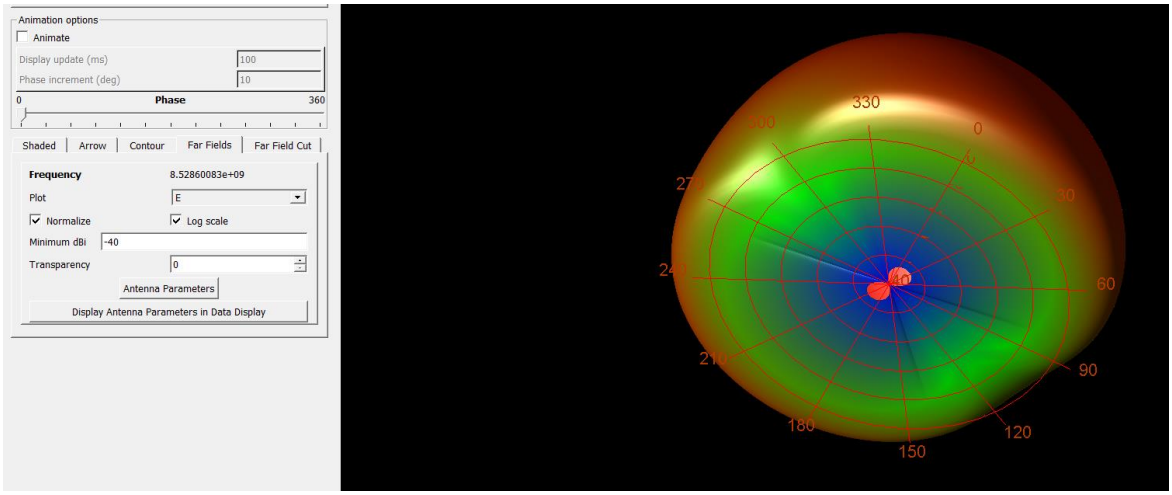
افزودن پچ‌های نیم‌دایره‌ای بالا و پایین باعث افزایش مسیر مؤثر جریان شده و منجر به ایجاد چندین مد تشدیدی هم‌زمان در ساختار می‌گردد. در نواحی آبی‌رنگ، میدان ضعیف‌تر است که نشان‌دهنده‌ی نواحی کم‌چگالی جریان و حداقل تلفات تشعشعی است. شکل‌های ۸ تا ۱۱، الگوهای تابش سه‌بُعدی میدان الکتریکی را در فرکانس ۸/۵۲ GHz نمایش می‌دهند.

در شکل ۸، الگوی کلی میدان E نشان‌دهنده‌ی تابش عمدتاً در جهت نرمال به سطح آنتن است که خاصیت شبه‌تک‌قطبی[1] را نشان می‌دهد. شکل‌های ۹ و ۱۰، به‌ترتیب مؤلفه‌های Eθ و Eϕ را نشان می‌دهند که از یک الگوی تابشی متقارن با lobes اصلی در محورهای °۰ و °۱۸۰ پیروی می‌کنند. در نهایت، شکل ۱۱، مؤلفه‌ی متقاطع Ecross را نشان می‌دهد که نسبت به مؤلفه‌ی اصلی ضعیف‌تر است و این بیانگر پولاریزاسیون نسبتاً خطی و پایدار در فرکانس تشدیدی است.



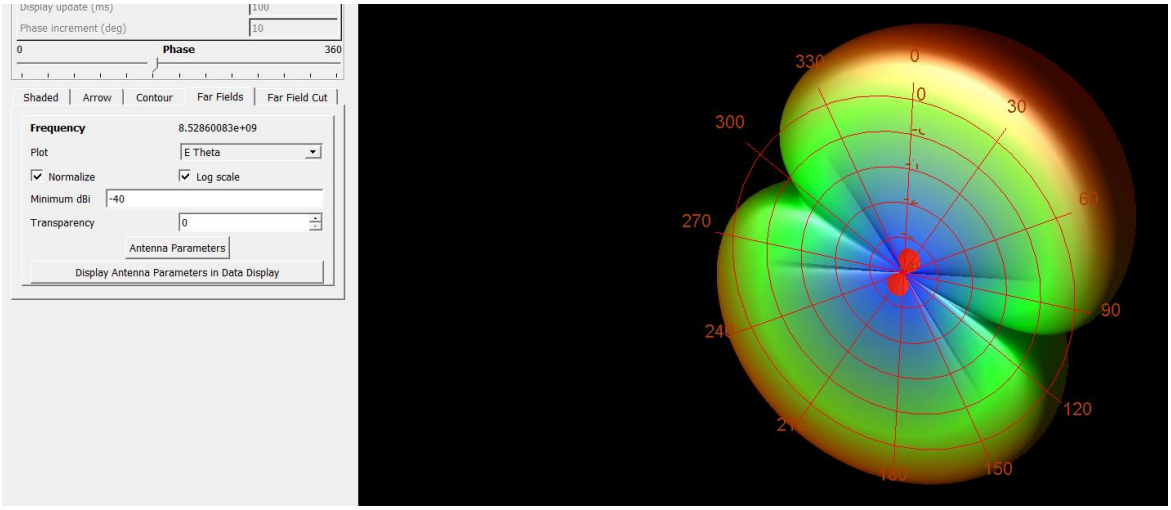


شکل ۷. توزیع جریان سطحی آنتن در فرکانس ۸/۵۲ GHz

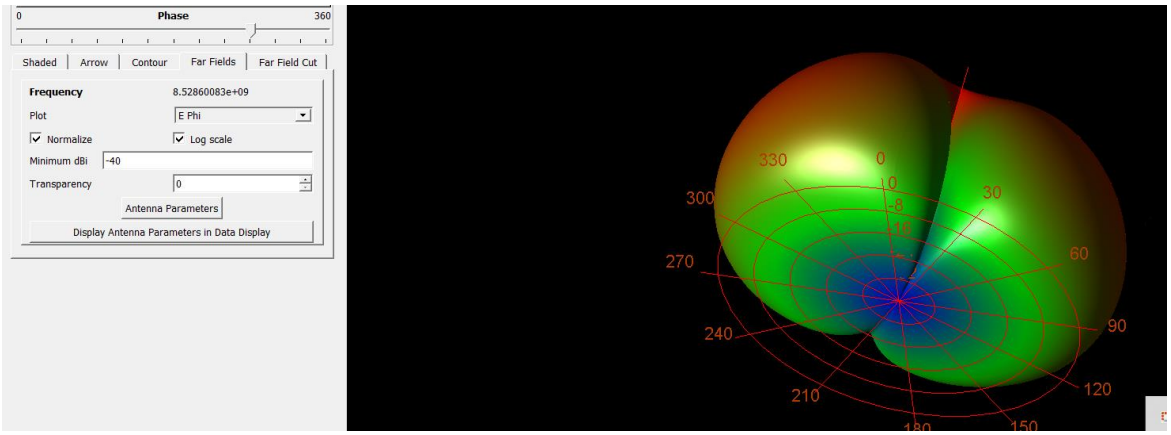


شکل ۸. الگوی تابش کلی میدان E

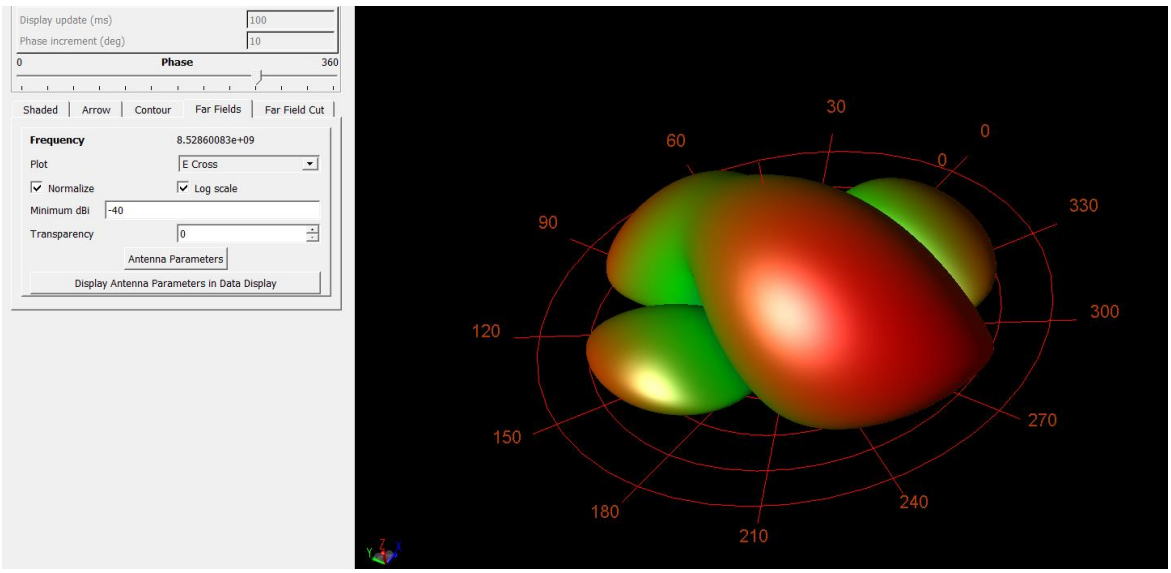
1. quasi-monopole



شکل ۹. الگوی تابش مؤلفه Eθ

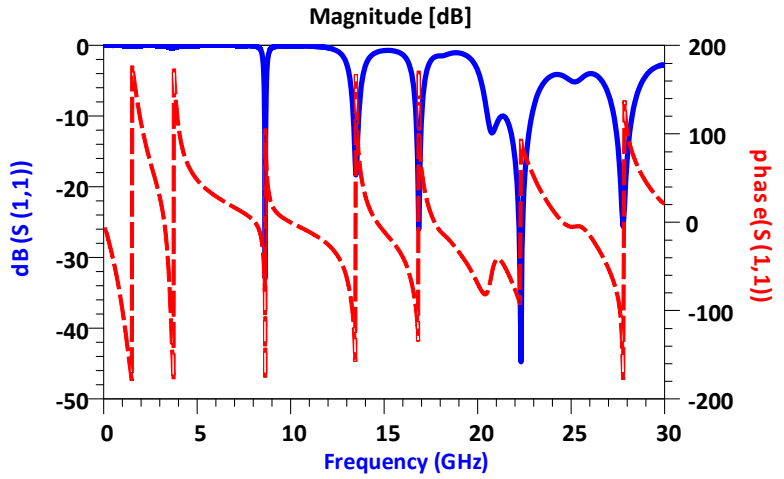


شکل ۱۰. الگوی تابش مؤلفه Eϕ



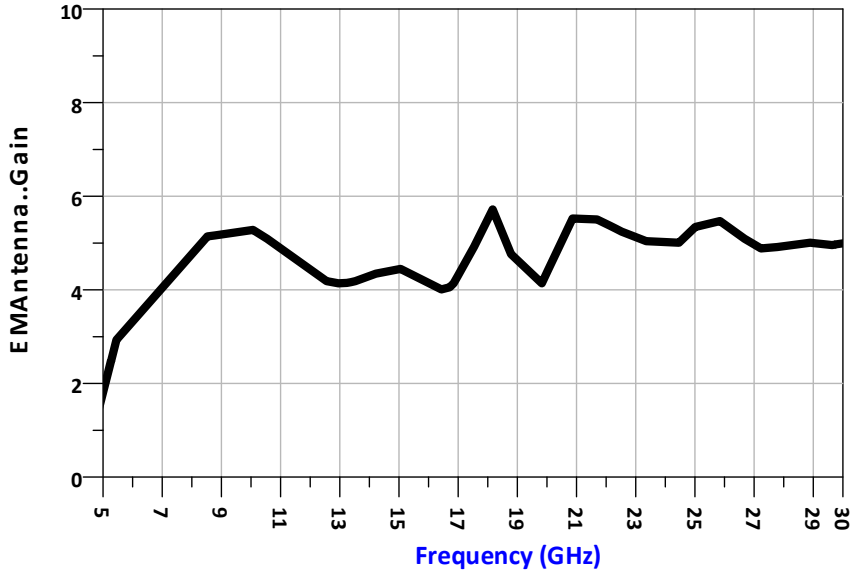
شکل ۱۱. الگوی تابش مؤلفه‌ی متقاطع Ecross

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.

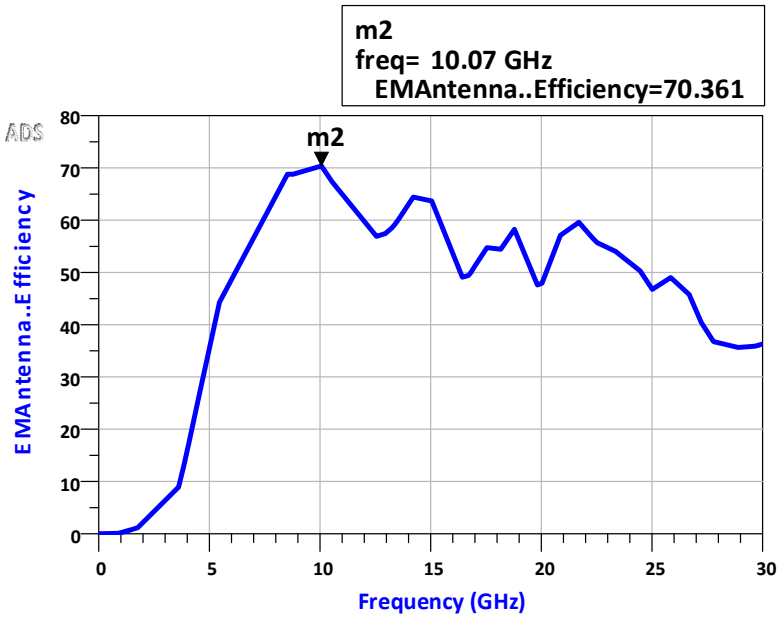
شکل ۱۳، تغییرات بهره[1] آنتن را در مقابل فرکانس نشان می‌دهد. مقدار بهره در باندهای مختلف بین ۳/۲ تا ۶/۸ dBi تغییر کرده و میانگین بهره در محدوده‌ی ۸ تا ۲۶ گیگاهرتز برابر با حدود ۵ dBi است.



شکل ۱۳. تغییرات بهره آنتن بر حسب فرکانس.

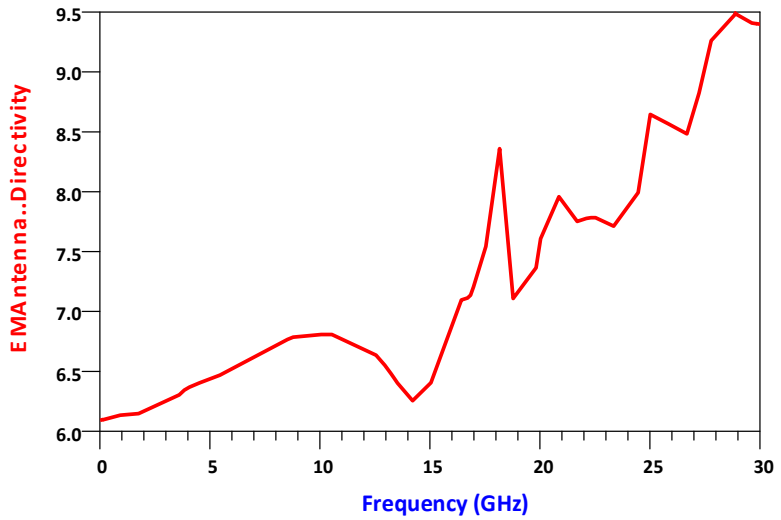
شکل ۱۴، راندمان[2] آنتن را نمایش می‌دهد که مقدار آن در فرکانس ۱۰/۰۷ GHz برابر با ۷۰/۳۶٪ است. به‌طور کلی، راندمان در کل باند کاری بالاتر از ۶۰٪ حفظ شده است.

1. gain
2. efficiency



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

در شکل ۱۵، نیز تغییرات جهت‌داری[1] 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

1. directivity

در قسمت پایین ساختار افزوده شد که علاوه‌بر بهبود تطبیق امپدانسی، موجب افزایش عمق ضرایب تلفات بازگشتی و پهن‌تر شدن پهنای باند مؤثر شد. نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که آنتن نهایی در چند باند عملیاتی ازجمله 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 به‌دست آمد. الگوهای تابش سه‌بُعدی 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 چندباندە، 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 به‌راحتی فراهم می‌سازد.

منابع

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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(2-3):247-56.
5. 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.
6. Vishalkumar L, Sandip K, Kashyap SS. Design of planar microstrip patch antenna for GPS application. Eur J Acad Essays. 2015;2(3):32-6.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Paul S, Rana S, Azad AR, Nandi D, Mohan A. Compact planar UWB microstrip antenna with independently controllable dual notch bands. ETRI J. 2025.
13. 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 ماکرواستریپی مسطح با تلفات بازگشتی بالا برای کاربرد بی‌سیم در مهندسی پزشکی. *فصلنامه پیشرفت‌های مهندسی در حوزه‌ی پزشکی و مواد*، ۲(۱)، ۵۷-۶۸.

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