

Vol. 11/ No. 44/Summer 2022

# Circular Polarized Multi-Band Comb Antenna for Wireless and IoT Applications

Reza Khajeh mohammadlou, Assistant Professor <sup>1,4</sup>  | Tohid Aribi, Assistant Professor <sup>2,4</sup>  | Tohid Sedghi, Assistant Professor <sup>3,4</sup> 

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Miandoab Branch, Islamic Azad University, Miandoab, Iran, Reza.mohamadlou63@gmail.com

<sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, Miandoab Branch, Islamic Azad University, Miandoab, Iran, tohidaribi@gmail.com

<sup>3</sup>Department of Electrical Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran t.sedghi@iaurmia.ac.ir

<sup>4</sup>Microwave and antenna research center, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran

#### Correspondence

Tohid Aribi, Assistant Professor of Department of Electrical Engineering, Miandoab Branch, Islamic Azad University, Miandoab, Iran  
Microwave and antenna research center, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran  
Email: tohidaribi@gmail.com

**Received:** 17 February 2022

**Revised:** 10 March 2022

**Accepted:** 23 April 2022

## Abstract

In this research, a new multi-band microporous antenna with circular polarization is introduced for mobile and IoT applications. The applied frequency bands are covered simultaneously by the mentioned antenna, which are WLAN (2400 to 2484 MHz), WiMAX (IEEE 802.16e) 2500 to 2600 MHz, IoT (2400 to 2480 MHz with IEEE 802.11ax standard, WLAN (5150 to 5825 MHz) which is called IEEE802.11ac standard. The antenna design process for accessing the desired frequency bands is performed step by step in the text of the article. Using the technique of facilitating the rotation of the current on the antenna, the excitation of two orthogonal modes is easily done and as a result, circular polarization is achieved. On the other hand, the circular polarization property is achieved in almost all the applied bands, which is considered as a significant advantage for this radiation system. The overall dimensions of the antenna are  $0.8 \times 34 \times 23$  mm<sup>3</sup>, which is fabricated on the FR4 substrate with a relative dielectric constant of 4.4 and a loss tangent of 0.024. In order to validate the design process, the structure is constructed and tested and measured. The extracted results show that the antenna has a directional radiation pattern and a good gain in the desired frequency bands .

**Keywords:** Antenna, Circular polarization, Multi-band, IoT.

## Highlights

- Compact antenna design with relatively small dimensions for multi-band applications
- Realization of the required standard for IoT in both operational bands
- Simultaneous realization of circular polarization in both bands

**Citation:** R. Khajeh Mohammad Lou, T. aribi, and T. Sedghi, "Circular polarized multi-band Comb antenna for wireless and IoT applications," *Journal of Communication Engineering (JCE)*, vol. 11, no. 44, pp. 31–38, 2022, (in Persian).

## آنتن چندباندنه شانه ای با قطبی شدگی دایروی برای کاربردهای مخابرات بی سیم و اینترنت اشیا

رضا خواجه محمد لو<sup>۱</sup> | میرتوحید اریبی<sup>۲</sup> | توحید صدقی<sup>۳</sup>

### چکیده:

در این پژوهش، نمونه جدیدی از آنتن ریزنوار چندباندنه با قطبی شدگی دایروی برای کاربردهای موبایل و اینترنت اشیا معرفی می‌شود. باندهای فرکانسی کاربردی به‌طور هم‌زمان و قابل قبولی توسط آنتن اشاره شده تحت پوشش قرار می‌گیرند که عبارت‌اند از (WLAN ۲۴۰۰ تا ۲۴۸۴ مگاهرتز) (IEEE 802.16e WiMAX ۲۵۰۰ تا ۲۶۰۰ مگاهرتز، اینترنت اشیا (IoT) ۲۴۰۰ تا ۲۴۸۰ مگاهرتز با استاندارد IEEE 802.11ax WLAN ۵۱۵۰ تا ۵۸۲۵ مگاهرتز) که استاندارد IEEE802.11ac نام‌گذاری می‌گردد. فرایند طراحی آنتن برای دسترسی به باندهای فرکانسی موردنظر به‌صورت مرحله‌به‌مرحله در متن مقاله اشاره شده است انجام می‌پذیرد. با استفاده از تکنیک تسهیل چرخش جریان روی آنتن، تحریک دو مود متعامد به‌راحتی صورت گرفته و در نتیجه قطبی شدگی دایروی محقق می‌شود. از سوی دیگر تقریباً در کل باندهای کاربردی موردنظر خصیصه قطبی-شدگی دایروی محقق می‌شود که به‌عنوان یک مزیت قابل توجه برای این سیستم تشعشی محسوب می‌شود. ابعاد کلی آنتن موردنظر  $۰/۸ \times ۳۴ \times ۲۳$  میلی‌متر مکعب بوده که روی زیر لایه FR4 با ضریب نسبی دی‌الکتریک  $۴/۴$  و تانژانت تلفات  $۰/۰۲۴$  محقق می‌شود. به‌منظور تصدیق فرایند طراحی، ساختار موردنظر ساخته شده و مورد آزمودن و اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. نتایج استخراج شده نشان می‌دهد که آنتن موردنظر دارای الگوی تشعشی همه جهت و بهره مناسبی در باندهای فرکانسی موردنظر است.

کلید واژه‌ها: آنتن، قطبی شدگی دایروی، چندباندنه، اینترنت اشیا

<sup>۱</sup>گروه برق، واحد میان‌دوآب، دانشگاه آزاد اسلامی، میان‌دوآب، ایران، reza.mohammadlou63@gmail.com

<sup>۲</sup>گروه برق، واحد میان‌دوآب، دانشگاه آزاد اسلامی، میان‌دوآب، ایران، tohidaribi@gmail.com

<sup>۳</sup>گروه برق، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران، sedghi.tohid@gmail.com

<sup>۴</sup>مرکز تحقیقات مایکروویو و آنتن، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

نویسنده مسئول

\*میرتوحید اریبی، استادیار، گروه برق، واحد میان‌دوآب، دانشگاه آزاد اسلامی، میان‌دوآب، ایران  
مرکز تحقیقات مایکروویو و آنتن، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران  
tohidaribi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۲۸ بهمن ۱۴۰۰

تاریخ بازنگری: ۱۹ اسفند ۱۴۰۰

تاریخ پذیرش: ۳ اردیبهشت ۱۴۰۱

### ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر نیاز به مخابرات بی‌سیم با نرخ بیت بالا به‌طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. نیاز به داشتن پهنای باند مناسب در لایه فیزیکی در سیستم‌های موبایل از اهمیت بسزایی برخوردار است، که این امر نیاز به سیستم‌های چند باند فشرده و کاربردی را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد [۱]. از سوی دیگر با توجه به رشد و توسعه فناوری اینترنت مبتنی بر اشیا در نیازهای امروزی و صنعت طراحی و ساخت ماژول‌های فشرده به‌منظور عملکرد در این زمینه را مورد توجه طراحان سیستم‌های تشعشی قرار داده است. چالش مهم در خصوص طراحی و توسعه سیستم‌های چند باند داشتن سبک‌ساز پایین و هزینه ساخت کم است. بنابراین فشرده‌سازی مهم‌ترین هدف طراح برای دسترسی به سیستم‌های موبایل است. آنتن‌های چند باند انتظار می‌رود که پهنای باند مؤثر بهره قابل قبول و الگوهای تشعشی مناسب رادار باندهای فرکانسی موردنظر داشته باشد. آنتن‌های تک‌قطبی ریزنوار به‌عنوان یکی از بهترین گزینه‌ها به دلیل خصوصیات ذاتی‌شان از قبیل حجم پایین و هزینه ساخت کم تطابق‌پذیری با مدارات مجتمع

بوده و به طور وسیعی مورد توجه قرار می‌گیرند [۲-۴]. بسیاری از آنتن‌های چند بانده از قبیل آنتن شکل F وارونه، شکافدار و آنتن صفحه‌ای با ساختارهای فرکتال برای کاربردهای موبایل و شبکه‌های بی‌سیم محلی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نقایص آنتن‌های ذکر شده، داشتن ابعاد نسبتاً حجیم به منظور تحقق باندهای فرکانسی مورد نظر است. روش‌های مرسوم طراحی سیستم‌های چند بانده در حالت کلی عبارت‌اند از [۵-۶]:

۱- تحقق چند مسیر جریان با طول‌های متفاوت

۲- استفاده از عناصر پارازیتیک

۳- ترکیبی از دو روش قبل

با این حال روش‌های ذکر شده هم منجر به افزایش اندازه فیزیکی آنتن، رزونانس‌های ناخواسته و الگوهای تشعشی نامطلوب از عناصر پارازیتیک است. در این مقاله نمونه کوچکی از آنتن تک‌قطبی قطبش دایروی معرفی شده است. باندهای فرکانسی مورد نظر از طریق تغییر شکل روزناتور آنتن و تنظیم ابعاد آن با مطالعه پارامتری بدست می‌آید. استفاده از دو حلقه مشدد شکافته روی زمین منجر به تحریک بانده دوم خواهد شد. آنتن مورد نظر باندهای فرکانسی زیر را پوشش می‌دهد، ۲/۴ گیگاهرتز شبکه بی‌سیم محلی و اینترنت اشیا که با استاندارد IEEE802.11b/g و IEEE 802.11ax و WiMAX IEEE802.16e و شبکه بی‌سیم محلی IEEE802.11ac. همانطور که در شکل‌ها نشان داده شده است، قطبی‌شدگی دایروی در این باندهای کاربردی محقق می‌گردد. نتایج استخراجی از ساختار مورد نظر نشان می‌دهد که این آنتن دارای عملکرد قابل قبولی برای کاربردهای مورد نظر بوده و از لحاظ فیزیکی دارای اندازه نسبتاً کمتری نسبت به کارهای قبلی است [۷-۹]. در طول دهه گذشته، ساختارهای مبتنی بر کاربرد اینترنت اشیا به طور چشمگیری تکامل یافته‌اند، نیاز اصلی این امر کوچکتر شدن اندازه فیزیکی با پوشش فناوری‌های بی‌سیم پیشرفته است. این پیشرفت‌ها تأثیر زیادی روی تکامل فناوری‌های طراحی آنتن‌های IoT گذاشته و منجر به معرفی ساختارهای تشعشی فشرده‌تری شده است. به همین دلیل طراحی ساختارهای پوشش دهنده اینترنت اشیا به یک نیاز تبدیل شده و به عنوان یک چالش مهم در توسعه آنتن‌ها محسوب می‌شود [۱۰]. از سوی دیگر، قطبی‌شدگی یکی دیگر از پارامترهای مهم تعیین عملکرد سیستم‌های مخابراتی است به نحوی که عدم تطبیق قطبش منجر به نقص‌هایی چون محوشدگی چندمسیره و تأثیرات مخرب تداخل خواهد شد. عدم تطابق قطبی‌شدگی و تأثیر انعکاس‌های چندمسیری منجر به تغییر قطبی‌شدگی از حالت چپ‌گرد به راست‌گرد و بالعکس خواهد شد. اگر هر دو آنتن در طرف فرستنده و گیرنده دارای خصیصه قطبی‌شدگی دایروی باشند ایرادهای مذکور چالش طراحی محسوب نخواهند شد. آنتن‌های ریزنوار مسطح با قطبی‌شدگی دایروی و ابعاد کم برای سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم مناسب و مورد نیاز است. در این سیستم‌ها این خصیصه با روش‌های مختلفی بدست می‌آید، که اغلب آنها از تحریک دو مود متعامد به روش‌های زیر حاصل می‌شود [۱۱]:

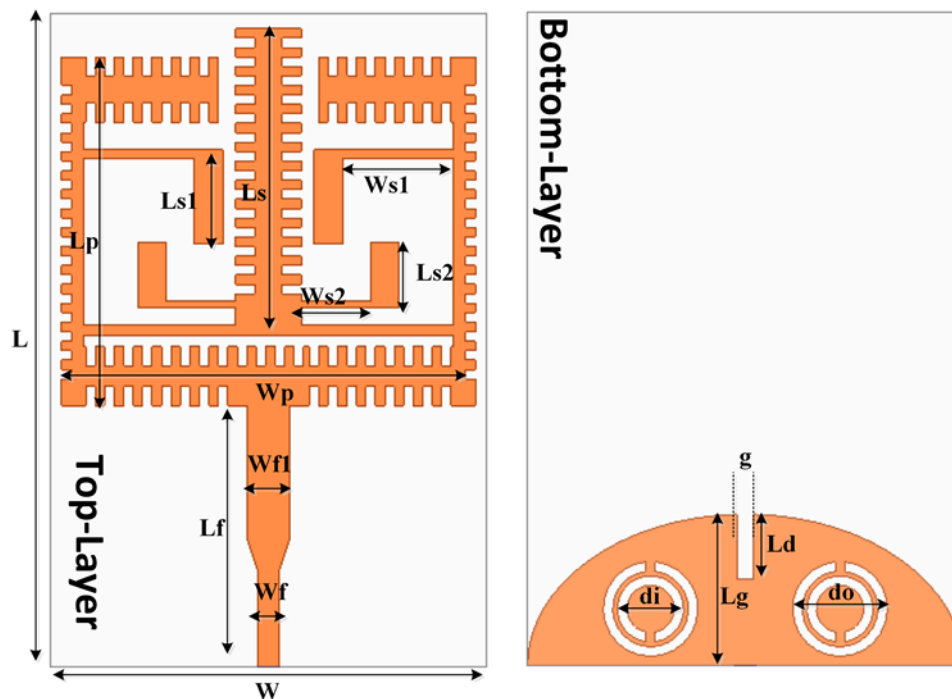
۱- اعمال زائده T شکل عمود بر خط تغذیه موجبر هم‌صفحه

۲- استفاده از زائده‌های L شکل در گوشه زمین آنتن شکافدار

۳- اعمال شکاف‌هایی در صفحه زمین انتخاب نوع و اندازه قلم

## ۲- هندسه آنتن

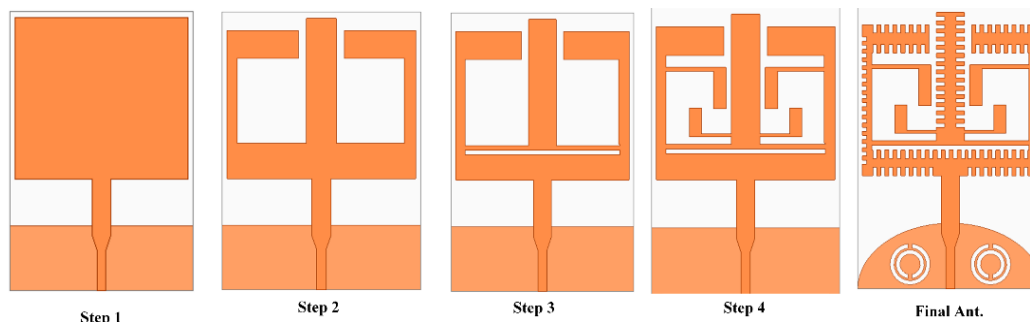
هندسه آنتن پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. این آنتن شامل یک جفت زائده شانه‌ای L شکل، یک زائده شانه‌ای در امتداد خط تغذیه، دو جفت زائده ساده L شکل متصل به زائده‌های قبلی، یک خط تغذیه تطبیق شده با روش زاویه‌دهی کناره‌ای ریزنوار در لایه بالایی و یک جفت حلقه مشدد فرکانسی با یک زائده روی صفحه زمین ناقص (لایه پایین) است.



شکل ۱: طرح آنتن پیشنهادی در دو لایه بالا و پایین

آنتن مورد نظر روی زیر لایه FR4 با ضریب نسبی  $4/4$  و تانژانت تلفات  $0.024$  و ضخامت  $0.8$  میلی متر ساخته شده است. خط تغذیه برای امپدانس مشخصه  $50$  اهم طراحی شده است. ابعاد فیزیکی آنتن  $34 \times 23 \times 0.8$  میلی متر مکعب است. فرایند طراحی المان در شکل ۲ در ۵ مرحله به شرح ذیل است:

گام اول ( آنتن با رزوناتور مربعی با خط تغذیه اصلاح شده و زمین مستطیلی  
گام دوم ) به منظور تطبیق فرکانسی بهتر و تنظیم باند اول دو زائده مستطیلی از آنتن قبلی به صورت عمودی جدا می شود.  
گام سوم) در این مرحله یک زائده مستطیلی نواری کوچک به صورت افقی عمود بر محور خط تغذیه از آنتن جدا می شود.  
گام چهارم ) در این مرحله دو جفت زائده L شکل معکوس به تنه اصلی آنتن به منظور کنترل باند فرکانسی بالا اضافه شده است.  
گام پنجم ) رزوناتور تشعشی آنتن به حالت شانه ای تبدیل شده و علاوه بر اصلاح زمین ناقص به فرم نیم دایره یک جفت حلقه مشدد فرکانسی به منظور تنظیم دقیق باند فرکانسی بالا و قراردادن فرکانس تشدید در باندهای کاربردی مورد نظر اعمال شده است.



شکل ۲: مراحل طراحی پله به پله ساختار نهایی آنتن

شکل ۳ منحنی افت برگشتی آنتن مورد نظر را برای تمامی مراحل قبل، نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، با تکمیل فرآیند طراحی علاوه بر قوی شدن رزونانس باند اول، باند فرکانسی دوم نیز در محدوده کاربردی قرار می‌گیرد. داده‌های فیزیکی آنتن که از مطالعه پارامتریک بدست می‌آیند، به شرح ذیل هستند: (تمامی ابعاد بر حسب میلی‌متر هستند)

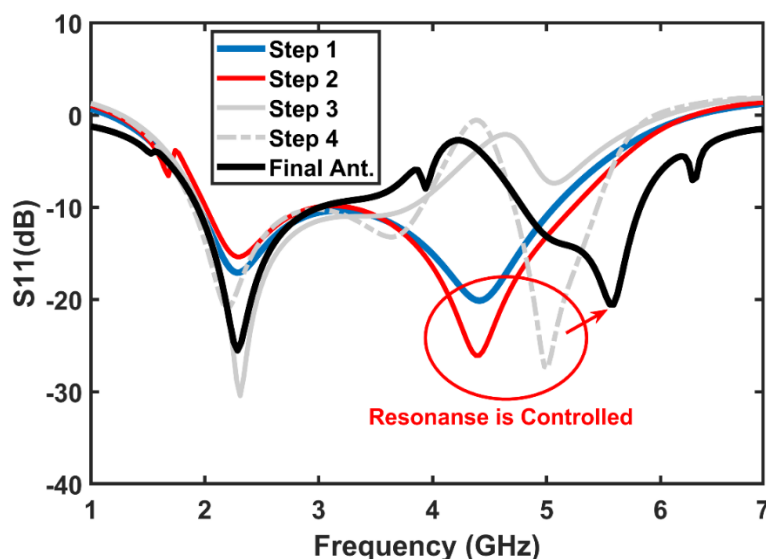
جدول ۱: ابعاد کلی آنتن پیشنهادی

W	L	W <sub>f</sub>	W <sub>fl</sub>	L <sub>f</sub>	W <sub>p</sub>	L <sub>p</sub>	L <sub>s</sub>	W <sub>s1</sub>
۲۳	۳۴	۱/۱	۲/۳	۱۳/۸	۲۱/۸	۱۸/۵	۱۵/۶	۵/۸
W <sub>s2</sub>	L <sub>s1</sub>	L <sub>s2</sub>	G	L <sub>d</sub>	D <sub>o</sub>	D <sub>i</sub>	L <sub>g</sub>	
۳/۷	۴/۵	۳/۴۵	۰/۸۶	۳/۴	۵	۳/۵	۸	

### ۳- بحث و بررسی آنتن

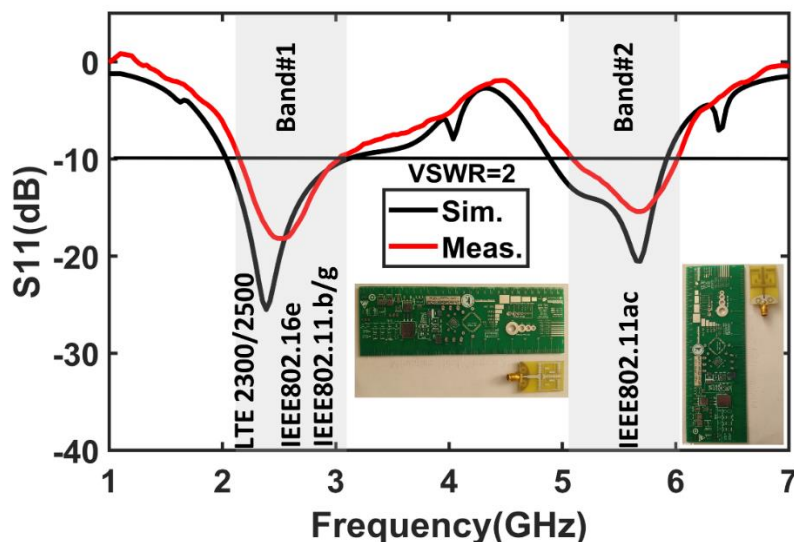
در این بخش، آنتن تک‌قطبی مورد نظر ساخته شده و به منظور تصدیق عملکرد آن در آزمایشگاه آنتن و مایکروویو دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارومیه، مورد تست و ارزیابی قرار گرفته است.

شکل ۴ منحنی شبیه‌سازی و تست آنتن مورد نظر را در محدوده فرکانسی ۱ تا ۷ گیگاهرتز نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، پهنای باند فرکانسی آنتن در دو بازه ۲/۱ تا ۳/۱ گیگاهرتز و ۵/۱ تا ۶ گیگاهرتز برای معیار افت بازگشتی کمتر مساوی ۲ است.



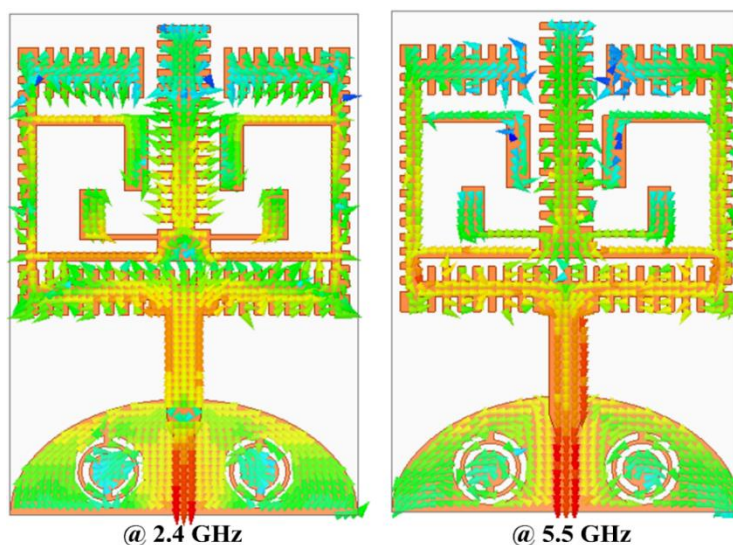
شکل ۳: منحنی‌های افت برگشتی برای آنتن‌های مورد نظر

لازم به ذکر است استانداردهای باندهای کاربردی IEEE802.11b/g، IEEE802.16e، LTE2300/2500 و IEEE802.11ax در بازه فرکانسی اول و محدوده فرکانسی IEEE802.11ac در محدوده دوم محقق می‌گردد. اختلاف اندکی در جواب‌ها ممکن است به دلیل خاصیت پراکندگی زیرلایه غیرایده‌ال و لحیم‌کاری کانکتور تغذیه است. ضمناً نمونه ساخته شده آنتن در دو حالت پشت و روبرو در شکل ۴ قابل مشاهده است.

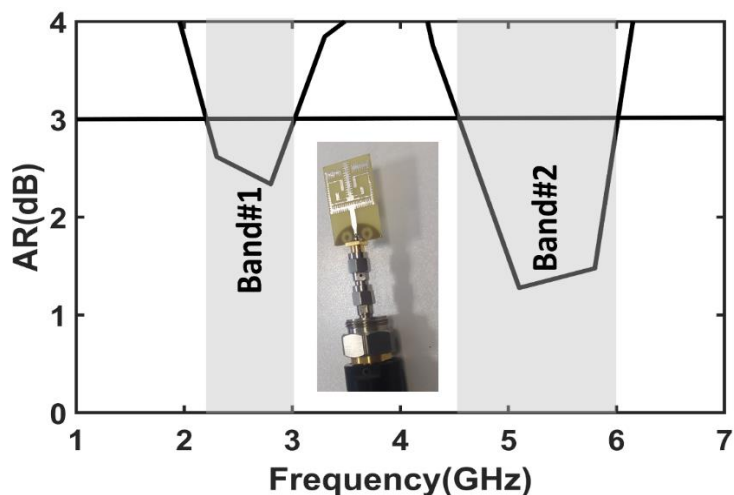


شکل ۴: منحنی افت برگشتی آنتن برای دو حالت شبیه‌سازی و تست و نمونه ساخته‌شده

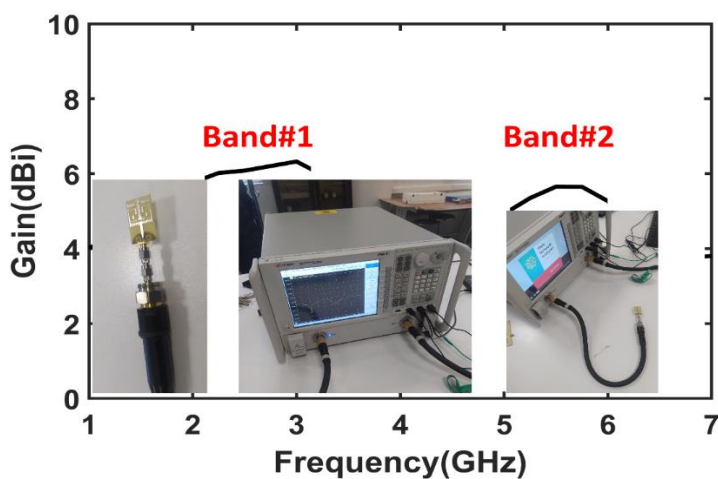
شکل ۵ منحنی توزیع جریان سطحی آنتن مورد نظر را در دو فرکانس  $2/4$  و  $5/5$  گیگاهرتز نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، در باند اول بازوهای کناری متصل شده به رزوناتور و در باند دوم حلقه‌های مشدد در صفحه زمین تاثیر به‌سزایی دارد. در این شکل رنگ قرمز نشان از بالا بودن شدت جریان است و با کاهش شدت جریان رنگ‌ها به سمت سبز روشن و زرد متمایل می‌شوند. شکل ۶ منحنی نسبت محوری آنتن را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، در بازه فرکانسی ۲ تا ۳ گیگاهرتز با پهنای باند نسبی  $46\%$  و بازه فرکانسی  $4/8$  تا  $6$  گیگاهرتز با پهنای باند نسبی  $23\%$  قطبی‌شدگی دایروی محقق خواهد شد. منحنی تغییرات بهره در باندهای مورد نظر در شکل ۷ نشان داده شده است، آنتن پیشنهادی دارای بهره مناسبی در این محدوده‌های فرکانسی است. در شکل ۸ منحنی تغییرات الگوی تشعشعی آنتن را در دو فرکانس  $2/4$  و  $5/5$  گیگاهرتز در دو صفحه میدان‌های الکتریکی (E) و مغناطیسی (H) نشان داده شده است. آنتن نهایی دارای الگوی همه جهتی را در صفحه H و الگوی پروانه‌ای دوجبهته در صفحه E در فرکانس‌های مورد نظر است. افت زیرلایه و عدم همگن بودن آن دلیل عدم تقارن کم الگوهای تشعشعی است. در جدول ۲ مقایسه کار پیشنهادی با مقاله‌های گزارش شده قبلی آورده شده است. آنتن پیشنهادی به دلیل اینکه در هر دو باند دارای قطبی‌شدگی دایروی است برتری نسبی به سایر کارهای تحقیقاتی دارد.



شکل ۵: نحوه توزیع جریان سطحی در دو فرکانس کاربردی  $2/4$  گیگاهرتز و  $5/5$  گیگاهرتز



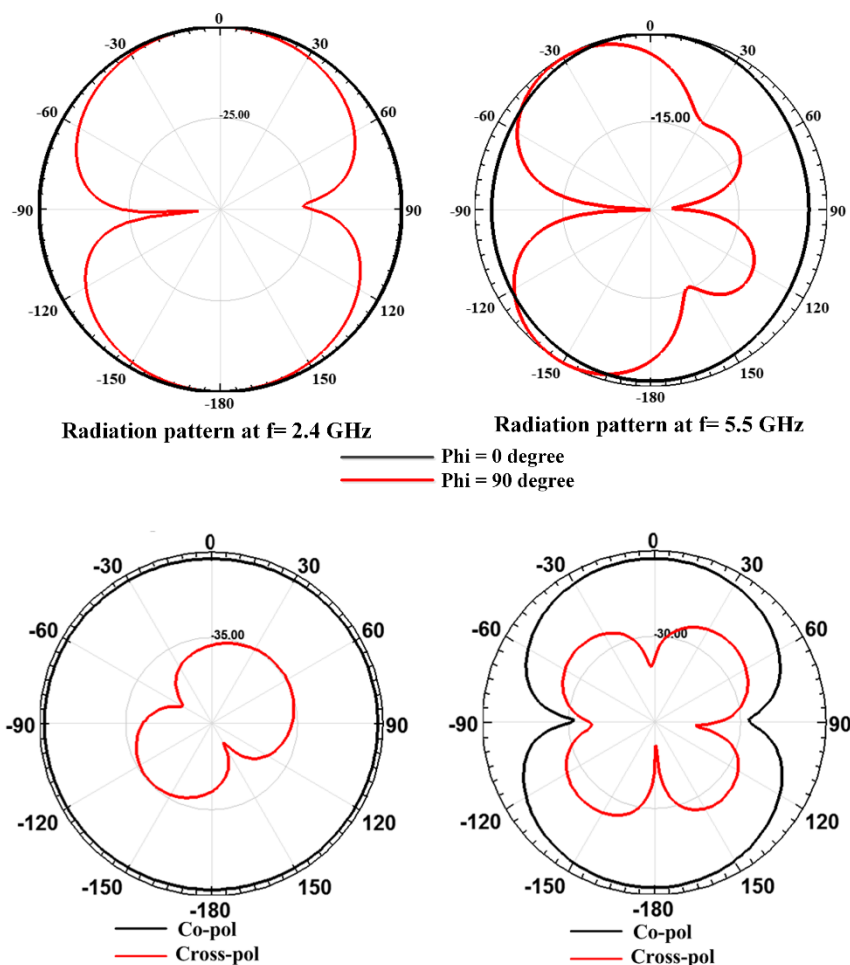
شکل ۶: منحنی نسبت محوری آنتن



شکل ۷: منحنی تغییرات بهره آنتن

جدول ۲: مقایسه کارپیشنهادی با مقاله‌های گزارش شده قبلی

میانگین بیشینه بهره [دسیبل]	خاصیت قطبی‌شدگی دایروی در تمامی باند کاربردی	تعداد باند کاربردی	زیرلایه	ابعاد میلی‌متر مکعب	مراجع
۳	×	۲	FR4	۱×۲۵×۲۵	مرجع ۱
۳	×	۴	FR4	۰/۸×۱۰×۱۵	مرجع ۸
۶	✓	۴	FR4	۰/۸×۳۴×۲۳	کارپیشنهادی



شکل ۸: الگوهای تشعشعی آنتن در دو فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز و ۵/۵ گیگاهرتز

#### ۴- نتیجه گیری

این مقاله، یک الگوی جدیدی از ساختار تک قطبی ریزنوار را که همزمان باندهای فرکانسی کاربردی را پوشش می دهد، معرفی می کند. ساختار کلی آنتن شامل رزوناتور شانه ای با زائده های L شکل وارونه و حلقه های مشدد است. تاثیر هرکدام از این قسمت ها به صورت مجزا در عملکرد کلی آنتن مورد بررسی قرار گرفت. آنتن از لحاظ اندازه فیزیکی دارای ابعاد نسبی فشرده ای بوده و گزینه مناسبی برای کاربردهای موبایل و اینترنت اشیا است. تطابق قابل قبولی میان نتایج اندازه گیری شده و شبیه سازی شده وجود دارد.

#### مراجع

- [1] T. Sedghi, T. Aribi, A. Kalami, "WiMAX and C bands semi-fractal circularly polarized antenna with satellite bands filtering properties," *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, Vol. 10, No. 8, November 2018, doi:10.1017/S1759078718000673.
- [2] T. Aribi, M. Naser-Moghadasi, R.A. Sadeghzadeh, "Circularly polarized beam-steering antenna array with enhanced characteristics using UCEBG structure," *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, Vol. 8, No.6, September 2016, doi:10.1017/S1759078715000318.
- [3] MM. Maleki, T. Aribi, A. Shadmand, "Implementation of a Miniaturized Planar 4-Port Microstrip Butler Matrix for Broadband Applications," *Journal of Communication Engineering*, vol 9, no.1, January 2020, doi:10.22070/jce.2020.5295.1154



- [4] T. Sedghi, "Compact fractal antenna for WiMAX 1.4 GHz and IEEE 802.11a using double branch line," *Journal of Instrumentation*, vol. 13, no. 9, pp. 1-10, September 2018, doi: 10.1088/1748-0221/13/09/p09021.
- [5] T. Sedghi, "Compact Unit-cell based Semi-Fractal Antenna with filtering properties of interference Bands Embedded with CBP Strips," *IETE Journal of Research*, vol. 65, no. 6, pp. 790-795, November, 2019, doi:10.1080/03772063.2018.1464973.
- [6] T. Sedghichongaralouye-Yekan, M. Naser-Moghadasi, and R. A. Sadeghzadeh, "Broadband Circularly Polarized 2×2 Antenna Array with Sequentially Rotated Feed Network for C-Band Application," *Wireless Personal Communications*, vol. 91, no. 2, pp. 653-660, November, 2016, doi:10.1007/s11277-016-3485-4.
- [7] M. Naser-Moghadasi, and T. Sedghichongaralouye-Yekan, "Semifractal antenna with dualbands filtering and circular polarization properties using SCBP and MDGS structures," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 57, no. 11, pp. 2483-2487, November, 2015, doi: 10.1002/mop.29372.
- [8] S. Rezaee, Y. Zehforoosh, "Design of a Planar Multiband Antenna Using Metamaterials," *Journal of communication of Engineering*, vol.11, no. 43, pp. 15-26, 2022(in persian).
- [9] ZZ. A. Darabi, S. S. Tehrani, "Design and Simulation a New Dual Band Dipole Antenna for RFID Tags," *Journal of communication Engineering*, vol.9, no. 35, pp. 69-76, 2021(in Persian).
- [10] FF. Heidari, Z. Adelpoure, N. Parhizgar, "Simulation of Leaky Wave Antenna with Cosecant Squared Pattern Using Genetic Algorithm," *Journal of communication Engineering*, vol.11, no. 42, pp. 69-76, 2022(in Persian).
- [11] M. Jalali, T. Sedghi, "Circularly Polarized MIMO Antenna Array with Enhanced Characteristics using EBG structure," *ELECTRONIC INDUSTRIES*, Vol, 10, no.2, August 2019.