

Multi-Input Multi-Output Compact Antenna with One-Way Circular Polarization for WiMAX 3.5 and ITU-R Applications

Mir Tohid Aribi¹ 

¹Department of Electrical Engineering,
Miy.C., Islamic Azad University, Miyandoab,
Iran.
tohid.aribi@iau.ac.ir

Correspondence

Tohid Aribi, Assistant Professor of Electrical
Engineering, Miy.C., Islamic Azad
University, Miyandoab, Iran.
tohid.aribi@iau.ac.ir

Main Subjects:
Antenna Design

Paper History:

Received: 8 August 2024

Revised: 17 August 2024

Accepted: 26 August 2024

Abstract

In this research, a compact multi-layer microstrip antenna for Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) systems with dual-band circular polarization capability has been designed, simulated, and fabricated. The antenna structure employs separate coupling networks for each frequency band, each comprising a hairpin resonator, a straight slot, and a U-shaped groove. This configuration enables the establishment of two signal paths with the requisite phase difference to feed the patch. By applying a $\pm 90^\circ$ phase shift, the antenna achieves dual-band circular polarization operation. The principal innovation of this work is the implementation of a multi-layer feeding network that ensures an axial ratio below 3 dB, achieved through the combined action of the straight slot and U-shaped groove to excite a circular polarization resonance mode. The antenna exhibits right-hand and left-hand circular polarization characteristics in different frequency bands. Simulation and experimental results validate the antenna's performance, demonstrating impedance bandwidths of 3.0–4.2 GHz and 5.5–6.6 GHz, with near-complete circular polarization coverage across the first band. The gain response increases linearly with frequency, achieving an average value of 5 dB.

Keywords: Antenna, Dual-band, Circular polarization, Multi-Input Multi-Output.

Highlights

- Enhanced system efficiency across dual frequency bands.
- Improved axial ratio via novel U-slot/straight-slot hybrid feed.
- Compact MIMO antenna with dual-band circular polarization.

Citation: M.T. Aribi, "Multi-Input Multi-Output Compact Antenna with One-Way Circular Polarization for WiMAX 3.5 and ITU-R Applications," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol. 15, no. 57, pp. 15–27, 2025, doi:10.71656/jce.2025.1128536 [in Persian].

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by the Islamic Azad University Bushehr Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



1. Introduction

In the era of rapid technological advancement, wireless communication systems have undergone significant transformation, encompassing applications from satellite systems and local wireless networks to the Internet of Things (IoT). These developments have underscored the need for antennas with specialized capabilities. Slot-fed microstrip antennas, renowned for their stable radiation characteristics and wide bandwidth, have emerged as ideal candidates for supporting a diverse range of wireless communication systems.

Such antennas must not only be compact but also deliver optimal performance in terms of bandwidth and gain, complying with IEEE standards. A critical feature in contemporary antenna design is the ability to achieve circular polarization, which offers superior resistance to multipath fading and markedly improves communication quality. Additional benefits of circular polarization include robustness against adverse weather conditions and reduced sensitivity to transmitter-receiver orientation.

A major design challenge lies in integrating these characteristics into compact, planar structures that can be seamlessly combined with active components. Printed antennas employing varied feeding techniques and configurations are widely regarded as the most promising solution for meeting the demands of high-frequency systems.

Designing MIMO antennas capable of covering multiple frequency bands with satisfactory radiation performance presents a considerable challenge in antenna engineering. These antennas must demonstrate adequate impedance bandwidth, effective axial ratio, desirable gain, and optimal radiation patterns across their operational bands.

2. Innovation and contributions

In this paper, a novel MIMO antenna structure is proposed. The design significantly enhances system efficiency by optimizing performance across both operational frequency bands. A hybrid feeding structure combining U-slot and straight-slot elements is introduced to improve the axial ratio, ensuring high-quality circular polarization. The compact MIMO antenna achieves dual-band circular polarization, making it well-suited for modern wireless applications that demand miniaturization and multi-band operation.

3. Materials and Methods

The U-shaped groove serves a dual purpose, functioning both as a coupling structure and as a single-mode resonator, delivering a resonant frequency comparable to that of a circular resonator. For the directly fed patch antenna, the circle radius is set at 12 mm in accordance with cavity antenna theory, ensuring operation at a single resonant frequency. In contrast, the U-slot and circular patch design employs a slot-coupled feed to establish coupling between the ground plane and the radiating patch. This approach not only enhances the radiation characteristics of the antenna but also introduces additional resonances, resulting in improved bandwidth.

Furthermore, duplexing and filtering capabilities are seamlessly incorporated into the dual-band patch antenna. The integration of these functions into a single device holds the potential to reduce the size, complexity, and manufacturing costs of wireless systems, offering a compact and efficient solution for modern communication applications.

4. Results and Discussion

To validate the antenna's performance, the multi-layer structure was fabricated and experimentally evaluated at the Antenna and Microwave Research Center of Islamic Azad University, Urmia Branch. The measured results demonstrate good agreement with simulations, confirming the correct functionality of the proposed design.

Figure I presents a comparison between the simulated and measured return loss (S_{11}) of the antenna. Minor discrepancies observed are primarily attributed to non-ideal connector effects and frequency-dependent substrate dispersion.

Figure II displays the measured axial ratio performance. The results confirm that circular polarization is maintained across the impedance bandwidth of 2.8–4.3 GHz, fully covering the first operational band. This consistent circular polarization across the entire band represents a key achievement of the design.

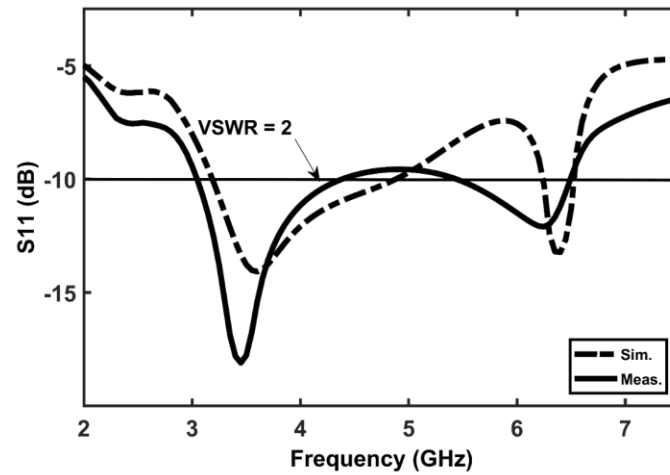


Figure I: Return Loss Curves of the Proposed Antenna in Both Simulated and Measured States.

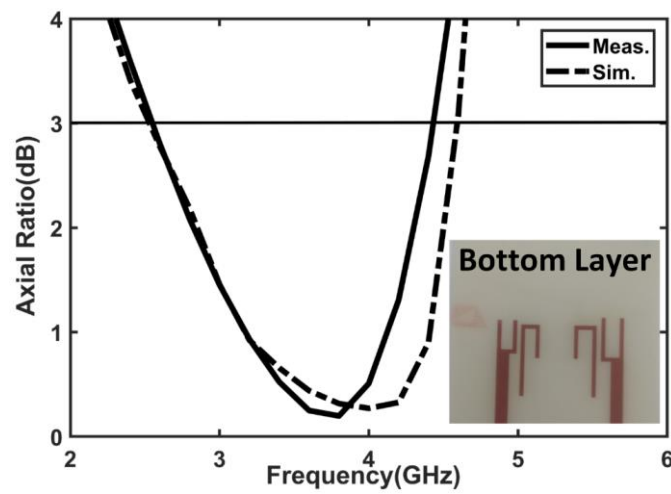


Figure II: Axial Ratio Curve of the Proposed Antenna

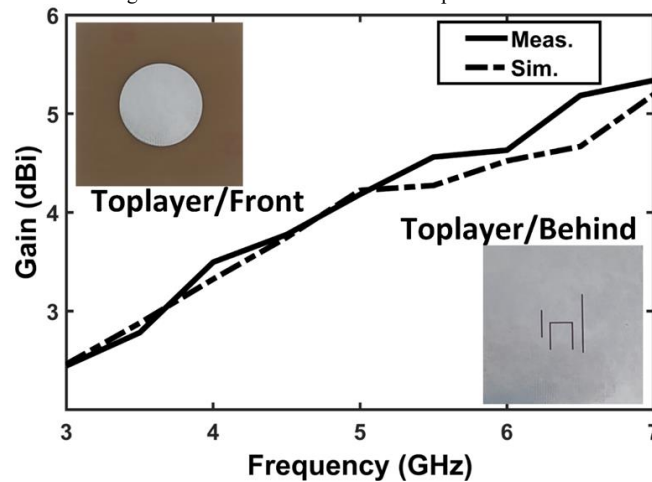


Figure III: Antenna Gain Variation Characteristics under Two Operational Conditions

The second resonator, configured as a hairpin, U-slot, and patch resonator, establishes a mutually coupled network. This configuration creates two distinct paths to deliver the input signal to the patch resonator, exciting two orthogonal modes. A 90-degree phase delay is incorporated to fulfill the theoretical requirements for exciting orthogonal modes, thereby enabling circular polarization.

Figure III illustrates the variation of antenna gain as a function of frequency. The gain demonstrates a quasi-linear increasing trend across the operational band.

5. Conclusion

This paper presents the design, simulation, and fabrication of a compact multi-layer microstrip MIMO antenna with dual-band circular polarization capability. The antenna structure employs separate coupling networks for each frequency band, each comprising a hairpin resonator, a straight slot, and a U-shaped groove. This configuration enables the generation of right-hand and left-hand circular polarization in distinct frequency bands. Simulation and experimental results validate the antenna's performance, demonstrating impedance bandwidths of 3.0–4.2 GHz and 5.5–6.6 GHz. Circular polarization is maintained across nearly the entire first band. The antenna gain exhibits a linearly increasing trend with frequency, achieving an average gain of 5 dB.

6. Acknowledgement

The authors extend their sincere gratitude to the Microwave and Antenna Research Center at Islamic Azad University, Urmia Branch, for their support in the measurement and validation of the device.

References

- [1] T. Sedghi, T. Aribi, and 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](https://doi.org/10.1017/S1759078718000673).
- [2] T. Aribi, M. Naser-Moghadasi, and 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](https://doi.org/10.1017/S1759078715000318).
- [3] MM. Maleki, T. Aribi, and A. Shadmand, "Implementation of a Miniaturized Planar 4-Port Microstrip Butler Matrix for Broadband Applications," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol 9, no.1, January 2020, doi: [10.22070/jce.2020.5295.1154](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1002/mop.29372).
- [8] S. Rezaee and Y. Zehforoosh, "Design of a Planar Multiband Antenna Using Metamaterials," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol.11, no. 43, pp. 15-26, 2022, doi: [10.30495/jce.2022.689028](https://doi.org/10.30495/jce.2022.689028), [in Persian].
- [9] ZZ. A. Darabi and S. S. Tehrani, "Design and Simulation a New Dual Band Dipole Antenna for RFID Tags," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol.9, no. 35, pp. 69-76, 2021 [in Persian].
- [10] FF. Heidari, Z. Adelpoure, and N. Parhizgar, "Simulation of Leaky Wave Antenna with Coscant Squared Pattern Using Genetic Algorithm," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol.11, no. 42, pp. 69-76, 2022 [in Persian].

Declaration of Competing Interest: The Author does not have a conflict of interest. The content of the paper is approved by the author.

Author Contributions: Mir Tohid Aribi: The entire article was done by him.

Open Access: Journal of Southern Communication Engineering is an open-access journal. All papers are immediately available to read and reuse upon publication.

آنتن فشرده چند ورودی-چند خروجی با قطبش دایروی یک‌سو برای کاربردهای WiMAX 3.5 و ITU-R

میر توحید اریبی 

چکیده:

در این پژوهش، یک آنتن ریز نوار چندلایه فشرده برای سیستم‌های چند ورودی-چند خروجی با قابلیت قطبش دایروی دوبانده طراحی، شبیه‌سازی و ساخته شده است. ساختار این آنتن از شبکه‌های تزویج مجزا برای هر باند فرکانسی بهره می‌برد. هر شبکه از اجزای ظریفی همچون تشدیدکننده سنجاق‌مانند، شکاف مستقیم و شیار U شکل تشکیل شده است. این طراحی امکان ایجاد دو مسیر با اختلاف فاز مناسب را برای اتصال سیگنال ورودی به تشعشع کننده را فراهم می‌آورد. با اعمال تغییر فاز ۹۰ درجه مثبت یا منفی، آنتن قابلیت عملکرد خطی در هر دو باند فرکانسی را به دست می‌آورد. نوآوری اصلی این پژوهش در ایجاد قطبش دایروی با استفاده از الگوی تغذیه چندلایه است که نسبت محوری کمتر از ۳ دسی‌بل را تضمین می‌کند. این مهم از طریق به‌کارگیری ترکیب شکاف مستقیم و شیار U برای تولید حالت تشدید قطبش دایروی محقق شده است. این آنتن قادر به تولید مشخصه‌های قطبش دایروی راست‌گرد و چپ‌گرد در باندهای مختلف است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها و آزمایش‌های عملی، عملکرد مطلوب این آنتن را تأیید می‌کنند. آنتن طراحی شده دارای پهنای باند امیدانسی در محدوده‌های ۳ تا ۴/۲ گیگاهرتز و ۵/۵ تا ۶/۶ گیگاهرتز است، و تقریباً در تمام باند فرکانسی اول، خصوصیت قطبش دایروی را محقق می‌سازد. منحنی بهره آنتن نیز یک روند افزایشی خطی را نشان می‌دهد که میانگین آن ۵ دسی‌بل است.

^۱گروه مهندسی برق، واحد میاندوآب، دانشگاه آزاد اسلامی، میاندوآب، ایران
tohid.aribi@iau.ac.ir

نویسنده مسئول

^{*}میرتوحیداریبی، استادیار گروه مهندسی برق، واحد میاندوآب، دانشگاه آزاد اسلامی، میاندوآب، ایران.
tohid.aribi@iau.ac.ir

موضوع اصلی:

طراحی آنتن

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۸ مرداد ۱۴۰۳

تاریخ بازنگری: ۲۷ مرداد ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۵ شهریور ۱۴۰۳

کلیدواژه‌ها: آنتن، دو بانده، قطبش دایروی، چند ورودی چند خروجی

تازه‌های تحقیق:

- افزایش کارایی سیستم در هر دو باند فرکانسی، همراه با الگوی تشعشعی بهینه‌شده
- بهبود نسبت محوری از طریق ترکیب نوآورانه شکاف مستقیم و شیار U شکل در ساختار تغذیه چندلایه آنتن
- طراحی آنتن چند ورودی چند خروجی فشرده با قابلیت قطبش دایروی در باندهای WiMAX و WLAN

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by the Islamic Azad University Bushehr Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



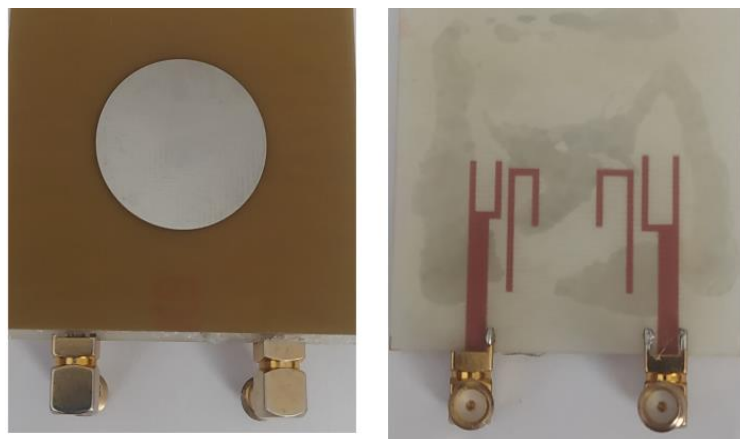
۱-مقدمه

در عصر پیشرفت فناوری‌های ارتباطی، شاهد تحولی شگرف در حوزه ارتباطات بی‌سیم هستیم. از سیستم‌های ناوبری ماهواره‌ای تا شبکه‌های محلی بی‌سیم، فناوری‌های فرا پهن باند و اینترنت اشیا، همگی در حال دگرگون ساختن شیوه‌های ارتباطی ما هستند. این پیشرفت‌ها، ضرورت طراحی و توسعه آنتن‌هایی با قابلیت‌های ویژه را بیش از پیش نمایان ساخته است. در این میان، آنتن‌های ریز نواری شکاف‌دار با خصوصیات تشعشعی پایدار و پهنای باند گسترده، به‌عنوان گزینه‌ای مطلوب برای پوشش سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم چندگانه مطرح شده‌اند. این آنتن‌ها، علاوه بر ابعاد فیزیکی کوچک، باید قادر به عملکرد مناسب در چارچوب استانداردهای IEEE از نظر پهنای باند فرکانسی و بهره باشند. یکی از ویژگی‌های کلیدی در طراحی آنتن‌های نوین، قابلیت ایجاد قطبش دایروی است. این نوع قطبش به دلیل توانایی در کاهش اثرات مخرب محوشدگی چندمسیره و بهبود چشمگیر کیفیت ارتباط، به انتخابی برتر در سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم بدل شده است. مزایای دیگر قطبش دایروی شامل مقاومت بالا در شرایط جوی نامساعد و عدم حساسیت به جهت‌گیری سیگنال بین فرستنده و گیرنده است. چالش اصلی پیش روی طراحان، ایجاد آنتن‌هایی با این مشخصات در ابعادی کوچک‌تر و ساختاری مسطح است که قابلیت یکپارچه‌سازی با عناصر فعال را داشته باشند. آنتن‌های چاپی با روش‌های تغذیه متنوع و ساختارهای گوناگون، بهترین گزینه برای پاسخگویی به نیازهای سیستم‌های فرا پهن باند محسوب می‌شوند. طراحی آنتن‌های چند ورودی/چند خروجی که قادر به پوشش چندین باند فرکانسی با تشعشع قابل قبول باشند، به چالشی مهم در حوزه مهندسی آنتن تبدیل شده است. این آنتن‌ها باید علاوه بر پهنای باند امیدانسی مناسب، از نسبت محوری مؤثر، بهره مطلوب و الگوهای تشعشعی مناسب در باندهای فرکانسی کاربردی برخوردار باشند. روش‌های متعددی برای تولید قطبش دایروی در آنتن‌ها وجود دارد، از جمله استفاده از آنتن‌های شیاری مربعی با تغذیه موجبر هم‌صفحه، آنتن‌های اسلات مربعی وسیع با تغذیه موجبر هم‌صفحه نامتقارن، و آنتن‌های قطبش دایروی شکاف‌دار به فرم حلزونی در المان تغذیه [۸-۱۱]. آنتن‌های چند ورودی-چندخروجی به دلیل قابلیت‌های چند باندی و عملکرد مطلوب در محیط‌های متنوع، توجه ویژه مهندسان طراح آنتن را جلب کرده‌اند. طرح‌های مختلفی برای پیاده‌سازی این آنتن‌ها ارائه شده است، از جمله آنتن‌های کوچک چاپی برای کاربردهای پهن باند، بهبود جداسازی با استفاده از ساختار زمین ناقص، و آنتن‌های چند ورودی-چند خروجی با تنوع در نوع الگوی تشعشعی و قطبش. با توجه به رشد فزاینده فناوری اینترنت اشیا و نیاز به بسته‌های ارتباطی کوچک با تشعشع پایین، طراحی و توسعه آنتن‌هایی که علاوه بر عملکرد مطلوب، جذب کمی در بافت‌های زنده داشته باشند، به اولویتی اساسی برای محققان این حوزه تبدیل شده است. این امر چالش‌های نوینی را در زمینه کوچک‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد آنتن‌ها ایجاد کرده که مستلزم نوآوری و خلاقیت در طراحی است [۱۰ و ۹]. در این مقاله یک آنتن ریز نوار چندلایه فشرده بر آنتن‌های چند ورودی چند خروجی با قابلیت قطبی شدگی دایروی دو بانده، معرفی شده است. این آنتن شامل شبکه‌های تزویج مجزا برای هر باند فرکانسی است. با استفاده از یک تغییر فاز ۹۰ درجه مثبت یا منفی، قطبش دایروی محقق می‌گردد. این آنتن دارای پهنای باند امیدانسی در بازه‌های ۳-۴/۲ گیگاهرتز و ۵/۵ تا ۶/۶ گیگاهرتز بوده و تقریباً در کل باند اول خصیصه قطبش دایروی محقق می‌گردد. بیشینه بهره آنتن به‌صورت خطی با مقدار میانگین ۵ دسیبل است.

۲- ساختار فیزیکی آنتن

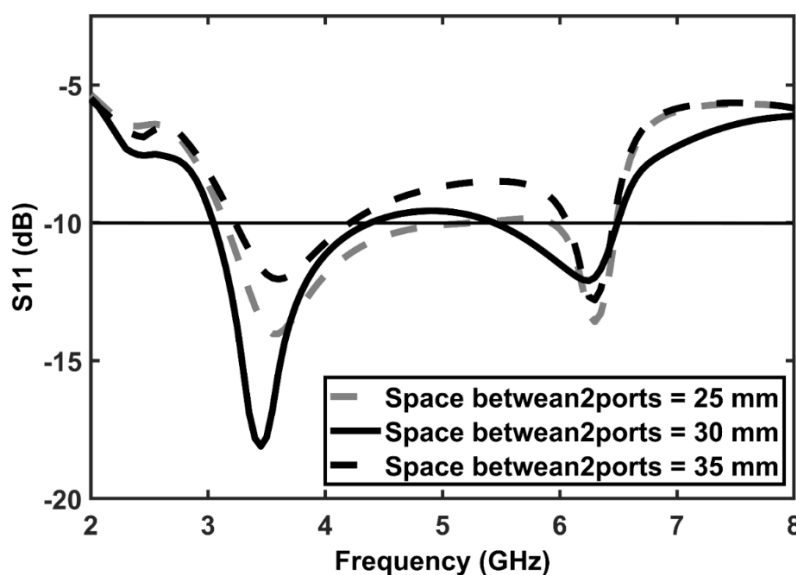
آنتن طراحی و شبیه‌سازی شده بروی سه لایه پیاده شده است که از دو زیر لایه و یک فوم به ضخامت ۲ میلی‌متر مربع آنها تشکیل شده است. زیر لایه اول از جنس FR-4 با ضریب گذردهی ۴/۴ و تانژانت تلفات ۰/۰۲ بوده و زیر لایه پایین از جنس RO-۴۰۰۳ با ضریب گذردهی ۳/۵۵ و تانژانت تلفات ۰/۰۲۷ ساخته شده‌اند. در شکل ۱ ساختار آنتن ریز نوار چندلایه با قطبش دایروی نشان داده شده است. برای هر باند، یک شبکه تغذیه تزویجی وجود دارد که شامل یک تشدید کننده سنجاقی، یک شکاف مستقیم و یک شیار U است.

شیار U شکل نه تنها برای ساختار تزویج بلکه به عنوان یک تشدید کننده تک حالت نیز استفاده می شود که فرکانس تشدید مشابه تشدید کننده دایره ای را دارد. برای آنتن که مستقیماً تغذیه می شود، شعاع دایره ۱۲ میلی متر بر اساس تئوری حفره آنتن تعیین می شود و تنها یک فرکانس تشدید می تواند محقق می شود. با این حال، برای طراحی شکاف U و وصله دایره ای و تطبیق بین صفحه زمین و پچ تشعشعی، تحریک پچ توسط تغذیه جفت شکاف دار استفاده شود. این روش منجر به بهبود ویژگی تشعشعی آنتن پیشنهادی شده و موجب ایجاد تشدید اضافی و نهایتاً بهبود پهنای باند گردد.



شکل ۱: پیکربندی آنتن پیشنهادی دولایه

Figure 1. Proposed dual-layer antenna configuration



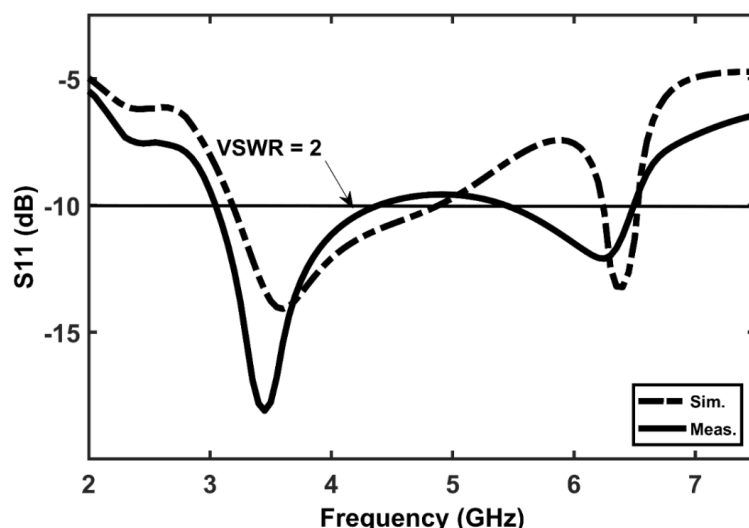
شکل ۲: منحنی افت برگشتی آنتن موردنظر برای فواصل مختلف دهانه ها

Figure 2. Return loss curve of the desired antenna for different aperture distances

علاوه بر این، توابع دوپلکس و فیلتر کردن به طور یکپارچه در آنتن پچ دو بانده با مشخصات طول ارائه شده و کاربرد چنین دستگاه یکپارچه ای در سیستم های بی سیم به طور بالقوه می تواند حجم کم، پیچیدگی و هزینه ساخت را کاهش دهد که در قسمت های جلویی بر اساس الگوهای مبتنی بر تشدید، اصول دستیابی به قطبش دایروی با ویژگی چپ گرد و راست گرد، دوپلکس، و توابع فیلتر نشان داده شده است. شکل ۲ منحنی تغییرات افت برگشتی آنتن موردنظر را به ازای تغییر فاصله میان دهانه ها نشان می دهد، واضح است جواب بهینه بر اساس تطابق امپدانس در حالت ۳۰ میلی متر اتفاق می افتد. پهنای باند عملکرد آنتن در دو بازه ۳ الی ۴/۲ گیگاهرتز و ۵/۵ تا ۶/۶ گیگاهرتز محقق می شود که باندهای کاربردی وایمکس و WLAN را به طور کامل پوشش می دهد.

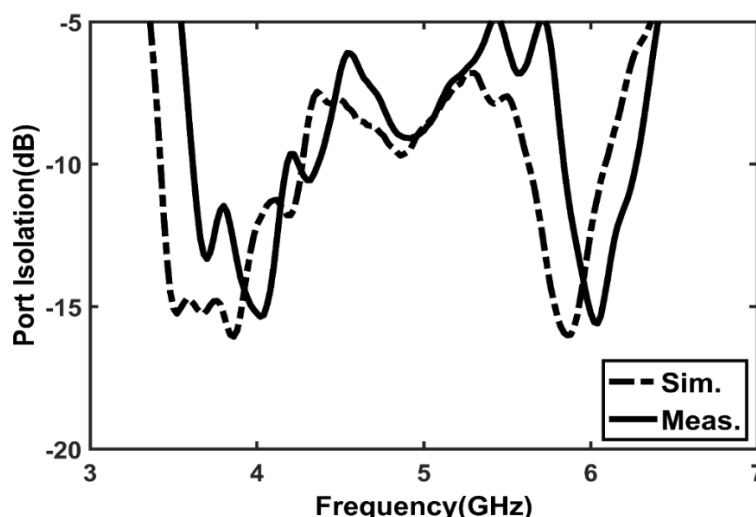
۳- نتایج و بحث و بررسی

در این مرحله به منظور تصدیق عملکرد آنتن، ساختار چندلایه موردنظر ساخته شده و در آزمایشگاه مرکز تحقیقات آنتن و ماکروویو دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارومیه مورد تست قرار گرفت. تطابق خوبی میان‌های نتایج استخراجی حاصل شد که نشان‌دهنده عملکرد صحیح آنتن است. شکل ۳ منحنی شبیه‌سازی و تست ساختار موردنظر را نشان می‌دهد. واضح است از لحاظ عملکرد پهنای باند امپدانسی عملکرد قابل قبولی در جواب‌های تست و شبیه‌سازی رؤیت گردید. اختلاف اندکی در جواب‌ها ناشی از اتصالات غیر ایده‌ال و خاصیت پراکندگی زیر لایه‌ها در فرکانس‌های مختلف است.

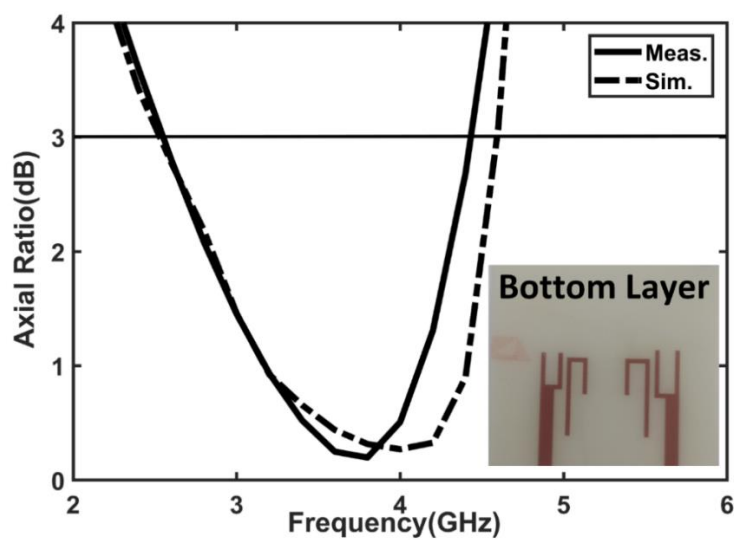


شکل ۳: منحنی‌های افت برگشتی آنتن موردنظر در دو حالت شبیه‌سازی و تست
Figure 3. Return loss curves of the desired antenna in two simulation and test modes

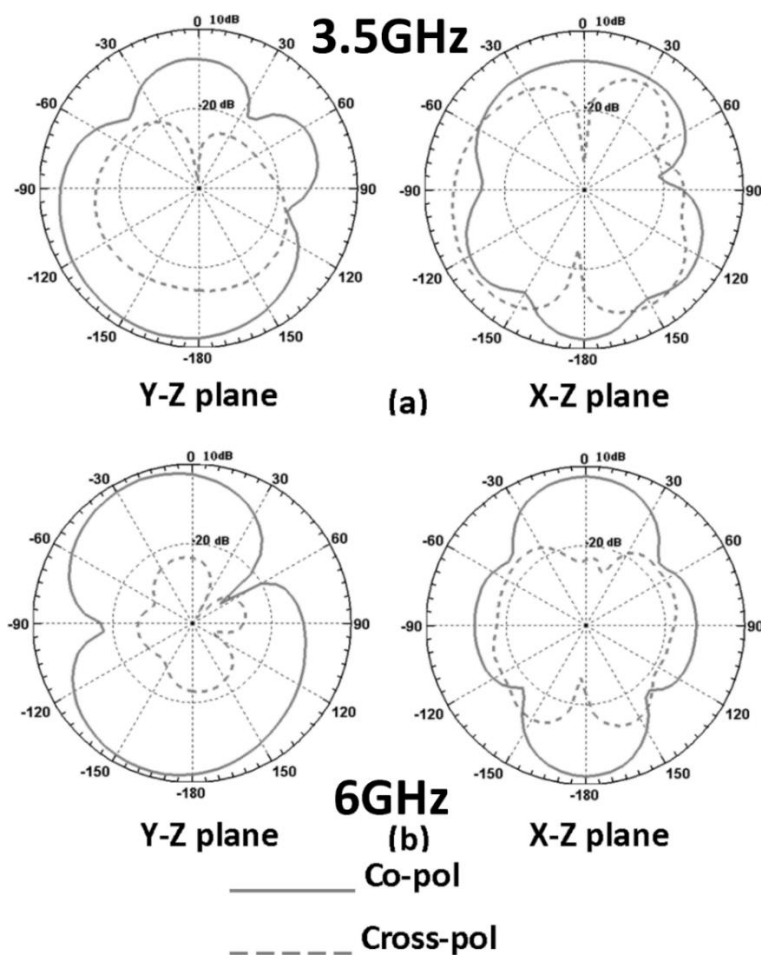
شکل ۴ منحنی ایزولاسیون دهانه‌های ورودی را در دو حالت نشان می‌دهد. مشخص است در بازه دو باندی کاربردی موردنظر این نمودار بهترین حالت عملکردی خود را داشته و بهترین حالت در دو فرکانس مرکزی باندهای موردنظر به‌دست‌آمده محقق می‌شود.



شکل ۴: منحنی ایزولاسیون دهانه‌های تغذیه در دو حالت تست و شبیه‌سازی
Figure 4. Isolation curve of feeding holes in two test and simulation modes



شکل ۵: منحنی نسبت محوری آنتن موردنظر
Figure 5. Axial ratio curve of the desired antenna



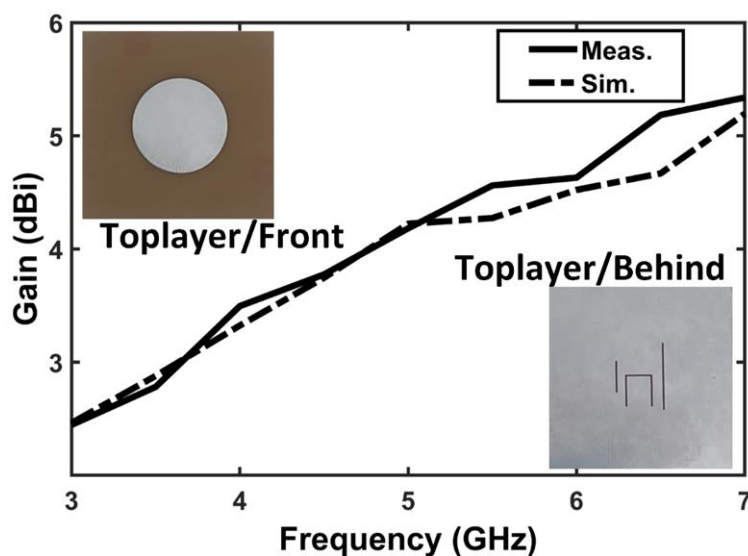
شکل ۶: منحنی‌ها الگوهای تشعشعی استخراج شده در دو فرکانس کاری ۳.۵ و ۶ گیگاهرتز
Figure 6. Radiation patterns extracted at two operating frequencies of 3.5 and 6 GHz

رزوناتور دوم به شکل سنجاق سر، شیار U و تشدید کننده پچ یک شبکه جفت متقابل را تشکیل می‌دهند، بنابراین دو مسیر برای اتصال سیگنال ورودی به تشدید کننده پچ (برای تحریک دو حالت مد) وجود دارد. در این حالت تأخیر فاز ۹۰ مدل‌سازی شده و تئوری تحریک دو مد متعامد برای تحقق قطبش دایروی ارضا می‌گردد.

شکل ۵ منحنی نمودار نسبت محوری آنتن موردنظر را نشان می‌دهد، واضح است قطبش دایروی در محدوده امپدانس $2/8$ تا $4/3$ گیگاهرتز محقق می‌گردد که کل پهنای باند امپدانس محقق شده در باند اول پوشش داده می‌شود که یکی از نکات قوت طراحی است.

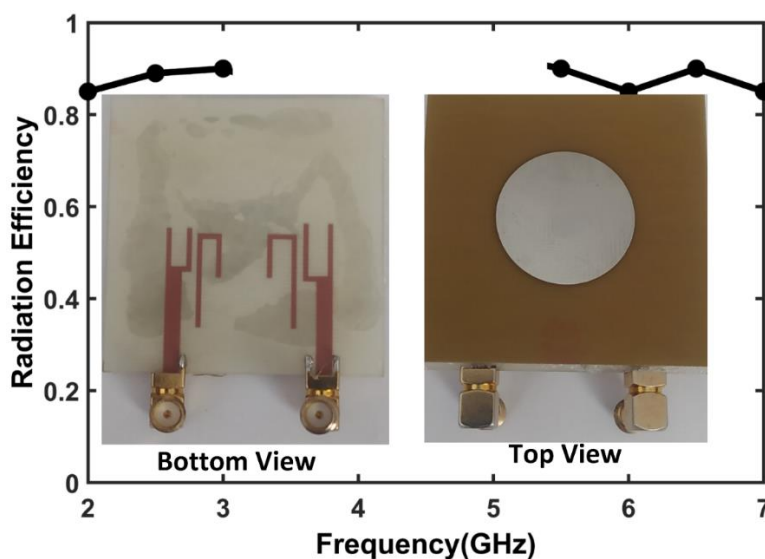
شکل ۶ منحنی تغییرات الگوی تشعشعی آنتن را در دو فرکانس $3/5$ و 6 گیگاهرتز نشان داده شده‌اند آنتن نهایی دارای الگوی شبه همه جهت در صفحه H و الگوی پروانه‌ای ناقص در صفحه E است. با توجه به تحقق قطبش دایروی در فرکانس اول بیشینه الگوها در زوایای 180 درجه اتفاق می‌افتد.

شکل ۷ منحنی تغییرات بهره آنتن موردنظر را به ازای تغییرات فرکانس نشان می‌دهد. این الگو دارای حالت شبه خطی افزایش است. شکل ۸ منحنی کارایی تشعشعی آنتن موردنظر را نشان می‌دهد، واضح است این مقدار در دو باند کاربردی بالای 80 درصد است که نشان‌دهنده عملکرد خوب تشعشعی و جهت‌دار ساختار ارائه شده است.



شکل ۷: منحنی تغییرات بهره آنتن در دو حالت

Figure 7. Antenna gain versus frequencies in two modes



شکل ۸: منحنی راندمان تشعشعی آنتن

Figure 8. Antenna radiation efficiency

جدول ۱: مقایسه کار پیشنهادی با سایر کارهای گزارش شده

Table 1. Comparison of the proposed work with other reported works

Reference	Dimensions in mm	Layers	CP property Feature	Gain (dB)
[1]	1×25×25	1	×	3
[2]	0.8×10×15	2	×	2
This Work	1/6×50×50	3	✓	5

۴- نتیجه گیری

در این مقاله یک آنتن ریز نوار چند لایه فشرده بر آنتن‌های چند ورودی چند خروجی با قابلیت قطبی شدگی دایروی دو بانده طراحی، شبیه‌سازی و ساخته شده است. ساختار این آنتن شامل شبکه‌های تزویج مجزا برای هر باند فرکانسی است. هر شبکه از اجزای ظریفی همچون یک تشدیدکننده سنجاق‌مانند، یک شکاف مستقیم و یک شیار U شکل تشکیل شده است. این آنتن قادر به تولید مشخصه‌های قطبش دایروی راست‌گرد و چپ‌گرد در باندهای مختلف است. نتایج شبیه‌سازی‌ها و تست حاکی از عملکرد خوب این آنتن است. این آنتن دارای پهنای باند امیدانسی در رنج‌های ۳-۴ گیگاهرتز و ۵/۵ تا ۶/۶ گیگاهرتز بوده و تقریباً در کل باند اول خصیصه قطبش دایروی محقق می‌گردد. منحنی بهره آنتن دارای حالت افزایشی خطی با مقدار میانگین ۵ دسیبل است.

مراجع

- [1] T. Sedghi, T. Aribi, and 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](https://doi.org/10.1017/S1759078718000673).
- [2] T. Aribi, M. Naser-Moghadasi, and 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](https://doi.org/10.1017/S1759078715000318).
- [3] MM. Maleki, T. Aribi, and A. Shadmand, "Implementation of a Miniaturized Planar 4-Port Microstrip Butler Matrix for Broadband Applications," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol 9, no.1, Janurary 2020, doi: [10.22070/jce.2020.5295.1154](https://doi.org/10.22070/jce.2020.5295.1154).
- [4] 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](https://doi.org/10.1080/03772063.2018.1464973).
- [5] 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](https://doi.org/10.1007/s11277-016-3485-4).
- [6] A. M. Javanshir, T. Aribi, T. Sedghi, and A. Kalami, "High performance and compact antenna with new scheme for broadband circular polarisation applications," *International Journal of Electronics Letters*, 2024, doi: [10.1080/21681724.2024.2372737](https://doi.org/10.1080/21681724.2024.2372737).
- [7] S. Rezaee and Y. Zehforoosh, "Design of a Planar Multiband Antenna Using Metamaterials," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol.11, no. 43, pp. 15-26, 2022, doi: [10.30495/jce.2022.689028](https://doi.org/10.30495/jce.2022.689028), [in Persian].
- [8] ZZ. A. Darabi and S. S. Tehrani, "Design and Simulation a New Dual Band Dipole Antenna for RFID Tags," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol.9, no. 35, pp. 69-76, 2021 [in Persian].

- [9] FF. Heidari, Z. Adelpoure, and N. Parhizgar, "Simulation of Leaky Wave Antenna with Cosecant Squared Pattern Using Genetic Algorithm," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol.11, no. 42, pp. 69-76, 2022 [in Persian].
- [10] M. Jalali and T. Sedghi, "Circularly Polarized MIMO Antenna Array with Enhanced Characteristics using EBG structure," *ELECTRONIC INDUSTRIES*, vol, 10, no.2, pp. 13-24, August 2019.