JOURNAL OF SOUTHERN COMMUNICATION ENGINEERING
ISLAMIC AZAD UNIVERSITY BUSHEHR BRANCH
E-ISSN: 2980-9231
https://jce.bushehr.iau.ir
https://doi.org/10.30495/jce.2023.1980075.1193

Vol. 12/ No. 48/Summer 2023

Research Article

Design of a Two-Element Antenna with Fan Beam Pattern for Use in Telecommunication Systems

Seyed Hojat Ollah Madani, PhD Student [1] | Yashar Zehforoosh, Associate Professor [2*] | Tohid Sedgi, Assistant Professor [3]

[1]phd. Student of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Urmia Branch, Urmia, Iran, madanihojat@yahoo.com

[2]Associate Professor, Microwave and antenna research center, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran, y.zehforoosh@srbiau.ac.ir

[3]Assistant Professor, Microwave and antenna research center, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran, sedghi.tohid@gmail.com

Correspondence
Yashar Zehforoosh, Associate Professor, Microwave and antenna research center, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran, y.zehforoosh@srbiau.ac.ir

Received: 13 February 2023
Revised: 14 April 2023
Accepted: 8 May 2023

Abstract

In this paper,an attempt is made to design an antenna to be used in different radar and telecommunication applications. Paying attention to antenna radiation is on agenda and some studies have been done on antenna radiation as well as their radiation pattern.Considering that feature of pattern with the vane feature is used in antennas with radar applications and also in various telecommunication applications but this paper tries to increase antenna's fan beam properties. The designed antenna has two radiation elements and consists of a tow layer structure in frequency band of 3/5 GHz. The radiation elements are placed in the upper layer and the feeding network is located in the lower layer. This dual antenna has an impedance band width of 3/4 to 3/8 GHz and the maxi gain is 6/76 dBi and the half power beam width are 44˚and 104˚respectively in planes H and E which shows that this is a fan beam antenna. The overall dimension of the antenna are 105 × 32/3 ×3/708 mm square. The provided antenna is recommended to be used in radar systems and 5G systems in band frequency of 3/5 GHz. According to laboratory test of this antenna, it can be said that the theoretical and practicical results are in good agreement.

Keywords: Antenna, Fan Beam Pattern, Radar, 5G.

Highlights

- Design the feeding network in the lower layer of the antenna.
- Improving the radiation behavior of the antenna.
- The proposed antenna is a type of printed antennas, so it has smaller dimensions and weight, and this reduces the occupied space and the cost of the antenna.

Citation: S. H. O. Madani, Y. Zehforoosh, and T. Sedghi, "Design of a Two-Element Antenna with a Fan Beam Pattern for Use in Telecommunication Systems," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol. 12, no. 48, pp. 43–50, 2023, doi: 10.30495/jce.2023.1980075.1193. (in Persian).

مقاله پژوهشی

طراحی آنتن دوالمانی با پترن پره‌ای جهت استفاده در سیستم‌های مخابراتی

سید حجت اله مدنی [۱] | یاشار زهفروش *[۲] | توحید صدقی [۳]

[۱]دانشجوی دکتری مهندسی برق، گروه برق، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران،
madanihojat@yahoo.com

[۲] دانشیار، مرکز تحقیقات مایکروویو و آنتن، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران،
y.zehforoosh@srbiau.ac.ir

[۳]استادیار، مرکز تحقیقات مایکروویو و آنتن، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران،
sedghi.tohid@gmail.com

نویسنده مسئول
*یاشار زهفروش، دانشیار، مرکز تحقیقات مایکروویو و آنتن، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران،
y.zehforoosh@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۴ بهمن ۱۴۰۱
تاریخ بازنگری: ۲۵ فروردین۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۸ اردیبهشت ۱۴۰۲

چکیده:

در این مقاله تلاش بر این است آنتنی طراحی شود تا در کاربردهای مختلف راداری و مخابراتی مورداستفاده قرار گیرد. توجه به تشعشع آنتن در دستور کار قرارگرفته و بر روی تشعشع آنتن‌ها و همچنین پترن تشعشعی آن‌ها مطالعاتی انجام‌گرفته است حال با توجه به اینکه خاصیت پترن با ویژگی پره‌ای در آنتن‌ها با کاربردهای راداری همچنین در انواع کاربردهای مخابراتی مورداستفاده قرارمی گیرد در این مقاله سعی برافزایش خاصیت پره‌ای بودن آنتن شده است. آنتن طراحی‌شده دارای ۲ المان تشعشعی بوده و در باند فرکانسی ۳/۵ گیگاهرتز از ساختار دولایه تشکیل می‌شود در لایه بالایی المان‌های تشعشعی و در لایه پایینی شبکه تغذیه قرار می‌گیرد. آنتن دوالمانی ساخته‌شده دارای پهنای باند امپدانسی ۳/۸ الی ۳/۴ گیگاهرتز، بیشینه بهره ۷ dBi و عرض بیم نصف توان ۴۴° و ۱۰۴° به ترتیب در صفحه‌های H و E هست؛ که نشان از پره‌ای بودن این آنتن دارد. ابعاد کلی آنتن ۱۰۵×۳۲/۳×۳/۷۰۸ میلی مترمربع است. آنتن ارائه‌شده برای به‌کارگیری در دستگاه‌های راداری و دستگاه‌های 5G در باند فرکانسی ۳/۵ گیگاهرتز پیشنهاد می‌گردد. با توجه به آزمودن آزمایشگاهی این آنتن می‌توان گفت که نتایج تئوری و آزمایشگاهی همخوانی مناسبی باهم دارند.

کلید واژه‌ها: آنتن، پترن پره‌ای، رادار، 5G

https://doi.org/10.30495/jce.2023.1980075.1193

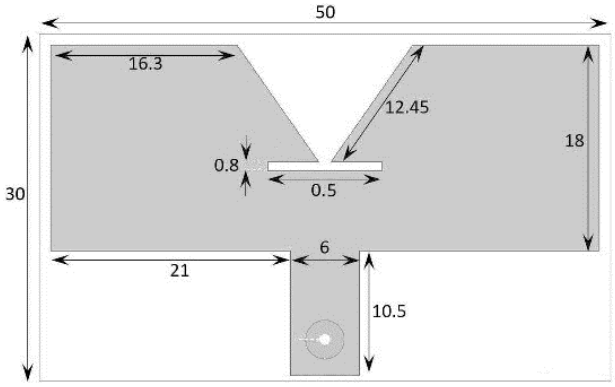
۱- مقدمه

در علم مخابرات آنتن‌ها با تشعشع‌های کنترل‌شده و دارای خاصیت پره‌ای موردتوجه قرارگرفته‌اند یکی از موارد آنتن‌ها با پترن پره‌ای می‌باشند که بیشتر در رادارها و سیستم‌های تصویربرداری مورداستفاده قرار می‌گیرد. این آنتن‌ها آنتن‌های جهت‌داری هستند که در یک صفحه دارای عرض بیم وسیع و در صفحه عمودی دارای عرض بیم باریک‌تری هستند. معمولاً این نوع از پترن به‌وسیله آنتن‌های نامتقارن سهموی [۱]، ایجاد می‌شوند. این آنتن‌ها در صنعت مخابرات دارای کاربردهای مختلفی هستند که به‌اختصار به مهم‌ترین کاربردهای آن اشاره می‌شود. پترن های پره‌ای در سیستم‌های راداری خودروها امروزه کاربردهای بسیاری دارند [۲]، با استفاده از پترن های پره‌ای رادارهای پالسی برد کوتاه متداول دارای برد مفید تشخیص اهداف حدود ۲۰ تا ۳۰ متر و زاویه دید افقی حدود ۶۵± تا ۸۰± درجه هستند. ویژگی‌های ایمنی هدفمند اولیه این آنتن‌ها عبارت‌اند از: نظارت بر نقطه کور راننده، کمک پارکینگ، هشدار دنده‌عقب و هشدار فاصله از اجسام کناری. این رادارها با پترن تشعشعی پره‌ای می‌توانند اهداف موجود در حوالی جاده‌ها را پوشش دهند همچنین از انعکاس‌های قوی با پل‌های فلزی و تابلوهای راهنمایی و رانندگی خودداری نمایند. از کاربردهای دیگر پترن های پره‌ای استفاده در آنتن در کاربردهای راداری هست [۳-۵] . در تمامی مراجع معرفی‌شده استفاده از خاصیت پهن بودن در یک‌جهت و باریک بودن بیم آنتن در جهت عمودی مورداستفاده است و استفاده از

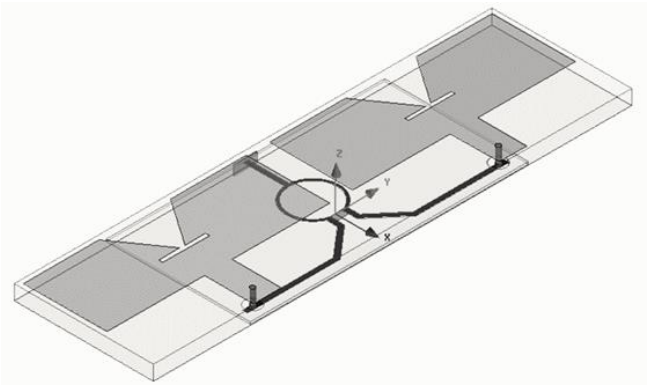
خاصیت اسکن پترن های پره‌ای نیز خاصیت مهم پرکاربرد و موردعلاقه در این موضوعات هست؛ که بیشتر در سیستم‌های پزشکی مورداستفاده قرار می‌گیرد [۶]، دیگر کاربرد پترن های پره‌ای در سیستم‌های G ۵ هست. این ساختارها [۷]، [۸]، امروزه بسیار موردتوجه قرارگرفته‌اند بدیهی است که فن آوری 5G هنوز به‌صورت کامل فراگیر نشده و تحقیق و بررسی در مورد آن‌ها همچنان ادامه دارد. فناوری G ۵ هم در طیف وسیعی از توزیع طیف رادیویی کار می‌کند اما قادر است در دامنه وسیع‌تری از شبکه‌های فعلی اجرا شود. رایج‌ترین شکل آن‌که استفاده می‌شود Sub-۶ است که از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا این امواج رادیویی با فرکانس پایین‌تر می‌توانند مسافت زیادی را طی کنند و به دیواره‌ها و موانع نفوذ کنند. این بدان معناست که شرکت‌های مخابراتی می‌توانند شبکه‌های بسیار بزرگ‌تری را بدون نیاز به ساخت صدها سلول در هر شهر مستقر کنند. در [۸]، چندین باند فرکانسی این سیستم‌ها که در کشورهای مختلف مورداستفاده واقع می‌شود اشاره‌شده است. بدیهی است آنتن طراحی‌شده برای این مقاله نیز جذابیت‌های لازم جهت استفاده در این ساختارها را نیز دارا است.

۲-طراحی آنتن با دوالمان تشعشعی جهت تولید پترن پره‌ای

در این مقاله جهت نیل به اهداف از پیش تعیین‌شده و تحقیق‌شده و بعد از تحقیق و بررسی آنتن‌های پاپیونی [۱]، یک آنتن دوالمانی کوچک از نوع آنتن‌های مسطح ارائه‌شده است. این آنتن بر روی یک زیر لایه از جنس FR۴ باضخامت ۳/۲ میلی‌متر، ضریب گذردهی ۴/۴ و تانژانت تلفات ۰/۰۲ و ابعاد کلی ۳۰×۱۰۵ میلی‌متر مربع ساخته‌شده است. شکل ۱ و ۲. المان تشعشعی آنتن از دو قسمت به شکل پاپیون تشکیل یافته است که در هرکدام از این المان‌ها یک شکاف مستطیلی و یک شکاف V شکل ایجادشده است. با ایجاد این شکاف‌ها بر روی المان تشعشعی پهنای باند امپدانسی همچنین فرکانس تشدید آنتن تغییریافته است، در قسمت پایین هرکدام از المان‌های تشعشعی یک خط ریز نوار وظیفه انتقال سیگنال از کابل هم‌محور به المان تشعشعی را به عهده دارد. به دلیل پایداری بیشتر از تغذیه آنتن کابل هم‌محور در این طراحی استفاده‌شده است. یک صفحه رسانای کامل صفحه زمین آنتن را شکل می‌دهد و مابین المان‌های تشعشعی در قسمت بالا و شبکه تغذیه آنتن در لایه‌های پشتی آنتن قرار دارد. تغذیه آنتن به‌صورت کابل هم‌محور، این امکان را برای آنتن فراهم می‌کند که با شبکه تغذیه در لایه پایین، بتواند به‌راحتی توسط پین هادی تغذیه شود. در این طراحی، چهار حفره بر روی صفحه زمین ایجادشده و از طریق این حفره‌ها، چهار عدد پین هادی شبکه تغذیه را به دو المان تشعشعی اتصال می‌دهند و در این صورت سیگنال ورودی به‌صورت جریان‌های عمودی به دو المان تشعشعی انتقال می‌دهند. طراحی آنتن به شکلی هست که هم در فرکانس خاسته شده آنتن کار کند هم طراحی به شکلی هست [۱۲-۹]، پترن های تشعشعی ایجادشده در یک سمت باریک و در محور عمودی پهن باشند به این صورت الگوی تشعشعی پره‌ای خواهیم داشت [۱۳].



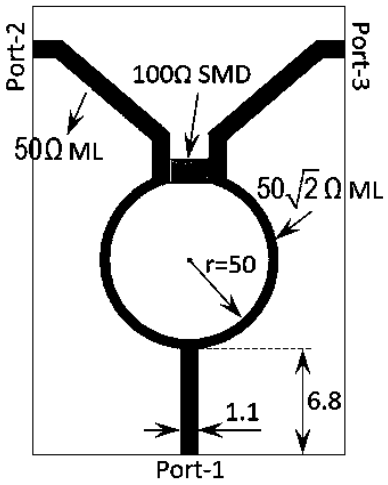
شکل ۱: ابعاد آنتن تک المانی
Figure 1. Dimensions of the monopole antenna



شکل ۲: نمای آنتن دوالمانی
Figure 2. Two element antenna figure

۳- طراحی شبکه تغذیه

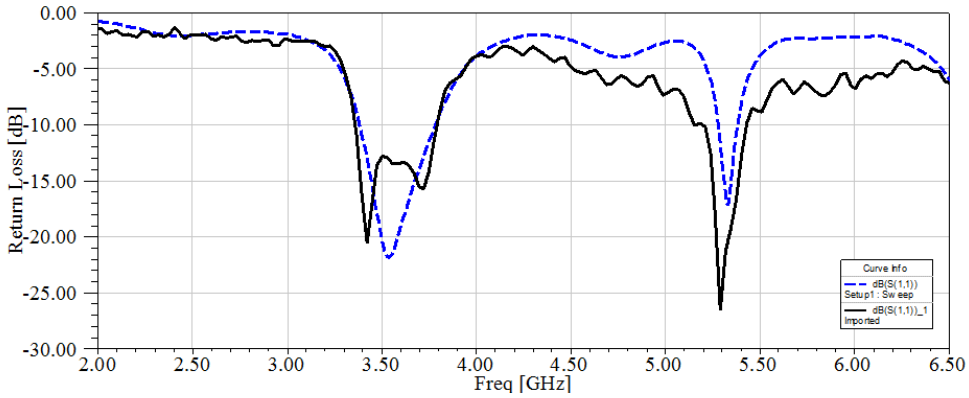
برای تغذیه المان‌های تشعشعی این آنتن نیاز به یک شبکه تغذیه‌ای بوده که درعین‌حالی که از ابعاد کوچک‌تری برخوردار باشد بتواند سیگنال‌ها را با تلفات کم به المان‌های تشعشعی انتقال دهد. همچنین بتواند توان انتقالی رابین دو المان تشعشعی به‌صورت مساوی تقسیم نماید و برای این کار مقسم توان ویلکینسون یک انتخاب و طراحی مناسب هست. شبکه تغذیه روی زیر لایه راجرز با تانژانت تلفات ۳/۵۵ و ابعاد ۶۰/۱۵×۳۲/۳ طراحی‌شده است. شبکه تغذیه در لایه زیرین آنتن قرار دارد و صفحه زمین قسمت‌های فوقانی را از شبکه تغذیه ایزوله می‌کند.



شکل ۳: ابعاد خط تغذیه
Figure 3. dimensions of feeding network

۴- بررسی نتایج شبیه‌سازی و ساخت آنتن

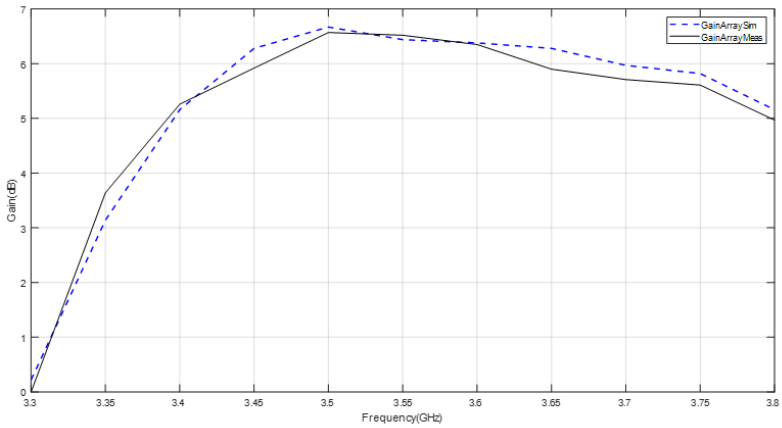
در شکل ۴ نتایج شبیه‌سازی‌شده توسط شبیه‌ساز فرکانس بالا برای افت بازگشتی آنتن همچنین نتیجه به‌دست‌آمده در آزمایشگاه آنتن برای این پارامتر باهم مقایسه شده‌اند. نتیجه به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی نشان‌دهنده آن است که پهنای باند امپدانسی ۳/۴۲ تا ۳/۷۹ گیگاهرتز است درحالی‌که این نتایج برای حالت آزمودن در آزمایشگاه ۳/۸ تا ۳/۴ گیگا هرتز است و بررسی نتایج نشان‌دهنده اختلاف ناچیزی فی‌مابین این دو نتیجه است.



شکل ۴: نتایج آزمودن و آزمایشگاهی افت بازگشتی آنتن

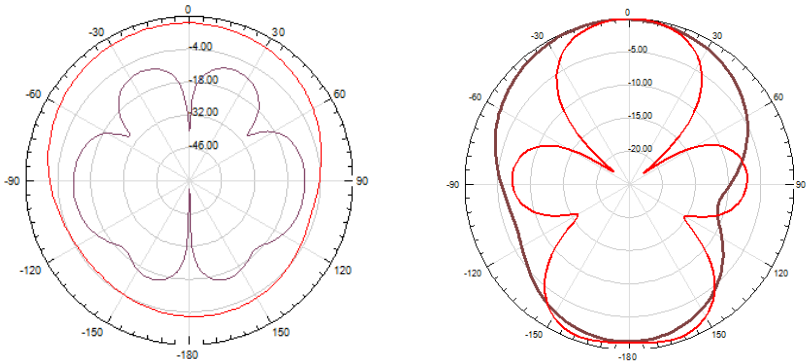
Figure 4. Simulated and mesuread of return loss of antenna

نتایج شبیه‌سازی و آزمودن مربوط به بهره آنتن المان تشعشعی در شکل ۵ نمایش داده‌شده است که بیشترین مقدار بهره اندازه‌گیری شده را در فرکانس ۳/۵۷ گیگاهرتز برابر با ۶/۶۷ دسی‌بل گزارش‌شده است. نتایج نشان می‌دهند که این طراحی دارای پهنای باند وسیع، بهره بالا و پترن تشعشعی پایدار هست. این نتایج در حالی به‌دست‌آمده‌اند که آنتن دارای ابعاد کوچکی هست.



شکل ۵: نتایج بهره آنتن

Figure 5. Antenna gain results

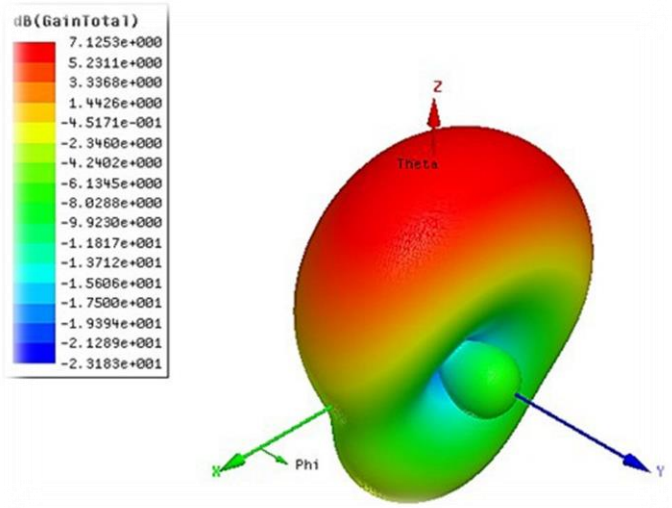


H-plane(ب) E-plane (الف)

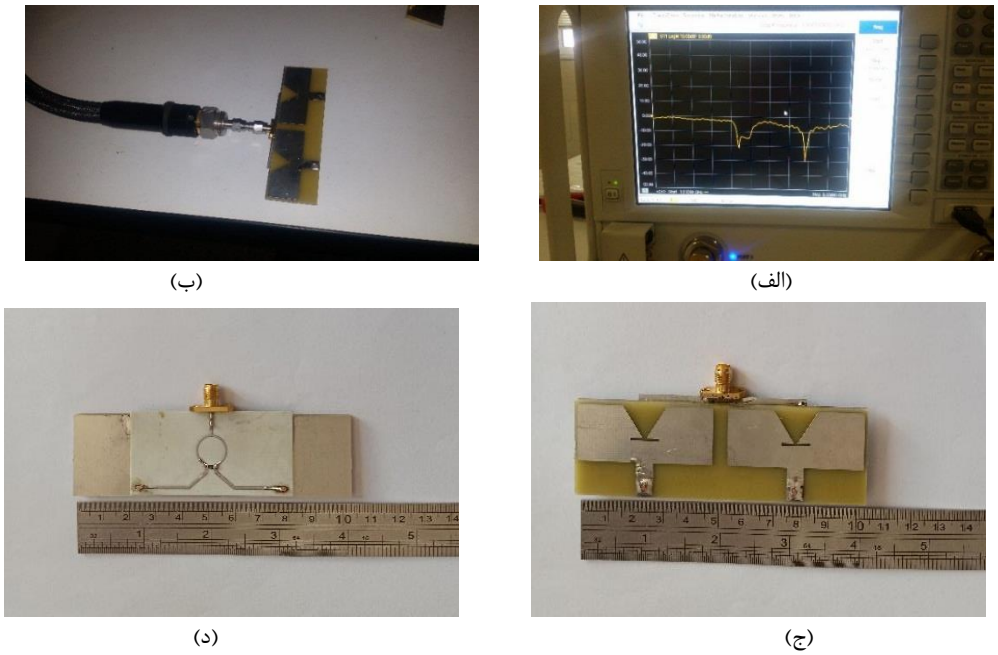
شکل ۶: نتایج پترن تشعشعی آنتن برای فازهای (الف) ۰ و (ب) ۹۰ درجه

Figue 6. Antenna radiation pattern results for (a) 0 and (b) 90 degree phases

در شکل ۶ نتایج پترن تشعشعی آنتن دوالمانی در دو صفحه E و H نمایش داده‌شده است. با توجه به پترن های تشعشعی، مشاهده می‌شود که این آنتن در صفحات E و H دارای عرض نیم نصف توان ۴۳/۵ درجه و ۱۰۴ درجه است. همان‌طور که از زوایای عرض بیم آنتن مشخص است این آنتن در فرکانس کاری خود دارای پترن پره‌ای است.
در شکل ۷ نمایی سه‌بعدی از پترن تشعشع آنتن در فرکانس ۳/۵ گیگاهرتز مشاهده می‌شود. باریکی پترن ها در یک‌جهت و پهن بودن در جهت عمودی پره‌ای بودن پترن تشعشعی را نشان می‌دهد.



شکل ۷: نمای سه‌بعدی پترن تشعشعی آنتن در فرکانس ۳/۵ گیگاهرتز
Figure 7. 3D view of antenna radiation pattern at 3.5 GHz frequency



(ب) (الف)

(د) (ج)

شکل ۸: آنتن ساخته‌شده تحت مراحل اندازه‌گیری
Figure 8. Fabricated antenn measurement steps

عکس آنتن ساخته‌شده و شبکه تغذیه آن (نمای پشتی آنتن) و همچنین مراحل آزمودن آنتن در شکل ۸ نمایش داده‌شده است. در جدول ۱ ابعاد و فرکانس و بهره آنتن پیشنهادی با کارهای قبلی انجام شده مقایسه گردیده است و مشخص است با توجه به باند فرکانسی و ابعاد طرح‌های ارائه‌شده آنتن پیشنهادی آنتن مناسبی برای کاربردهای معرفی‌شده هست.

جدول ۱: مقایسه آنتن پیشنهادی باکارهای قبلی انجام‌شده
Table 1. Comparison of the proposed antenna with previous works

مراجع	ابعاد (میلی‌متر)	فرکانس	بهره
[۲]	۹۵×۷۰	۷۹ گیگاهرتز	۱۶/۶۹
[۷]	۷۱/۶×۷۱/۶	Sub-۶	۸/۱
آنتن پیشنهادی	۳۰×۱۰۵	۳/۵	۶/۶۷

۵- نتیجه‌گیری

در این طراحی چندین نوآوری و ابتکار مورداستفاده قرار گرفت که باعث بهبود عملکرد آنتن گردید نوآوری اصلی آنتن پیشنهادی عبارت است از طراحی شبکه تغذیه در لایه زیرین آنتن، به‌این‌ترتیب ابعاد آنتن با این ساختار کاهش می‌یابد و رفتار تشعشعی آنتن می‌تواند بهبود یابد چراکه شبکه تغذیه از آنتن جدا بوده و در جلو یا عقب آنتن قرار نمی‌گیرد و بر روی پترن تشعشعی آنتن تأثیر نمی‌گذارد. در این ساختار از یک المان تشعشعی با الهام از ساختار آنتن‌های دایپل پاپیونی استفاده‌شده است که می‌تواند علاوه بر پوشش باند فرکانسی ۳/۵ گیگاهرتز رفتار تشعشعی مناسبی را از قبیل پترن تشعشعی پایدار و بهره بالا از خود به نمایش بگذارد. با توجه به اینکه، آنتن پیشنهادی از نوع آنتن‌های چاپی هست، لذا دارای ابعاد و وزن کمتری بوده و این موضوع فضای اشغال‌شده و هزینه تمام‌شده آنتن را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر چون در کاربردهای 5G نیاز به آنتن‌هایی با پترن باریک هست، لذا آنتن پیشنهادی به‌عنوان یک انتخاب مناسب برای این سیستمها به شمار می‌رود. برای این ساختارها باندهای فرکانسی مختلفی مطرح می‌شود که در بین آن‌ها، باند فرکانسی ۳/۵ گیگاهرتز، در محدوده عملیاتی sub-۶ گیگاهرتز یکی از پرکاربردترین باندهای فرکانسی برای G ۵ است؛ بنابراین آنتن پیشنهادی در این باند فرکانسی با پترن تشعشعی فن بیم و ساختار دولایه با ابعاد کوچک، یک نوآوری به شمار می‌رود که برخلاف طراحی‌های اخیر هر سه ویژگی را باهم دارا است.

مراجع

[1] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, New York:Wiley, 1982.

[2] H. Cho, J. -H. Lee, J. -W. Yu and B. Ahn, "Series-Fed Coupled Split-Ring Resonator Array Antenna With Wide Fan-Beam and Low Sidelobe Level for Millimeter-Wave Automotive Radar," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 72, no. 4, pp. 4805-4814, April 2023, doi: 10.1109/TVT.2022.3226294.

[3] W. Li, Q. Wan, Y. Zhi, H. Peng and J. Mao, "A Fans-Shaped Beam Antenna Design for Overcoming Multipath Effects for 77GHz FMCW-MIMO Radar," *IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS)*, Nanjing, China, 2021, pp. 1-3, doi: 10.1109/IWS52775.2021.9499707.

[4] W. A. Ahmad, M. Kucharski, A. Ergintav, H. J. Ng and D. Kissinger, "A Planar Differential Wide Fan-Beam Antenna Array Architecture: Modular high-gain array for 79-GHz multiple-input, multiple-output radar applications," in *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 63, no. 4, pp. 21-32, Aug. 2021, doi: 10.1109/MAP.2020.2976913.

[5] Yu-Jiun Ren and Chieh-Ping Lai, Wideband antennas for modern radar systems, *Radar Technology*, January 2010, doi: 10.5772/7187

[6] S. Wu et al., "Terahertz 3-D Imaging for Non-Cooperative On-the-Move Whole Body by Scanning MIMO-Array-Based Gaussian Fan-Beam," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 12, pp. 12147-12162, Dec. 2022, doi: 10.1109/TAP.2022.3209262.

[7] M. A. Sufian, N. Hussain, H. Askari, S. G. Park, K. S. Shin and N. Kim, "Isolation Enhancement of a Metasurface-Based MIMO Antenna Using Slots and Shorting Pins," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 73533-73543, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3079965.

[8] D.M. John, S. Vincent, S. Pathan, P. Kumar, and T. Ali, “Flexible Antennas for a Sub-6 GHz 5G Band: A Comprehensive Review,” *Sensors*, vol. 22, no. 19, p. 7615, Oct 2022.

[9] T. U. Fawwaz, Fundamentals of Applied Electromagnetics, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2001.

[10] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, Antenna Theory and Design, New York:John Wiley, 1998.

[11] Antenna Handbook: Volume III Applications. Springer Science & Business Media, 2012.

[12] Girish Kumar and K. P. Ray, “Broad Band Microstrip Antennas”, Artech House, 2003.

[13] S. H. Madani, Y. Zehforoosh and T. Sedghi, "Compact Patch Antenna Array With Fan-Beam Characteristics for Radar Application," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 93534-93541, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3203393.

COPYRIGHTS
©2023 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