

## طراحی و شبیه‌سازی آنتن پهن باند و فشرده آستینی با تغذیه هم سطح غیر یکنواخت

سید محمد هاشمی<sup>۱</sup>، پیمان حسنی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی sm.hashemi@sru.ac.ir

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد برق مخابرات، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

### چکیده

در سال‌های اخیر تلاش‌های بسیاری برای افزایش پهنای باند بدون تغییر اندازه آنتن و در نتیجه با حداقل اندازه آنتن صورت گرفته است. در این مقاله به ارائه آنتن آستینی پهن باند متشکل از خط موجبری هم سطح متصل به استوانه فلزی می‌پردازیم. برای دست‌یابی به تطبیق امپدانس مطلوب خط تغذیه هم سطح به صورت غیر یکنواخت طراحی شده است. تأثیر پارامترهای طراحی روی تطبیق امپدانس با چند شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر پهنای باند امپدانس عریض، پترن همه‌جهته، سادگی، هزینه ساخت پایین و ابعاد فشرده، این آنتن را به گزینه‌ای مناسب برای تعدادی کاربرد نظامی یا برداشت انرژی فرکانس رادیویی خصوصاً در باندهای فرکانسی پایین VHF/UHF تبدیل کرده است. در زمینه برداشت انرژی فرکانس رادیویی می‌توان از آنتن مذکور با ساختار چاپی برای برداشت انرژی در باندهای GSM-900، GSM-1800 و UTM-2150 در کنار یکسوساز و شبکه تطبیق استفاده کرد. در این کار آنتن پیشنهادی شبیه‌سازی شده برای محدوده فرکانسی ۱۸۵ تا ۵۲۳ مگاهرتز با کارهای گذشته مقایسه شده است. آنتن پیشنهادی، ساختار فشرده با سائز فیزیکی ۰/۲۱۸ × ۰/۳۶۸ و پهنای باند ۹۵/۵٪ در شرایط VSWR کمتر از ۳ دارد.

### کلیدواژه

پهن باند، سائز فشرده، آنتن آستینی تغذیه شده با خط تغذیه هم سطح، برداشت انرژی فرکانس رادیویی.

### مقدمه

شده با فلز خازنی برای کاهش سائز و صفحه زمین برای افزایش پهنای باند، به پهنای باند ۱۲۴/۳٪ در شرایط  $VSWR < 2$  و سائز  $0.0968 \times 0.2658$  دست یافته است [۲]. نتایج دیگر آنتن‌ها [۳-۱۰] و آنتن پیشنهادی در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. برخی از محققان با استفاده از ساختار مدار چاپی به پهنای باند مورد نظر دست یافته‌اند [۷-۱۳] که البته مشکل اصلی این ساختارها، مقاومت پایین به توان بالا است. در باند فرکانسی VHF<sup>۲</sup>/UHF<sup>۳</sup> دست‌یابی به پهنای باند بالا چالش بزرگی است که با توجه به ساختار انعطاف‌پذیر آنتن مورد مطالعه و بررسی ساختار غیر یکنواخت خط تغذیه هم سطح، می‌توانیم با تغییر در پارامترهای ساختار که در قسمت بعدی بررسی می‌شود، به مطلوب خود یعنی افزایش پهنای باند بدون افزایش اندازه آنتن دست پیدا کنیم. از ویژگی‌های دیگر این آنتن، اندازه حداقل و الگوی همه‌جهته آن است که برای استفاده در کاربردهای مختلف مزیت بزرگی محسوب می‌شود. در رابطه با ویژگی الگوی همه‌جهته می‌توان به آنتن‌های تک

در سال‌های اخیر نرخ انتقال اطلاعات بالا در سیستم‌های مخابراتی پیشرفته به سرعت افزایش یافته است. برای ظرفیت کانال بالاتر، نرخ انتقال داده بهتر و فناوری‌های مخابراتی جدید به پهنای باند بالا نیازمند هستیم. آنتن آستینی به دلیل ساختار ساده و انعطاف‌پذیر، به شکلی گسترده برای هدف پهنای باند بالا مورد استفاده قرار گرفته است. همان‌طور که از تحقیقات پیشین مشخص است، مصالح‌های بین سائز فیزیکی آنتن و پهنای باند آن وجود دارد که در نتیجه در اکثر طراحی‌ها برای دسترسی به پهنای باند بالا به اجبار ابعاد فیزیکی آنتن بزرگ در نظر گرفته شده است. با توجه به ابعاد بزرگ این آنتن‌ها، مشکل ساخت و افزایش هزینه از دیگر مواردی است که باید برطرف شوند. در مقاله [۱] محقق با استفاده از آنتن آستینی با انتهای بارگذاری شده و صفحه زمین کوچک به پهنای باند ۱۲۳٪ در  $VSWR < 2$  و سائز  $0.0838 \times 0.238$  دست پیدا کرده است. در کار بعدی با استفاده از آنتن تک قطبی بارگذاری

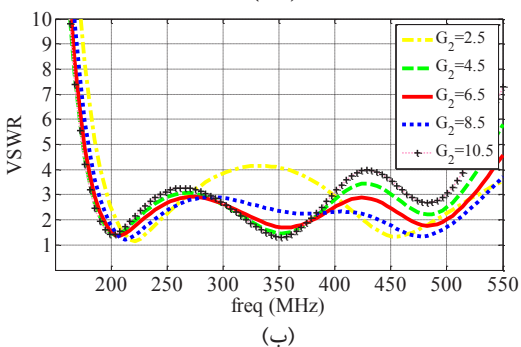
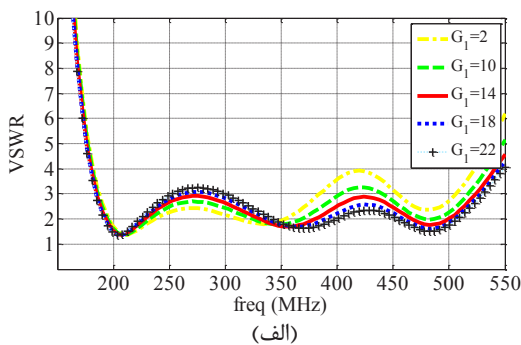
<sup>۲</sup> Very High Frequency  
<sup>۳</sup> Ultra High Frequency

<sup>۱</sup> Voltage Standing Wave Ratio

شکاف مؤثر دیده می‌شود، یکی مابین صفحه‌های زمین موجبر هم‌سطح و استوانه فلزی و دیگری بین صفحه‌های زمین و خط تغذیه موجبر هم‌سطح که به ترتیب با  $G_1$  و  $G_2$  نام‌گذاری شده‌اند.  $L_1$  و  $L_2$  به ترتیب طول استوانه فلزی و صفحه زمین CPW می‌باشند. همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد برای تطبیق امپدانس مطلوب بدون تغییر اندازه آنتن، خط تغذیه CPW به صورت غیر یکنواخت طراحی شده است که در نتیجه، پهنای صفحه زمین در طول آن از  $W_1$  به  $W_2$  تغییر می‌کند و استوانه فلزی دارای قطر  $D_1$  بوده و قطر تغذیه CPW در طول آن از  $D_2$  به  $D_3$  تغییر کرده است.

نکته قابل توجه آن است که در تمامی شبیه‌سازی‌های انجام شده برای مقادیر مختلف پارامترهای فوق، طول کلی ( $L_T$ ) و قطر ( $D_1$ ) آنتن ثابت است. به عبارت دیگر افزایش پهنای باند این آنتن با افزایش طول و یا قطر آنتن همراه نبوده است. به طور کلی ابعاد کلی آنتن که تابع دو پارامتر  $L_T$  و  $D_1$  است، صرفاً فرکانس شروع پهنای باند امپدانس آنتن را مشخص می‌کنند.

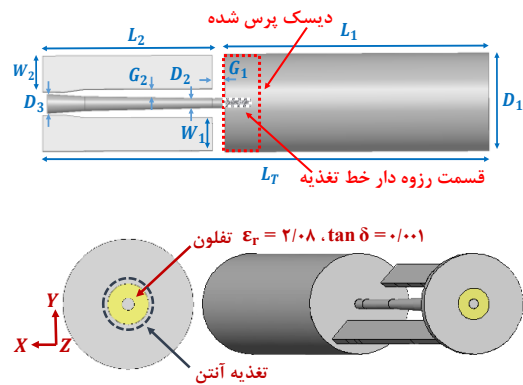
در ادامه به کمک چندین شبیه‌سازی تأثیر تغییرات پارامترهای CPW بر تطبیق امپدانس و در نتیجه پهنای باند آنتن با استفاده از نرم‌افزار تمام موج FEKO مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه باید توجه داشت معیار ارزیابی پهنای باند در تمامی نتایج ارائه شده،  $VSWR < 3$  است.



شکل ۲. بررسی تغییرات VSWR با مقادیر مختلف الف)  $G_1$  ب)  $G_2$

قطبی اشاره کرد که در سیستم‌های ارتباطی برای دریافت و ارسال اطلاعات از زمان آقای مارکونی (۱۹۰۰) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای مقابله با سیستم‌های شنود دشمن در بحث نظامی، آنتن مذکور به دلیل همه‌جهته بودن، پهنای باند بالا و سایز فشرده می‌تواند در کوله یا ماشین‌های جنگی قرار گرفته و اختلال ایجاد کند. به علاوه در بحث انرژی پاک از این آنتن می‌توان به صورت چایی استفاده کرد و باندهای مختلف انرژی فرکانس رادیویی که از مهم‌ترین آن‌ها  $1800 - GSM^f$ ،  $900 - GSM$  و  $2150 - UMTS^d$  هستند، پوشش داد.

## طراحی و شبیه‌سازی آنتن



شکل ۱. ساختار آنتن پیشنهادی

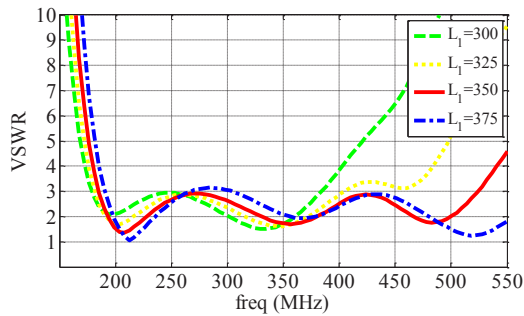
جدول ۱. ابعاد بهینه آنتن پیشنهادی

ابعاد	mm	ابعاد	mm
$L_1$	۳۴۶	$D_3$	۷
$L_2$	۱۹۰	$G_1$	۱۴
$L_T$	۵۶۵	$G_2$	۶/۵
$D_1$	۳۵	$W_1$	۹/۵
$D_2$	۳	$W_2$	۱۲/۵

ساختار آنتن پیشنهادی و پارامترهای هندسی آن در شکل ۱ نمایش داده شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است، این آنتن متشکل از یک خط تغذیه هم سطح ( $CPW^1$ ) متصل به استوانه فلزی است (از لحاظ مکانیکی: استوانه تو خالی است، خط تغذیه رزوه بیرونی داشته و در انتهای استوانه فلزی یک دیسک پرس شده که در مرکز آن رزوه داخلی زده شده است). که استوانه فلزی نقش تشعشی داشته و با ابعاد بزرگتر آن می‌توان مشخصات تشعشی آنتن را بهبود بخشید. خط تغذیه CPW بسیار انعطاف‌پذیر بوده و با تغییر در پارامترهای آن می‌توان به پهنای باند مطلوب دست یافت. در این ساختار دو

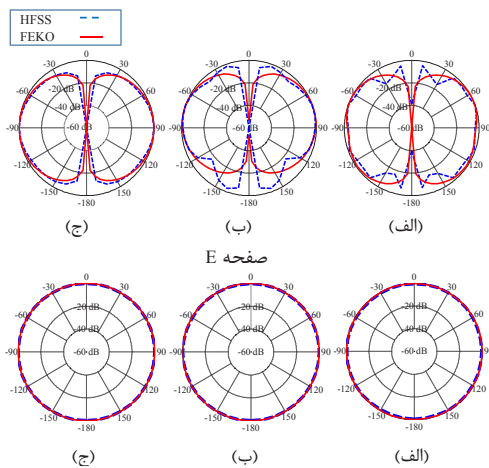
<sup>۴</sup> Global System for Mobile communications  
<sup>۵</sup> Universal Mobile Telecommunications System  
<sup>۶</sup> Coplanar Waveguide

کنترل می‌کند و بر میزان تطبیق (مقدار VSWR) در کل پهنای باند آنتن اثرگذار است و در ابتدای خط ( $D_3$ ) روی فرکانس پایان باند تأثیر می‌گذارد.



شکل ۵. بررسی تغییرات VSWR با مقادیر مختلف  $L_1$

شکل ۵، پهنای باند امپدانس را بر حسب تغییرات  $L_1$  نشان می‌دهد. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که  $L_1$  اساساً روی فرکانس انتهایی باند تأثیر می‌گذارد، به طوری که با افزایش  $L_1$ ، فرکانس تطبیق در انتهای باند افزایش می‌یابد. این پارامتر تأثیر زیادی در میزان تطبیق آنتن ندارد.

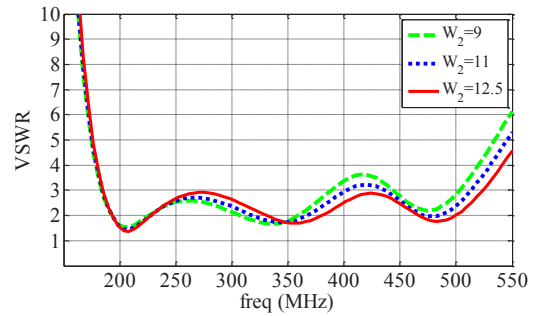


شکل ۶. الگوی تشعشی در فرکانس‌های الف (۱۸۵ MHz) ب (۳۵۴ MHz) ج (۵۲۳ MHz)

پس از شبیه‌سازی‌های بالا، ابعاد بهینه آنتن در جدول ۱ آورده شده است.

شکل ۶، الگوی تشعشی آنتن شبیه‌سازی شده در دو صفحه E و H برای سه فرکانس مختلف نشان می‌دهد. از نمودار مذکور مشخص است که آنتن پیشنهادی الگوی تشعشی شبیه یک آنتن تک قطبی در صفحه E دارد و همچنین در صفحه H الگوی تشعشی به خوبی همه جهته است.

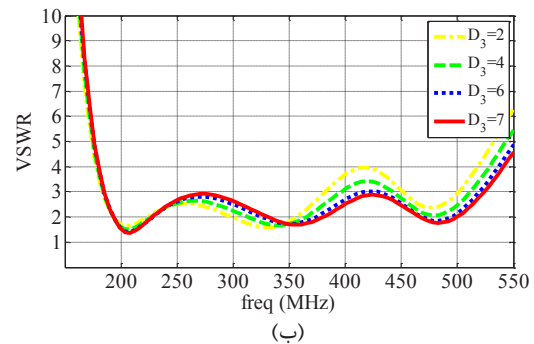
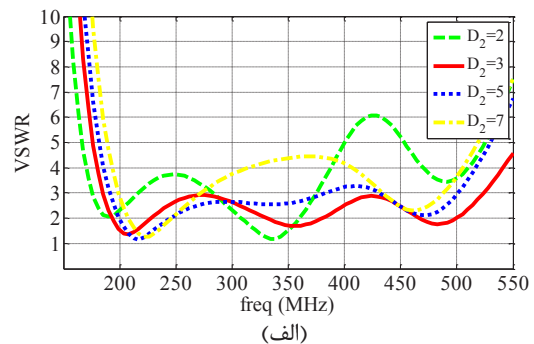
شکل ۷ تغییرات حداکثر بهره آنتن را بر حسب فرکانس نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است، بهره در کل پهنای باند فرکانسی آنتن همواره مثبت است. در این شکل



شکل ۳. بررسی تغییرات VSWR با مقادیر مختلف  $W_2$

شکل ۲، اثر تغییر دو پارامتر اصلی  $G_1$  و  $G_2$  را بر پهنای باند امپدانس آنتن به کمک چندین شبیه‌سازی نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، پارامتر  $G_1$  می‌تواند پهنای باند امپدانس آنتن را در فرکانس پایان کنترل کند، به طوری که فرکانس شروع پهنای باند تحت تأثیر قرار نگیرد. در سوی دیگر، پارامتر  $G_2$  که امپدانس مشخصه خط انتقال CPW را کنترل می‌کند، بر میزان تطبیق (مقدار VSWR) در کل پهنای باند آنتن اثرگذار است.

اثر تغییر پارامتر  $W_2$  در شکل ۳ نشان داده شده است. همانند پارامتر  $G_1$ ،  $W_2$  می‌تواند پهنای باند امپدانس آنتن را در فرکانس پایان کنترل کند، به طوری که فرکانس شروع پهنای باند تحت تأثیر قرار نگیرد.



شکل ۴. بررسی تغییرات VSWR با مقادیر مختلف الف ( $D_2$ ) ب ( $D_3$ )

شکل ۴، اثر تغییر دو پارامتر اصلی  $D_2$  و  $D_3$  را بر پهنای باند امپدانس آنتن نشان می‌دهد. اثر قطر تغذیه CPW روی فرکانس بالا و پایین باند، به این شکل است که تغییر قطر آن در انتهای خط ( $D_2$ ) امپدانس مشخصه خط انتقال CPW را

برای تأیید نتایج شبیه سازی نمونه ای از آنتن بر اساس ابعاد نشان داده شده در جدول ۱ ساخته شد که البته با توجه به محدودیت های ساخت، این طراحی به شکل مکانیکی دقیق نبوده و نتیجه اندازه گیری حاصله مناسب نیست. شکل ۹ نتایج حاصله از شبیه سازی و اندازه گیری آنتن ساخته شده را نشان می دهد، همان طور که از نتیجه شبیه سازی مشخص است، آنتن مذکور در بازه فرکانسی ۵۲۳-۱۸۵، شرایط VSWR کمتر از ۳ را داراست و در این پهنای باند تطبیق مناسبی برقرار است اما نتیجه اندازه گیری حاصله تطابق مطلوب را با آن ندارد. شکل ۱۰ طرح کلی آنتن ساخته شده را نشان می دهد.

جدول ۲. مقایسه آنتن پیشنهادی با دیگر مراجع

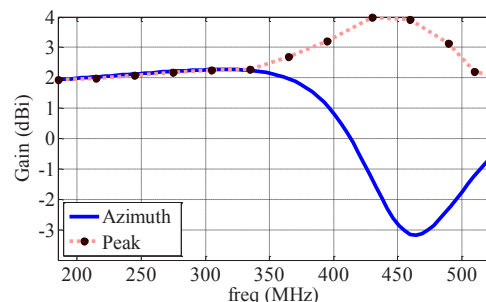
منبع	VSWR	بازه فرکانسی (GHz)	پهنای باند (%)	ابعاد (L × w)
[۱]	< ۲	۰/۵ - ۲/۱	۱۲۳	۰/۲۳λ × ۰/۰۸۳λ
[۲]	< ۲	۰/۷ - ۳	۱۲۴/۳	۰/۲۶λ × ۰/۰۹۶λ
[۳]	< ۳	۰/۶۵ - ۳/۱۵	۱۳۱/۶	۰/۳۳λ × ۰/۰۷λ
[۴]	< ۳	۲/۲ - ۷/۶	۱۱۰/۲	۰/۴۲λ × ۰/۰۷۴λ
[۵]	< ۳	۰/۴۴ - ۱/۳۵	۱۰۱/۷	۰/۶۱λ × ۰/۱۳λ
[۶]	< ۳	۰/۶۵ - ۳/۹	۱۴۲/۸	۰/۶۵λ × ۰/۰۶λ
[۷]	< ۳	۰/۶۹۸ - ۲/۷	۱۱۷/۸	۱/۲۷λ × ۰/۱۸۵λ
[۸]	< ۳	۳/۵ - ۱۴/۵	۱۲۲/۲	۰/۴۶λ × ۰/۲۷λ
[۹]	< ۳	۲/۲۵ - ۲۴	۱۶۵/۷	۰/۶۳λ × ۰/۰۴۷λ
[۱۰]	< ۳	۲/۳ - ۱۸	۱۵۴/۷	۰/۳۲λ × ۰/۰۱۹λ
آنتن پیشنهادی	< ۳	۰/۱۸ - ۰/۵۲	۹۵/۵	۰/۳۵λ × ۰/۰۲λ

جدول ۲ آنتن پیشنهادی را از نظر ابعاد و پهنای باند امپدانسی با سایر کارهای انجام شده مقایسه می کند. با توجه به موارد اشاره شده در این جدول ابعاد آنتن پیشنهادی در مقایسه با ابعاد آنتن هایی با پهنای باند امپدانسی مشابه، دارای حاصل-ضرب ابعادی کمتر است.

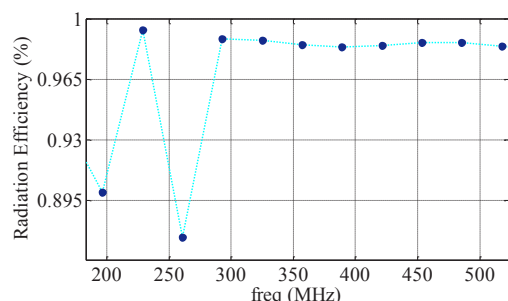
### نتیجه گیری

آنتن آستینی با تغذیه CPW غیر یکنواخت با ساختاری انعطاف پذیر شبیه سازی شد و نیز مشخصات تشعشعی آن نمایش داده شد. برای دستیابی به آنتنی با ساختار فشرده با سائز فیزیکی  $۰/۰۲۱λ \times ۰/۳۴۸λ$  و پهن باند با پهنای باند ۹۵/۵٪ در شرایط VSWR کمتر از ۳، پارامترهای مختلف آنتن مورد مطالعه قرار گرفتند و تأثیر آن ها بیان شد. همان طور که

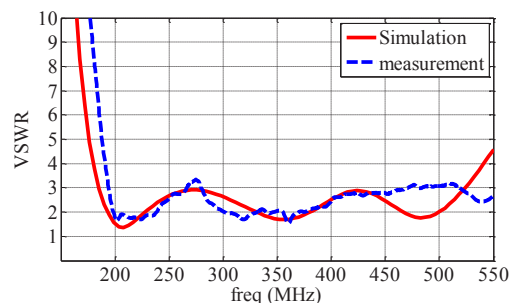
بهره در راستای افق نیز نمایش داده شده است. شکل ۸، تغییرات راندمان تشعشعی آنتن پیشنهادی را بر حسب فرکانس نشان می دهد که با توجه به شکل تقریباً در کل پهنای باند بالای ۹۰ درصد می باشد.



شکل ۷. تغییرات بهره افقی و حداکثر بر حسب فرکانس برای آنتن پیشنهادی



شکل ۸. تغییرات بهره افقی و حداکثر بر حسب فرکانس برای آنتن پیشنهادی



شکل ۹. نمودار تغییرات VSWR بر حسب فرکانس

### نتایج اندازه گیری و مقایسه آنتن



شکل ۱۰. نمونه آنتن پیشنهادی

- [7] Q. Wu, Y. Zhou and S. Guo, "An L-Sleeve L-Monopole Antenna Fitting a Shark-fin Module for Vehicular LTE, WLAN and car-to-car Communications," in IEEE Transactions on Vehicular Technology.
- [8] C. Ding, C. Ruan, L. Peng and X. Yin, "Wideband planar open-sleeve dipole on magnetic dielectric material based EBG substrate," 2009 3rd IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, Beijing, 2009, pp. 557-559.
- [9] N. M. Awad, M. K. Abdelazeez and A. A. Sharif, "UWB antenna based on ground modifications," 2017 IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT), Aqaba, 2017, pp. 1-5.
- [10] M. Ojaroudi, G. Ghanbari, N. Ojaroudi and C. Ghobadi, "Small Square Monopole Antenna for UWB Applications With Variable Frequency Band-Notch Function," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 8, pp. 1061-1064, 2009.
- [11] A. S. Abbas and M. K. Abdelazeez, "A dual band notch planar SWB antenna with two vertical sleeves on slotted ground plane," 2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI), Fajardo, 2016, pp. 2131-2132.
- [12] J. Y. Lai, C. W. Hsu, K. W. Li and C. J. Wang, "A wideband CPW-fed monopole antenna with linear and circular polarizations," 2017 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, San Diego, CA, 2017, pp. 327-328.
- [13] R. Pazoki, A. Kiaee, P. Naseri, H. Moghadas, H. Oraizi and P. Mousavi, "Circularly Polarized Monopole L-Shaped Slot Antenna With Enhanced Axial-Ratio Bandwidth," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 15, pp. 1073-1076, 2016.

در شکل ۲ نشان داده شد، این آنتن دارای الگوی تشعشعی همه‌جهته است. در نهایت مقایسه آنتن مذکور با دیگر آنتن‌ها صورت گرفت.

این آنتن برای کاربردهایی که به سائز حداقل، پهنای باند مناسب و الگوی تشعشعی همه‌جهته نیاز دارند، پیشنهاد می‌شود. آنتن مذکور به دلیل محدودیت‌های ساخت، به شکلی دقیق طراحی نشده و نیاز به دقت ساخت بالا در این آنتن با توجه به حساسیت خط تغذیه CPW غیر یکنواخت به تغییر حداقل پارامترهای آن می‌باشد.

### مراجع

- [1] K. G. Thomas, N. Lenin and M. Sreenivasan, "Wide-band dual sleeve antenna," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 54, no. 3, pp. 1034-1037, March 2006.
- [2] E. Ghafari and D. N. Aloï, "Top-loaded UWB monopole antenna for automotive applications," Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, Chicago, IL, 2012, pp. 1-2.
- [3] B. Yuan, J. Xiong, S. Lang, C. Li, Y. Fu and P. Liang, "Wideband dual-sleeve antenna with end-loaded technology for 2G/3G/4G mobile communications," 2015 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), Nanjing, 2015, pp. 1-3.
- [4] T. Oki, T. H. Nguyen, M. Sakuma and H. Morishita, "Basic characteristics of wideband sleeve antenna," 2014 International Symposium on Antennas and Propagation Conference Proceedings, Kaohsiung, 2014, pp. 231-232.
- [5] S. L. Zuo, Z. Y. Zhang and J. W. Yang, "Planar Meander Monopole Antenna With Parasitic Strips and Sleeve Feed for DVB-H/LTE/GSM850/900 Operation in the Mobile Phone," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 12, pp. 27-30, 2013.
- [6] Z. Y. Zhang, G. Fu, W. J. Wu, J. Lei and S. X. Gong, "A Wideband Dual-Sleeve Monopole Antenna for Indoor Base Station Application," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 10, pp. 45-48, 2011.

