

طراحی و ساخت آنتن یاگی یودا ریزنواری با قابلیت کار در دو باند فرکانسی ۰/۹۱۵ و ۲/۴۴۰ گیگاهرتز

وحید نجفی^۱، دانش آموخته کارشناسی؛ محمد بمانی^۲، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران - vnajafy3@gmail.com

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران - bemani@tabrizu.ac.ir

چکیده: در این مقاله ساختار جدیدی برای آنتن یاگی یودا ریزنواری معرفی شده است که قابلیت کار در دو باند فرکانسی ۰/۹۱۵ و ۲/۴۴۰ گیگاهرتز را دارا می باشد. آنتن پیشنهادی بر روی زیرلایه FR4 با ابعاد 12×12.5 سانتی متر مربع و ضخامت $1/6$ میلی متر طراحی شده است. جهت بررسی و تأیید عملکرد آنتن پیشنهادی، ساختار طراحی شده، ساخته شده است. مطابقت خوب نتایج شبیه سازی شده و اندازه گیری شده عملکرد آنتن طراحی شده را تأیید می کند. مشخصه افت بازگشتی در هر دو باند فرکانسی بیش از ۲۰ دسی بل است. همچنین، بهره این آنتن در فرکانس ۰/۹۱۵ گیگاهرتز ۶/۱۵ دسی بل و در فرکانس ۲/۴۴۰ گیگاهرتز ۹/۵۵ دسی بل است. افت بازگشتی مناسب، بهره بالا در هر دو باند فرکانسی، مشخصه F/B مناسب، ابعاد کوچک و هزینه ساخت کم، این آنتن را به گزینه خوبی برای استفاده در ادوات مخابراتی دوباندی تبدیل کرده است.

واژه های کلیدی: آنتن ریزنواری، آنتن یاگی یودا، بهره، دوباندی.

Design and Fabrication of Dual-band Microstrip Yagi-Uda Antenna for Use in 0.9 GHz and 2.4 GHz Frequency bands

V. Najafy¹, BSc; M. Bemani², Assistant Professor

1-Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: vnajafy3@gmail.com

2-Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: bemani@tabrizu.ac.ir

Abstract: In this paper a novel structure of Microstrip Yagi-Uda antenna is introduced to use in two frequency bands of 0.915GHz and 2.440GHz. FR4 with dimension of 12×12.5 cm² and height of 1.6 mm is used as substrate. A prototype of the antenna is fabricated to check its operation. Comparison of the simulation and measurement results confirms the operation of antenna. Return loss of the antenna at the operation frequencies is more than 20dB. Gain of the antenna at 0.915 GHz and 2.440 GHz is respectively 6.15 dB and 9.55 dB. Appropriate return loss, high gain at the operation frequencies, desired F/B ratio, low cost and compact size made this antenna suitable for various communication applications.

Keywords: Microstrip antenna, Yagi-Uda, Gain, Dual-band.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۱۷

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۱۶

نام نویسنده مسئول: محمد بمانی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تبریز - بلوار ۲۹ بهمن - دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل رشد چشم‌گیر مخابرات بی‌سیم و همچنین افزایش تقاضا برای سیستم‌های دارای دو باند کاری، نیاز به آنتن‌های با دو باند فرکانسی بیش از پیش احساس می‌شود [۱]. روش‌های گوناگونی برای طراحی ادوات میکروویوی و آنتن‌ها پیشنهاد شده است [۲، ۳]. از طرف دیگر، یکی از آنتن‌های پرکاربرد در بسیاری از سیستم‌های مخابراتی آنتن یاگی یودا است. آنتن یاگی یودا نخستین بار توسط Shintaro Uda و Hidetsugu Yagi معرفی شد [۴]. این آنتن از یک عنصر درایور که مستقیماً توسط منبع، تغذیه می‌شود و چندین عنصر پارازیتی به عنوان منعکس کننده و جهت دهنده تشکیل شده است [۵]. آنتن یاگی یودا به طور معمول دارای عملکرد تک بانندی است. در سال‌های اخیر نوع ریزنواری آنتن یاگی یودا به جهت اندازه کوچک، ساخت آسان، وزن و هزینه کم مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۶-۸]. اما به علت گسترش روزافزون ادوات چندباندی، تلاش‌هایی برای بهبود و چندباندی کردن این آنتن به چشم می‌خورد [۹، ۱۰].

در این مقاله به طراحی و ساخت آنتن یاگی یودا ریزنواری با قابلیت کار دو باند فرکانسی ۰/۹۱۵ و ۲/۴۴۰ گیگاهرتز پرداخته شده است. فرکانس‌های طراحی به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که فرکانس اول (۰/۹۱۵ گیگاهرتز) در باند فرکانسی UHF (از فرکانس ۰/۹۰۲ گیگاهرتز تا ۰/۹۲۸ گیگاهرتز) و فرکانس دوم (۲/۴۴۰ گیگاهرتز) در باند فرکانسی ISM (از فرکانس ۲/۴۴۰ گیگاهرتز تا ۲/۴۸۳ گیگاهرتز) قرار دارند [۱۱]. این دو باند فرکانسی به این دلیل انتخاب شدند که ساختار نهایی قابلیت استفاده در فناوری RFID را داشته باشد. آنتن پیشنهادی بر روی زیرلایه ارزان قیمت FR4 با مشخصه ثابت دی الکتریک ۴/۴ و ضخامت ۱/۶ میلی متر طراحی شده است. ساختار مقاله ارائه شده به صورت زیر خواهد بود. در بخش دوم به معرفی ساختار و ابعاد آنتن پیشنهادی پرداخته شده است. فصل سوم، نتایج شبیه سازی و اندازه گیری ارائه شده است و در نهایت نتیجه گیری و ویژگی‌های آنتن طراحی شده در بخش چهارم خلاصه شده است.

۲- معرفی ساختار و ابعاد آنتن یاگی یودا ریزنواری

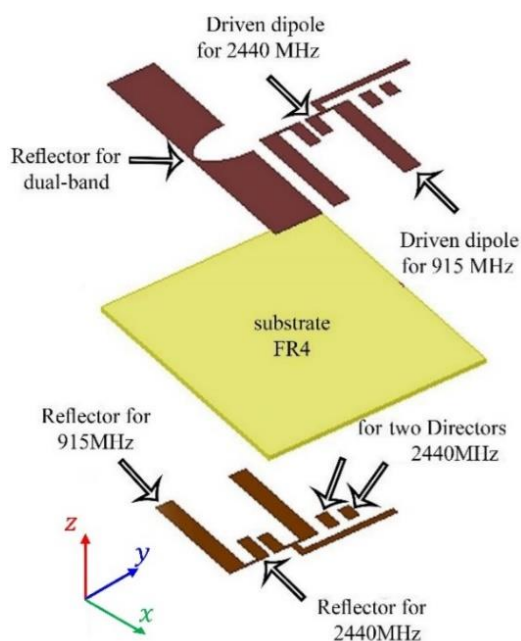
ساختار کلی آنتن یاگی یودا ریزنواری پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است.

طرح پایه آنتن ریزنواری یاگی یودا با دو عنصر تغذیه شونده درایور آغاز شده است. در این ساختار دو درایور ریزنواری دوقطبی با طول‌های متفاوت که توسط خط انتقال ۵۰ اهمی به منبع تغذیه متصل شده‌اند باعث ایجاد دو باند فرکانسی ۰/۹۱۵ و ۲/۴۴۰ گیگاهرتز شده‌اند. با تغییر اندازه درایورها به صورت جداگانه شاهد تغییر فرکانس در هر باند خواهیم بود. به عبارت دیگر، به کمک تعیین طول درایورها می‌توان فرکانس‌های کاری و حتی نسبت فرکانسی را تنظیم کرد. ابعاد دوقطبی‌های راه انداز (درایورها) به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که به طور تقریبی طول محیط پیچ ریزنواری برابر $\frac{\lambda}{2}$ باشد که البته در این رابطه λ به کمک ضریب نفوذ پذیری

الکتریکی مؤثر محاسبه شده است. به عنوان مثال، برای فرکانس ۲/۴۴۰ گیگاهرتز طول موج مؤثر برابر است با:

$$\lambda = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{3 \times 10^8}{2.440 \times 10^9 \times \sqrt{3.37}} = 67.55 \text{ mm} \quad (1)$$

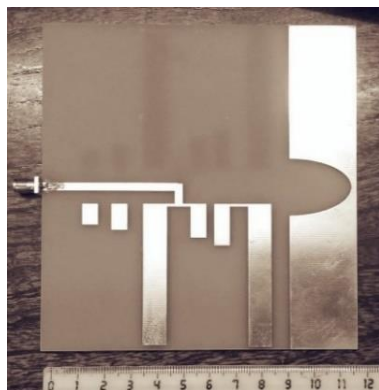
که در رابطه بالا $\sqrt{3.37}$ توسط نرم افزار TX - LINE برای زیرلایه FR4 محاسبه شده است. بنابراین، $\frac{\lambda}{2}$ برابر ۳۳.۷۷ mm می‌شود. در شکل پیشنهادی ۱ نیز طول درایور مرتبط با این فرکانس، پس از بهینه سازی‌های لازم، به طور تقریبی برابر ۳۹ میلی متر می‌باشد. در مورد درایور مربوط به فرکانس ۰/۹۱۵ گیگاهرتز نیز به همین نحو عمل شده است. البته مجدداً لازم به ذکر است که در انتهای طراحی، برای تنظیم دقیق تر باندهای فرکانسی، به کمک نرم افزار HFSS بهینه سازی‌های لازم صورت گرفته است.



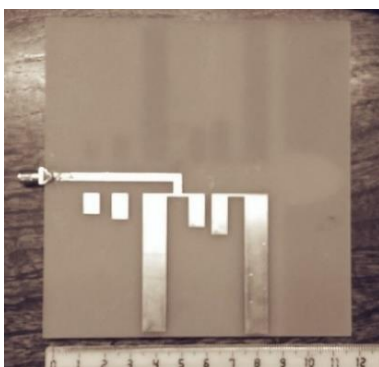
شکل ۱: ساختار کلی آنتن یاگی یودا ریزنواری پیشنهادی

همچنین، برای افزایش بهره در هر دو باند فرکانسی، از یک منعکس کننده دوقطبی در هر دو باند به صورت جداگانه و دو جهت دهنده دوقطبی برای باند فرکانسی ۲/۴۴۰ گیگاهرتز استفاده شده است. علاوه بر این، به منظور افزایش بیشتر بهره در هر دو باند فرکانسی مورد نظر از یک منعکس کننده کلی (که دارای قوسی در وسط می‌باشد) در قسمت بالای زیرلایه استفاده شده است. برای اینکه منعکس کننده هر دو باند فرکانسی باعث افزایش بهره شود می‌بایست از هر دو درایور بزرگ تر باشد از طرفی چون جهت بیشترین بهره مورد نظر در پشت آنتن است بایستی منعکس کننده کلی بالای آنتن قرار گیرد. از طرفی، برای جلوگیری از موج‌های سطحی بازگشتی به طرف خط انتقال ۵۰ اهمی شکاف بیضی شکلی تعبیه شده که باعث ثابت ماندن باندهای فرکانسی

مقایسه با اندازه E_ϕ است و در واقع الگوی تشعشی نهایی آنتن بیشتر ناشی از E_ϕ است. علاوه بر این، به منظور تکمیل شکل الگوی تشعشی آنتن پیشنهادی، الگوی تشعشی E_ϕ در صفحه $X-Y$ در شکل ۷ نشان داده شده است.

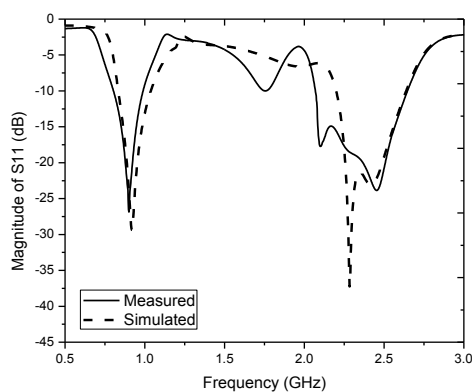


(الف)



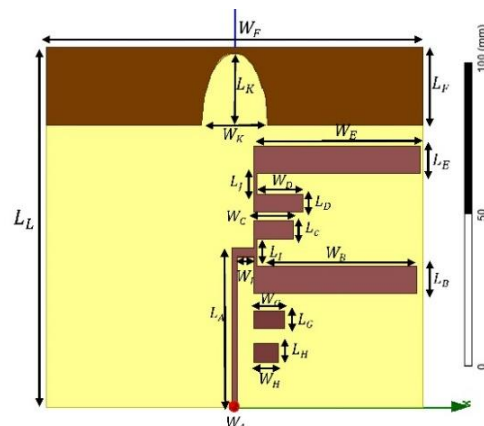
(ب)

شکل ۳: طرح نهایی ساخته شده آنتن ریزنواری یاگی بودا پیشنهادی (الف) روی آنتن (ب) زیر آنتن.



شکل ۴: نمودار افت بازگشتی آنتن ریزنواری یاگی بودا

در نمودار افت بازگشتی آنتن می شود. ابعاد این ساختار در شکل ۲ و جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۲: ابعاد آنتن یاگی بودا پیشنهادی. ضخامت زیر لایه $h=1.6 \text{ mm}$.

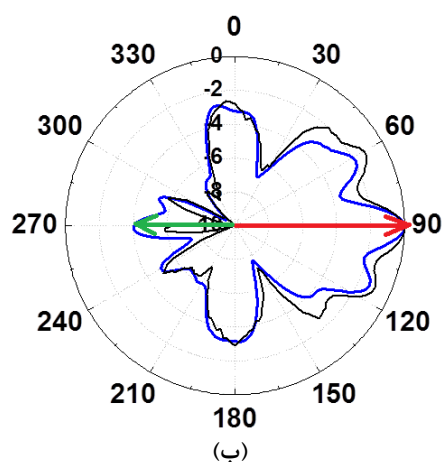
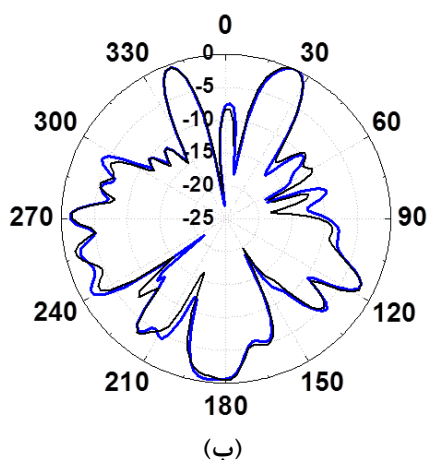
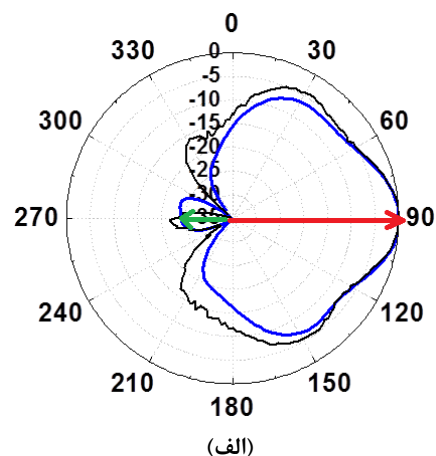
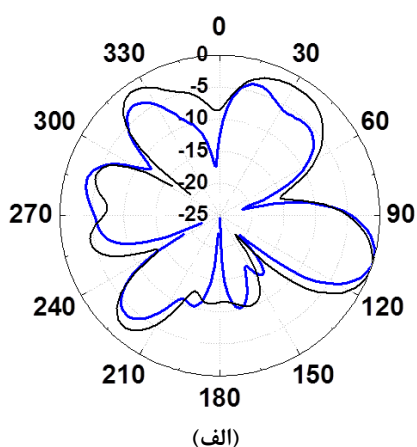
جدول ۱: ابعاد آنتن یاگی بودا پیشنهادی (ابعاد بر حسب میلی متر می باشد).

W_F	۱۲۵	L_I	۹	L_A	۵۳
W_G	۱۰	L_J	۷	L_B	۹
W_H	۸	L_K	۲۴	L_C	۶
W_I	۵	W_A	۳	L_D	۶
W_K	۲۲	W_B	۵۴	L_E	۹
h	۱.۶	W_C	۱۳	L_F	۲۶
L_L	۱۲۰	W_D	۱۶	L_G	۶
L_H	۶	W_E	۵۵		

۳- شبیه سازی و اندازه گیری

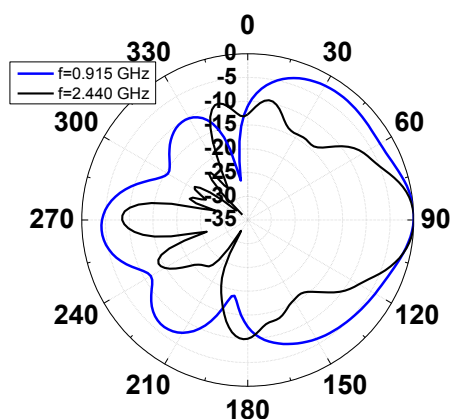
آنتن پیشنهادی به کمک نرم افزار HFSS شبیه سازی شده است. همچنین، طراحی نهایی ساخته شد. شکل ۳ آنتن ساخته شده را نشان می دهد.

افت بازگشتی آنتن طراحی شده در شکل ۴ نمایش داده شده است. همان طور که در شکل مشخص است نتایج اندازه گیری و شبیه سازی تطابق خوبی با یکدیگر داشته و آنتن طراحی شده، به خوبی دو باند فرکانسی UHF (از ۰/۹۰۲ تا ۰/۹۲۸ گیگاهرتز) و ISM (از ۲/۴۰۰ تا ۲/۴۸۳ گیگاهرتز) را پوشش می دهد و میزان افت بازگشتی ورودی نیز در هر دو باند فرکانسی مطلوب است. تفاوت بین نتایج شبیه سازی و اندازه گیری به دلیل تلورانس ثابت دی الکتریک FR4 و خطاهای مراحل ساخت و اندازه گیری می باشد. همچنین، الگوی تشعشی نرمالیزه شده E_θ و E_ϕ آنتن طراحی شده، به ترتیب در شکل ۵ و ۶ ارائه داده شده است. همان طور که در این شکل ها مشخص است الگوی تشعشی در هر دو فرکانس در راستای $\theta = 90^\circ$ و $\phi = 90^\circ$ جهت مند می باشد. لازم به ذکر است که الگوی تشعشی E_θ دارای اندازه بسیار کوچک تری در



شکل ۶: الگوی تشعشعی شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده E_θ نرمالیزه شده آنتن یاگی یودا در صفحه $\phi = 90^\circ$ (الف) (صفحه YZ) فرکانس ۰/۹۱۵ گیگاهرتز (ب) فرکانس ۲/۴۴۰ گیگاهرتز (خط مشکی نتایج اندازه‌گیری و خط آبی نتایج شبیه‌سازی است).

شکل ۵: الگوی تشعشعی شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده E_ϕ نرمالیزه شده آنتن یاگی یودا در صفحه $\phi = 90^\circ$ (الف) (صفحه YZ) فرکانس ۰/۹۱۵ گیگاهرتز (ب) فرکانس ۲/۴۴۰ گیگاهرتز (خط مشکی نتایج اندازه‌گیری و خط آبی نتایج شبیه‌سازی است).



شکل ۷: الگوی تشعشعی شبیه‌سازی شده E_ϕ نرمالیزه شده آنتن یاگی یودا در صفحه XY

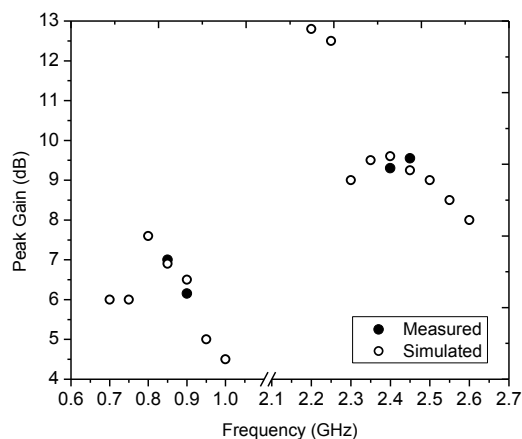
بهره آنتن یاگی یودای طراحی شده در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است آنتن پیشنهادی دارای بهره ۶/۱۵ دسی‌بل در باند فرکانسی ۰/۹۱۵ و ۹/۵۵ دسی‌بل در باند فرکانسی ۲/۴۴۰ گیگاهرتز است. لازم به ذکر است که نسبت F/B (Front to back) آنتن طراحی شده در باند فرکانسی اول ۲۲/۵ دسی‌بل و در باند فرکانسی دوم ۸ دسی‌بل است که در مقایسه با نمونه طراحی شده پیشین بهبود چشمگیری یافته است. لازم به ذکر است که نسبت F/B قدرت تشعشع در جهت ماکزیمم انتشار (فلش قرمز در شکل ۵) به قدرت تشعشع در جهت خلاف انتشار یا بخش عقب تشعشع (فلش سبز در شکل ۵) است. همچنین ضریب بازده شبیه‌سازی شده آنتن پیشنهادی در فرکانس‌های ۰/۹۱۵ و ۲/۴۴۰ به ترتیب ۸۷٪ و ۷۹٪ درصد است.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله ساختار جدیدی برای آنتن ریزنوار یوگا یودا با قابلیت کار در دو باند فرکانسی ۰/۹۱۵ و ۲/۴۴۰ گیگاهرتز ارائه شد. ساختار پیشنهادی طراحی و ساخته شد. نتایج اندازه گیری مطابقت خوبی را با نتایج شبیه سازی نشان می دهد. افت بازگشتی کمتر از ۲۰ دسی بل در هر دو باند فرکانسی پیشنهادی به دست آمد. همچنین، به ترتیب بهره ۶/۱۵ و ۹/۵۵ دسی بل در فرکانس اول و دوم به دست آمده است. با توجه به نتایج به دست آمده، آنتن پیشنهادی گزینه مناسبی برای استفاده در سیستم های مخابراتی بی سیم دوباندی نظیر RFID است.

مراجع

- [1] I. T. Nassar, H. Tsang, D. Bardroff, C. P. Lusk, T. M. Weller, "Mechanically reconfigurable, dual-band slot dipole antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 7, pp. 3267 - 3271, 2015.
- [2] X. -Q. Zhu, Y. -X. Guo, W. Wu, "Miniaturized dual-band and dual-polarized antenna for MBAN applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, no. 7, pp. 2805-2814, 2016.
- [3] P. Velez, J. Bonache, F. Martin, "Dual-band balanced bandpass filter with common-mode suppression based on electrically small planar resonators," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 26, no. 1, pp. 16-18, 2016.
- [4] H. Yagi, Sh. Uda, "Projector of the Sharpest Beam of Electric Waves," *Proc. of the Imperial Academy of Japan*, pp. 49-52. Retrieved September 11, 2014.
- [5] J. Prachi, H. Zohaib, "Dual band biplanar quasi-Yagi antenna with inset feed," *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, vol. 2, no. 10, pp. 579-589, 2015.
- [6] P. Rodriguez-Ulibarri, T. Bertuch, "Microstrip-fed complementary Yagi-Uda antenna," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 10, no. 9, pp. 926 - 931, 2016.
- [7] M. C. Tang, T. Shi, R. W. Ziolkowski, "Flexible efficient quasi-Yagi printed uniplanar antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 12, pp. 5343 - 5350, 2015.
- [8] M. K. Aghwariya1, P. K. Singhal, "Dual director microstrip planar Yagi-Uda antenna for XBand," *International Journal of Electronics, Computer & Communications Technologies*, vol. 3, no. 2, pp. 23-25, 2013.
- [9] J. M. Floch H, A. E. Sayed Ahmad, "Dual-Band Printed Dipole Antenna with Parasitic Element for Compensation of Frequency Space Attenuation," *International Journal of Electromagnetics and Applications*, vol. 2, no. 5, pp. 120-128, 2012.
- [10] H. C. Huang, J. C. Lu, "A compact dual-band printed Yagi-Uda antenna for GNSS and CMMB applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, No. 5, pp. 2342-2348, 2015.
- [11] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3rded, Hobkoben, NL: John Wily & Sons, 2005.



شکل ۸: پیک بهره آنتن یوگا یودای ریزنوار دوباندی پیشنهادی

جدول ۲، مقایسه ای از مشخصه های فیزیکی و الکتریکی آنتن طراحی شده با نمونه ساخته شده پیشین در [۹] را ارائه می دهد. همان طور که مشخص است آنتن پیشنهادی در ابعادی کوچک تر، مشخصه افت بازگشتی و بهره مناسب تری را ارائه می کند.

جدول ۲: مقایسه پارامترهای این ساختار با مرجع [۹].

		ساختار پیشنهادی در این مقاله		مرجع [۹]
				
فرکانس رزونانس	f_1	915 _{MHz}	2450 _{MHz}	
	f_2	2440 _{MHz}	5710 _{MHz}	
ابعاد آنتن به طول موج	f_1	0.038	0.04	
	f_2	0.095	0.097	
بهره کل	f_1	6.15 _{dB}	5.2 _{dB}	
	f_2	9.55 _{dB}	8 _{dB}	
تلفات بازگشتی	f_1	23.6 _{dB}	20.1 _{dB}	
	f_2	24.2 _{dB}	23.9 _{dB}	
زیر لایه	ϵ_r	4.4	2.17	
	h	1.6 _{mm}	0.79 _{mm}	