

## طراحی، شبیه‌سازی و ساخت آنتن فابری پرو تک‌باند با قطبش دایروی در باند Ku

یوسف عزیزی<sup>۱</sup> نادر کمجانی<sup>۲</sup> محمدامین چایچی‌زاده<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه علم و صنعت ایران- تهران- ایران  
[yousefazizi@elec.iust.ac.ir](mailto:yousefazizi@elec.iust.ac.ir)

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه علم و صنعت ایران - تهران- ایران  
[n\\_komjani@iust.ac.ir](mailto:n_komjani@iust.ac.ir)

۳- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه علم و صنعت ایران- تهران- ایران  
[M\\_chaychizadeh@elec.iust.ac.ir](mailto:M_chaychizadeh@elec.iust.ac.ir)

**چکیده:** در این مقاله طراحی، شبیه‌سازی و ساخت آنتن فابری پرو تشدید با قطبش دایروی راستگرد در فرکانس ۱۴/۵ GHz ارائه می‌شود. بر مبنای روش خط انتقال رولایه آنتن به گونه‌ای طراحی شده است که به‌طور همزمان افزایش بهره و قطبش دایروی موج را تحقق می‌بخشد. رولایه پیشنهادی شامل حلقه مربعی و خطوط خمیده به ترتیب در سطوح بالا و پایین می‌باشد. به منظور تحقق شرط تشدید مؤلفه‌های متعام میدان الکتریکی و دستیابی به قطبش دایروی، در صفحه زمین آنتن از شکاف مستطیلی استفاده شده است. ابعاد شکافها به‌گونه‌ای است که عملکرد صفحه زمین به صفحه ایده‌آل نزدیک‌تر بوده و انتقال توان شکافها ناچیز باشد تا گلبزرگ پشتی آنتن کم باشد. آنتن منبع، یک آنتن پچ با قطبش خطی بوده که جهت تولید مؤلفه‌های متعام میدان الکتریکی به میزان  $43^\circ$  چرخیده است. آنتن دارای  $16\text{dB}$  بهره بوده و پهنای باند  $VS\text{WR} < 2$  و  $AR < 3\text{ dB}$  آنتن به ترتیب  $1/7\%$  و  $7\%$  می‌باشد. آنتن با ابعاد  $95 \times 95 \text{ mm}^2$  ( $4\lambda \times 4\lambda$ ) ساخته شده و تطابق خوبی میان نتایج شبیه‌سازی و ساخت وجود دارد.

**کلمات کلیدی:** آنتن فابری پرو، رولایه، روش خط انتقال، قطبش دایروی

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۲۳

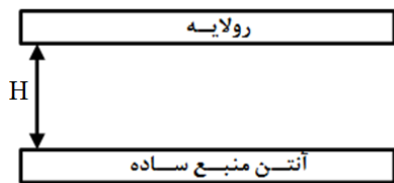
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۱۵

نام نویسنده‌ی مسئول: یوسف عزیزی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: تهران - نارمک - خیابان حیدرخانی - دانشگاه علم و صنعت ایران - دانشکده‌ی برق

۲- اصول طراحی آنتن فابری پرو

نمای کلی ساختار یک آنتن فابری پرو با ساختار تشدیدی که شامل یک آنتن منبع ساده، رولایه و در صورت نیاز صفحه زمین تغییر یافته می باشد در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): نمای کلی ساختار آنتن فابری پرو

فاصله H مورد نیاز جهت ایجاد تشدید در محفظه و تداخل سازنده امواج عبوری از رولایه طبق رابطه زیر محاسبه می شود [۱].

$$H = \left( \frac{\Psi_{\Gamma_{PRS}} + \Psi_{\Gamma_{GND}}}{\pi} \times \frac{\lambda}{4} + N \frac{\lambda}{2} \right), N = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1)$$

در رابطه (۱)  $\varphi_{\Gamma_{PRS}}$  فاز موج بازگشتی از رولایه و  $\varphi_{\Gamma_{GND}}$  فاز موج بازگشتی از صفحه زمین می باشند. هر چه مقدار N کمتر باشد سطح گلبگ فرعی ساختار فابری پرو کمتر می شود. مقدار افزایش بهره از محفظه تشدید فابری پرو طبق رابطه زیر به دامنه بازگشتی از رولایه بستگی دارد [۱].

$$|T|_{\max}^2 = |E_0|^2 \frac{1 + |\Gamma_{PRS}|}{1 - |\Gamma_{PRS}|} \quad (2)$$

طبق رابطه (۲) اندازه توان بیشینه خارج شونده از محفظه،  $|T|_{\max}^2$  متناسب با توان نرمالیزه منبع در میدان راه دور  $|E_0|^2$  می باشد براساس [۳] بیشینه بهره قابل حصول رولایه با  $\Gamma_{OPT}$  حاصل می شود و افزایش بیشتر  $\Gamma$  رولایه نه تنها منجر به افزایش بهره محفظه نمی شود که حتی باعث کاهش بهره ساختار فابری پرو نیز می شود.

۳- طراحی و ساخت آنتن فابری پرو

ساختار آنتن فابری پرو پیشنهادی متشکل از یک المان تشعشع کننده و رولایه تک لایه در شکل (۲) نشان داده شده است. در این بخش، ابتدا روش طراحی و پیاده سازی رولایه با استفاده از روش خط انتقال را توضیح می دهیم. هدف اصلی ما در این طراحی استفاده از حلقه مربعی در یک طرف رولایه برای افزایش بهره و خطوط خمیده در طرف دیگر رولایه برای ایجاد قطبش دایروی است. با توجه به مدل خط انتقالی شکل (۳)، امپدانس خطوط خمیده قطبشگر  $Z_{MLP}$  و امپدانس حلقه مربعی ( $Z_{SL}$ ) مجهولات مسئله ما هستند.

آنتن فابری پرو امروزه به علت بهره بالا مورد توجه بسیاری از طراحان قرار گرفته است. آنتن های آرایه ای، سهموی، بوقی و آرایه بازتابی دارای بهره بالایی هستند [۱]. اما نیاز به طراحی آنتن با ابعاد کمتر و هزینه مناسب در کاربردهای مختلف وجود دارد. استفاده از آنتن های با قطبش دایروی و چند قطبشی موجب کاهش اثرات محوشدگی محیطی و افت قطبش می شود [۲-۴]. در آنتن های فابری پرو از رولایه (PRS<sup>۱</sup>) یک یا چند لایه ای به منظور افزایش بهره و یا قطبیدگی موج استفاده می شود. ایده افزایش بهره ساختار فابری پرو براساس تداخل سازنده امواج عبوری از رولایه می باشد [۵]. افزایش بهره ساختار تشدید فابری پرو به هر مقدار دلخواه ممکن نیست و به ازای هر رولایه یک دامنه بازگشتی وجود دارد که به ماکزیمم بهره ساختار منجر می شود [۶]. استفاده از سطوح انتخابگر فرکانس (FSS<sup>۲</sup>) دارای مدل مداری به سرعت و دقت طراحی می افزاید [۷]. روش های تحلیل مختلفی برای تحلیل محفظه تشدید فابری پرو ارائه شده است [۸-۱۲]. آنتن های فابری پرو با قطبش خطی دارای ساختار فلزی حجیمی هستند [۱۳-۱۴]. ساختارهای با حجم کمتر نیز طراحی شده اند [۱۵-۱۷]. با استفاده از رولایه غیرهمگن و یا رولایه دارای فاز صعودی، پهنای باند محفظه تشدید فابری پرو افزایش می یابد [۱۸-۲۰]. جهت طراحی آنتن فابری پرو با قطبش دایروی سه روش وجود دارد. در روش اول از منبع با قطبش دایروی و رولایه با هدف افزایش بهره استفاده می شود. [۲۱-۲۵]. در روش دوم از آنتن با قطبش خطی و قطبشگر مجزا روی رولایه استفاده می شود [۲۶-۳۰]. در روش سوم، آنتن منبع دارای قطبش خطی بوده و هدف، طراحی رولایه با هدف افزایش بهره و ایجاد قطبش دایروی است [۳۱-۳۳]. در این مقاله از روش سوم برای طراحی استفاده شده است. به علاوه برای نخستین بار یک مدار معادل برای رولایه تک لایه ارائه می گردد که بطور همزمان افزایش بهره و قطبش دایروی را حاصل می کند. مقادیر المان های این مدار معادل (سلف ها و خازن ها) با تشکیل یک تابع خطا و کمینه کردن آن به وسیله نرم افزار ADS محاسبه شده است. با شبیه سازی تمام موج (در نرم افزار CST) و بهینه سازی، ابعاد بهینه سلول واحد رولایه و صفحه زمین استخراج شده است و آنتن فابری پرو با ۱۶dB بهره و قطبش دایروی راستگرد حاصل شده است. طراحی سریع رولایه بر مبنای روش خط انتقال و ارائه مدار معادل مشخص از مزایای روش پیشنهادی می باشد. بکارگیری قطبشگر خطوط خمیده (MLP<sup>۳</sup>) در سطح خارجی رولایه تک لایه به منظور قطبیدگی موج، همزمان با افزایش بهره (توسط حلقه مربعی در طرف دیگر رولایه) برای اولین بار است که اجرا می شود، در حالیکه تاکنون از قطبشگر خطوط خمیده به عنوان رولایه مجزا جهت ایجاد قطبش دایروی استفاده شده است که افزایش ابعاد آنتن و هزینه ساخت را به دنبال داشته است.

با توجه به محدودیت انتخاب زیرلایه و با هدف ساخت آنتن، از زیرلایه Rogers RT6002 (باضریب نفوذپذیری الکتریکی ۲/۹۴) با ضخامت-های ۱/۵۶mm و ۰/۷۸mm به ترتیب در رولایه (در شکل‌های (۳) و (۴)) با  $h_{PRS}$  نشان داده شده است) و زیرلایه المان تشعشعی استفاده می‌کنیم. با هدف ایجاد تشدید در محفظه فابری پرو، سلول‌واحدهای مختلفی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند [۷] و  $Z_L$  با شبکه‌های تشدید مختلفی جایگذاری شد. پارامترهای مجهول ما در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی به صورت زیر هستند:

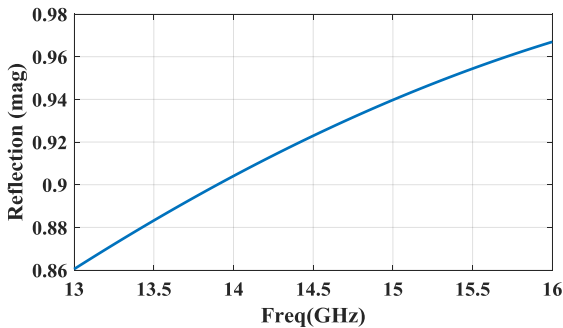
۱- انتخاب نوع سلول‌واحد  $Z_L$  با پارامترهای سلفی و خازنی

۲- مقادیر سلفی و خازنی خطوط خمیده قطبشگر

با تعریف پاسخ‌های مدنظر به نرم‌افزار ADS به عنوان هدف و انتخاب سلول‌واحدهای مختلف در شبکه  $Z_L$  و انجام بهینه‌سازی با روش الگوریتم ژنتیک، سلول‌واحدهای حلقه مربعی، پیچ مربعی<sup>۴</sup>، شکاف متقاطع<sup>۵</sup>، مکمل پیچ مربعی<sup>۶</sup> و خط صلیب<sup>۷</sup> بررسی شده‌اند. سلول‌واحد حلقه مربع شکل (۲) به عنوان شبکه  $Z_L$  با مقادیر سلفی و خازنی مندرج در جدول (۱) دارای کمترین خطای بهینه‌سازی است و به عنوان سلول‌واحد جهت افزایش بهره انتخاب می‌شود. پاسخ دامنه بازگشتی سلول حلقه مربعی مطابق شکل (۵) می‌باشد.

جدول (۱): ابعاد و مقادیر مداری سلول‌واحد حلقه مربعی

P(mm)	S(mm)	g(mm)	$L_{SL}$ (nH)	$C_{SL}$ (fF)
۴/۰۵	۰/۱	۰/۱۵	۱/۲	۵۸/۴



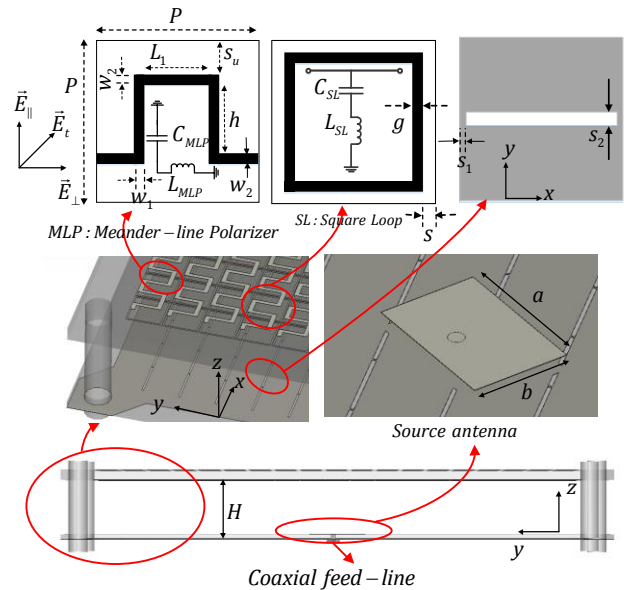
شکل (۵): دامنه بازگشتی از سلول‌واحد حلقه مربع

با در نظر گرفتن سلول‌واحد حلقه مربعی با مقادیر سلفی و خازنی فوق پارامترهای مجهول کاهش یافته و تنها مقادیر سلفی و خازن خطوط خمیده قطبشگر مجهول هستند. با انجام بهینه‌سازی پاسخ مناسب حاصل شده و مقادیر نهایی سلف‌ها و خازن‌های مدار معادل شکل (۴) طبق جدول (۲) بدست آمده‌اند.

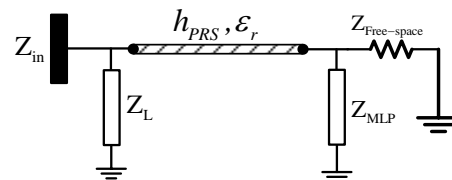
جدول (۲): مقادیر مداری سلول‌واحد رولایه شکل (۴)

$L_{SL}$ (nH)	$C_{SL}$ (fF)	$L_{MLP}$ (nH)	$C_{MLP}$ (nF)
۱/۲	۵۸/۴	۰/۵۱۶	۹۵/۲

با بدست آمدن مقادیر مداری سلول‌واحدهای حلقه مربعی و خطوط خمیده قطبشگر، در قدم بعدی از روابط موجود در [۷] و [۳۴]



شکل (۲): ساختار کلی آنتن فابری پرو پیشنهادی و مدار معادل سلول-واحد رولایه



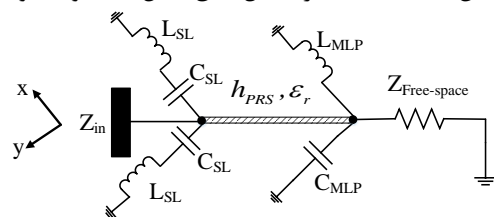
شکل (۳): مدار معادل خط انتقالی رولایه

به منظور تحقق شرط تشدید در محفظه فابری پرو، ویژگی‌های دامنه و فاز برگشتی و فاز عبوری رولایه باید مناسب باشد تا بتوان با استفاده از آن به افزایش بهره و قطبش دایروی رسید. با توجه به [۳۳] برای رسیدن به قطبش دایروی، فاز عبوری از رولایه به‌ازای مولفه‌های متعام میدان باید دارای اختلاف فاز ۹۰° باشند. فاز میدان‌های متعام بازگشتی نیز با هدف ایجاد تشدید در رابطه (۱) صادق باشند. به‌منظور دستیابی به میزان بهره بیشینه لازم است تا دامنه‌های بازگشتی میدان‌های متعام دارای مقادیر تقریبی ۰/۸ تا ۰/۹ باشند تا افزایش بهره بهینه از رولایه حاصل شود.

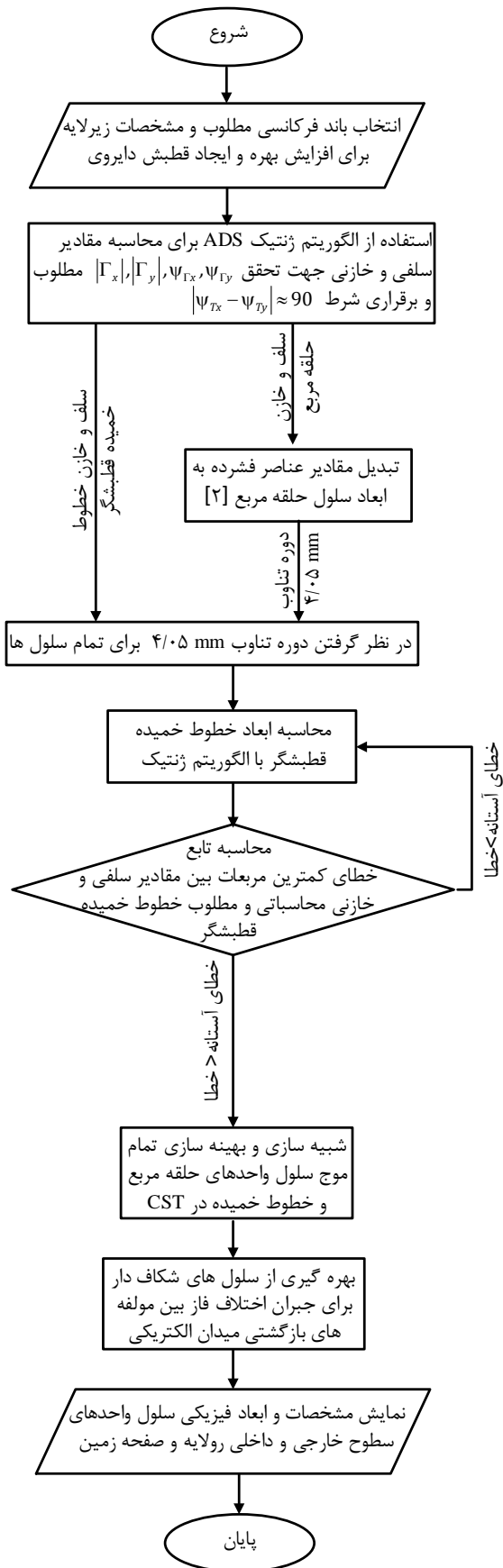
طبق شکل (۳) داریم:

$$\Gamma_{PRS} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (3)$$

با در نظر گرفتن اثر سلفی و خازنی خطوط خمیده قطبشگر به ازای تابش میدان‌های متعام، مدار معادل طبق شکل (۴) خواهد بود.

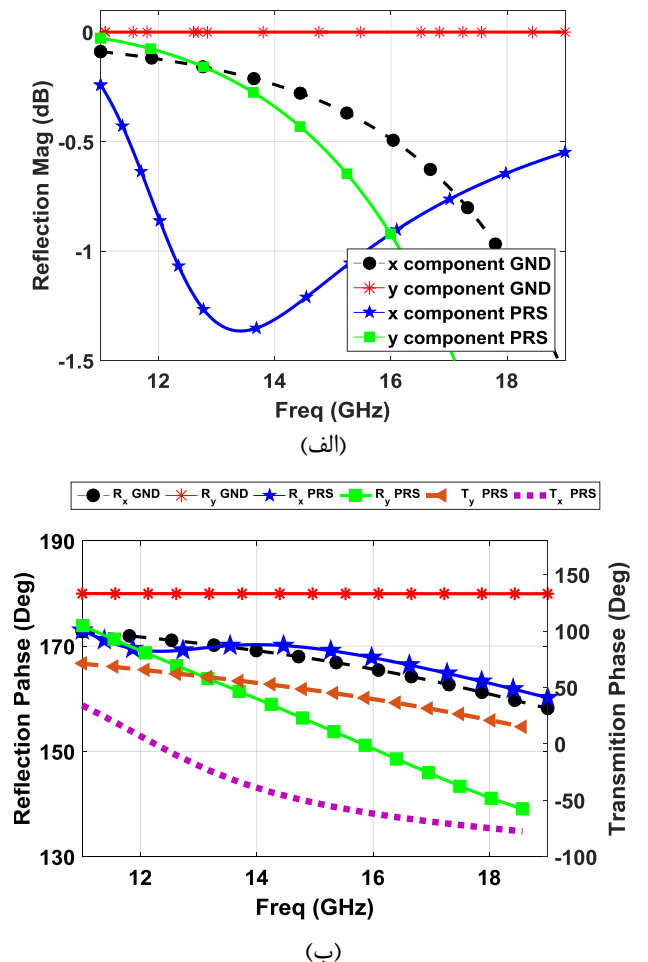


شکل (۴): مدار معادل خط انتقالی به ازای تابش میدان متعام



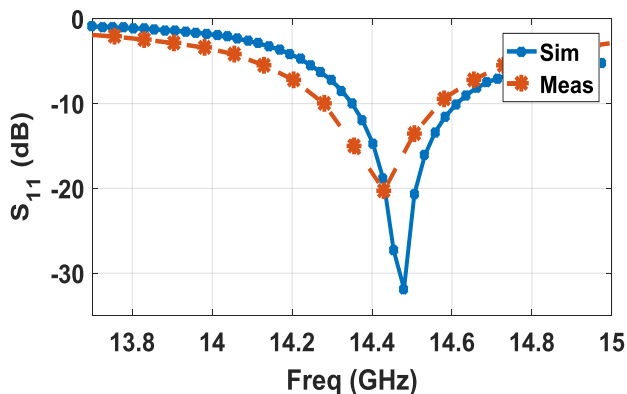
شکل (۷): الگوریتم پیشنهادی مقاله برای طراحی ساختار فابری پرو

بهینه سازی تمام موج جهت بدست آوردن ابعاد سلول واحدهای حلقه مربع و خطوط خمیده استفاده میکنیم. با توجه به نتایج فاز بازگشتی در شکل (۶-ب)، مولفه های متعام میدان های بازگشتی از رولایه در فرکانس ۱۴/۵GHz دارای فازهای غیریکسان هستند و استفاده از رولایه و صفحه زمین یکنواخت (با فاز بازگشتی ۱۸۰ درجه به ازای میدان های متعام) منجر به تحقق شرط تشدید (رابطه (۱)) نمی شود. از این رو، از شکاف در صفحه زمین استفاده شده است تا رابطه (۱) برای تابش میدان های متعام به ازای یک ارتفاع H حاصل شود. ابعاد شکاف در سلول واحد صفحه زمین براساس نیاز به اختلاف فاز مناسب برای تحقق شرط تشدیدهای دوبعدی و در عین حال عدم انتقال توان تشعشی به پشت آنتن با بهینه سازی تمام موج تعیین شده است. ابعاد شکاف مستطیلی صفحه زمین و ابعاد رولایه در جدول (۳) نشان داده شده است. همچنین نتایج شبیه سازی دامنه و فاز بازگشتی رولایه و صفحه زمین در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶): نتایج شبیه سازی دامنه و فاز رولایه و صفحه زمین (الف) دامنه مولفه میدان های متعام بازگشتی رولایه و زمین (ب) فاز مولفه میدان های متعام بازگشتی و عبوری از رولایه و بازگشتی از صفحه زمین

در آزمایشگاه آنتن دانشگاه علم و صنعت ایران افت بازگشتی و الگوی تشعشی آنتن اندازه‌گیری شده است. نمودار افت بازگشتی در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل (۹): نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی افت بازگشتی آنتن فابری پرو پیشنهادی

شیفت فرکانسی نتایج اندازه‌گیری به سمت فرکانس‌های پایین است و پهنای باند مشترک افت بازگشتی و نسبت محوری آنتن  $1/1.7$  (۲۵۰MHz) می‌باشد. دلیل شیفت فرکانسی بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری، حساسیت نتایج اندازه‌گیری به فاصله هوایی بین آنتن منبع و رولایه و محدودیت در دقت مونتاژ و ساخت نگهدارنده بین لایه‌ها با فاصله بسیار دقیق می‌باشد. آنتن پیشنهادی دارای قطبش دایروی راستگرد می‌باشد. جهت بدست آوردن قطبش دایروی راستگرد کافیت تا چرخش آنتن پچ منبع ساعتگرد در نظر گرفته شود و در این صورت بهینه‌سازی انجام شود. آنتن پیشنهادی دارای  $16\text{dB}$  بهره پهلو آتش در فرکانس  $14/5\text{GHz}$  می‌باشد که با توجه به ابعاد استفاده شده  $(4\lambda \times 4\lambda)$ ، بهره قابل قبولی از رولایه بدست آمده است. مشخصات تشعشی آنتن از جمله سطح گلبرگ کناری و نسبت جلو به عقب آنتن در فرکانس  $14/5\text{GHz}$  به ترتیب  $-13/3\text{dB}$  و  $-12\text{dB}$  می‌باشند. استفاده از خطوط خمیده قطبشگر موجب شده است تا پهنای باند نسبت محوری  $3\text{dB}$  مدنظر ما  $(13/7 - 14/7\text{GHz})$  تحقق یابد. این درحالیست که نتایج شبیه‌سازی پهنای باند  $7\%$  آنتن را در فرکانس مرکزی  $14/5\text{GHz}$  نشان می‌دهد. با تغییر ابعاد آرایه رولایه مشاهده می‌شود که هرچه ابعاد آرایه رولایه کوچکتر باشد، سطح موثر تشعشی آنتن کاهش و در نتیجه بهره پهلو آتش آنتن کاهش می‌یابد اما پهنای باند نسبت محوری آنتن بیشتر می‌شود. نتایج شبیه‌سازی شکل (۱۰) برای ابعاد آنتن پچ  $5 \times 7\text{mm}^2$ ، میزان چرخش  $30^\circ$  درجه و مکان تغذیه  $X_f = 0\text{mm}$  و  $Y_f = 1\text{mm}$  می‌باشد.

افزایش پهنای باند نسبت محوری با کاهش تعداد سلول واحد‌های آرایه رولایه به دلیل توزیع جریان روی آنتن منبع می‌باشد. طبق نتایج شبیه‌سازی که در شکل (۱۱) ترسیم شده است، مشاهده می‌شود با کاهش تعداد سلول واحد رولایه اثر بارگذاری آرایه رولایه بر روی آنتن منبع (پچ مستطیلی) به نحوی است که توزیع جریان روی پچ در

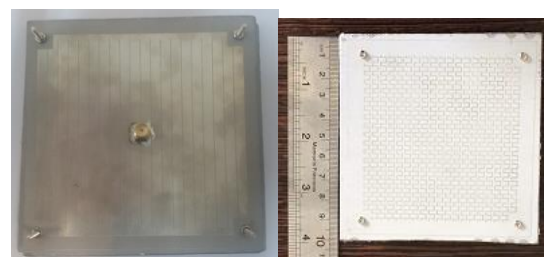
جدول (۳): ابعاد رولایه و سلول واحد صفحه زمین (ابعاد mm)

p	g	S	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Su	Sd
۴/۰۵	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۲	۰/۳	۰/۵
L <sub>1</sub>	S <sub>f</sub>	L <sub>3</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	H	
۱/۸۵	۰/۵	۱	۰/۴	۰/۵	۹/۴	

با توجه به فاز میدان‌های متعامد بازگشتی از رولایه و صفحه زمین طبق رابطه (۱) فاصله هوایی  $H = 9/4\text{mm}$  محاسبه می‌شود. در مراحل شبیه‌سازی، بهینه‌سازی بر روی مکان تغذیه آنتن، ابعاد آنتن منبع، فاصله نگهدارنده و تعداد سلول واحد‌های رولایه انجام شده است. بنابراین با در نظر گرفتن اصول طراحی آنتن فابری پرو، می‌توان یک الگوریتم کلی برای سنتز آنتن با مشخصات مطلوب، ارائه کرد. الگوریتم طراحی سلول واحد رولایه و صفحه زمین در شکل (۷) نشان داده شده است.

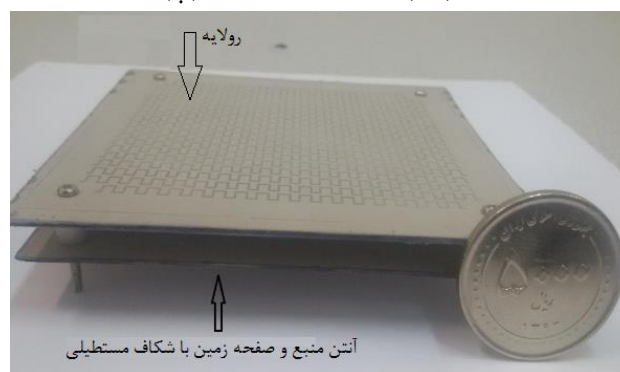
#### ۴- تحلیل ساختار و نتایج

آنتن منبع محفظه فابری پرو پیشنهادی، پچ مستطیلی ریزنوار بوده و دارای ابعاد  $7/4 \times 5\text{mm}^2$  می‌باشد. با توجه به اینکه خطوط خمیده قطبشگر امواج با تابش مایل را قطبیده می‌کند، آنتن پچ منبع  $43^\circ$  در جهت پادساعتگرد چرخیده است. مکان تغذیه آنتن  $Y_f = 1/3\text{mm}$  و  $X_f = 0\text{mm}$  می‌باشد. صفحه زمین و رولایه آنتن هر کدام آرایه‌های  $19 \times 19$  می‌باشند. در شکل (۸) نمای آنتن ساخته شده با ابعاد  $95 \times 95 \times (4\lambda \times 4\lambda)$  نشان داده شده است.



(ب)

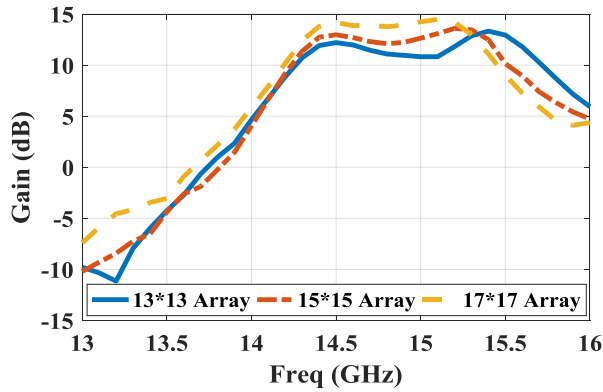
(الف)



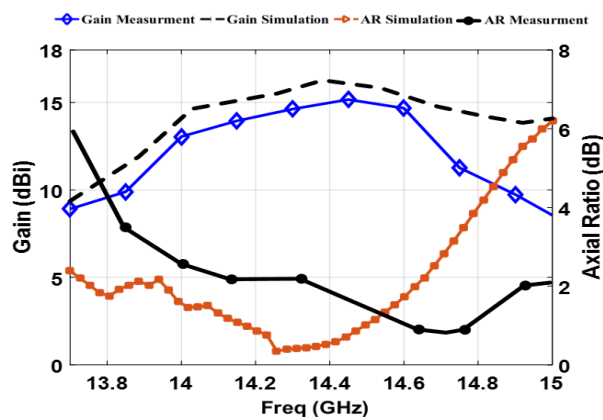
(ج)

شکل (۸): نمای آنتن فابری پرو تشدیدی ساخته شده (الف) نمای از بالا (ب) صفحه زمین آنتن (ج) نمای آنتن





شکل (۱۲): بهره آنتن فابری پرو با آرایه سلول واحد رولایه،  $13 \times 13$ ،  $15 \times 15$  و  $17 \times 17$  بر حسب فرکانس

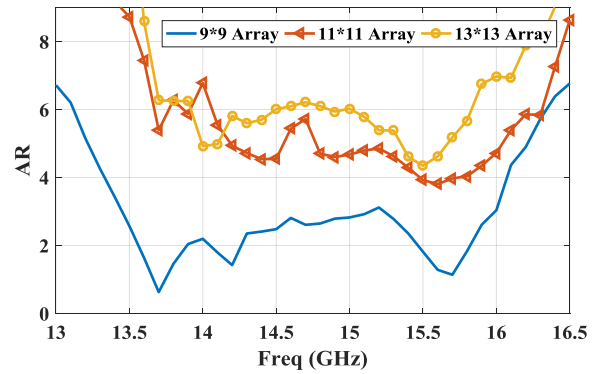


شکل (۱۳): بهره و نسبت محوری آنتن ( $19 \times 19$  سلول واحد)

به منظور بیان نوآوری آنتن فابری پرو پیشنهادی، مقایسه این مقاله با مقالات منتشر شده اخیر در جدول (۴) ارائه شده است. بر این اساس سادگی تغذیه، بازدهی رولایه، چندلایه بودن رولایه (ابعاد و هزینه ساخت رولایه) و میزان پهنای باند معیارهای ارزیابی می‌باشد. بر این اساس، تغذیه ساده، ارائه مدل مداری، بازدهی مناسب و استفاده از رولایه تک‌لایه از مزایای ساختار پیشنهادی می‌باشد.

جدول (۴): مقایسه آنتن فابری پرو پیشنهادی با کارهای اخیر

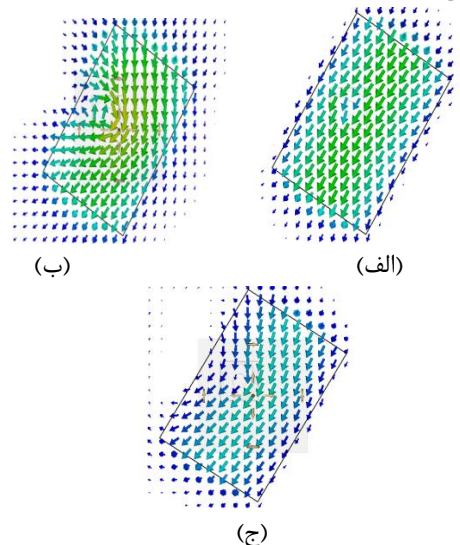
ساختار	فرکانس (GHz)	پهنای باند (%)	نقش رولایه	بازده رولایه (%)	معایب
[۲۲]	۵/۸	۰/۸۶	افزایش بهره	۷۰	پهنای باند کم
[۲۱]	۵/۸	۳/۴	افزایش بهره	۷۵	ساختار با چند تغذیه
[۳۳]	۱۵	۲	افزایش بهره و قطبشگر دایروی	۲۴	عدم وجود مدل مداری
[۲۸]	۲۹/۵	۶	افزایش بهره و قطبشگر دایروی	۳۹	دو رولایه، ابعاد بزرگ
ساختار پیشنهادی	۱۴/۵	۱/۷	افزایش بهره و قطبشگر دایروی	۲۶	-



شکل (۱۰): اثر ابعاد رولایه بر نسبت محوری ( $9 \times 9$  سلول،  $11 \times 11$  سلول،  $13 \times 13$  سلول)

پهنای باند بیشتری یکنواخت می‌باشد یکنواخت بودن توزیع جریان باعث تابش میدان دارای مولفه‌های متعامد یکسان در پهنای باند ۲GHz به رولایه می‌شود. از طرفی زاویه چرخش  $43^\circ$  آنتن پیچ باعث تولید مولفه‌های میدان متعامد یکسان می‌شود. با تابش میدان مایل به رولایه، امواج با قطبش دایروی از رولایه عبور می‌کنند. نتایج شبیه‌سازی رولایه در شکل (۶) نیز این مطلب را تأیید می‌کند. در شکل (۱۲)، نمودار بهره آنتن فابری پرو با آرایه سلول واحد رولایه  $13 \times 13$ ،  $15 \times 15$  و  $17 \times 17$  نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش تعداد سلول واحد آرایه، بهره آنتن افزایش قابل ملاحظه‌ای نمی‌کند. زیرا افزایش بهره حاصل شده با افزایش ابعاد رابطه خطی ندارد. در واقع با افزایش تعداد سلول واحد آرایه رولایه شاهد کاهش بازدهی سطحی رولایه هستیم.

در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) به ترتیب بهره بیشینه پهلو آتش، نسبت محوری و الگوی تشعشعی شبیه‌سازی آنتن نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود آنتن دارای بهره بیشینه ۱۶dB در جهت پهلو آتش می‌باشد.



شکل (۱۱): توزیع جریان روی آنتن پیچ با آرایه رولایه  $9 \times 9$  الف) فرکانس  $13/5$  GHz ب) فرکانس  $14/5$  GHz ج) فرکانس  $15/5$  GHz

[3] Amiri S, Sharifi Moghadam E. "Design, analysis and construction of double band antenna for LEO satellite." Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers. 2006; 3 (2) :3-13

[4] Zeraatkar Moghaddam J, Neda N, Ghazizadeh R. "2D-Polarized MIMO Channel Modeling ". Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers. 2014; 11 (2) :17-24

[5] G. V. Trentini, "Partially reflecting sheet arrays," Antennas and Propagation, IRE Transactions on, vol. 4, pp. 666-671, 1956.

[6] H. Liu, S. Lei, X. Shi, and L. Li, "Study of antenna superstrates using metamaterials for directivity enhancement based on fabry-perot resonant cavity," International Journal of Antennas and Propagation, Article ID 209741, 10 Page, 2013.

[7] B. A. Munk, "Frequency selective surfaces theory and design. John Wiley&Sons," ed: Inc, 2000.

[8] Z.-g. Liu, "Fabry-Perot resonator antenna," Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, vol. 31, pp. 391-403, 2010.

[9] P. Burghignoli, G. Lovat, F. Capolino, D. R. Jackson, and D. R. Wilton, "Highly polarized, directive radiation from a Fabry-Pérot cavity leaky-wave antenna based on a metal strip grating," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol. 58, pp. 3873-3883, 2010.

[10] M. Garcia-Vigueras, J. L. Gomez-Tornero, G. Goussetis, A. R. Weily, and Y. J. Guo, "1D-leaky wave antenna employing parallel-plate waveguide loaded with PRS and HIS," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol. 59, pp. 3687-3694, 2011.

[11] D. R. Jackson and N. G. Alexopoulos, "Gain enhancement methods for printed circuit antennas," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 33, pp. 976-987, 1985.

[12] D. R. Jackson and A. Oliner, "A leaky-wave analysis of the high-gain printed antenna configuration," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol. 36, pp. 905-910, 1988.

[13] O. Roncière, B. A. Arcos, R. Sauleau, K. Mahdjoubi, and H. Legay, "Radiation performance of purely metallic waveguide fed compact Fabry-Perot antennas for space applications," Microwave and Optical Technology Letters, vol. 49, pp. 2216-2221, 2007.

[14] R. Sauleau, P. Coquet, T. Matsui, and J.-P. Daniel, "A new concept of focusing antennas using plane-parallel Fabry-Perot".

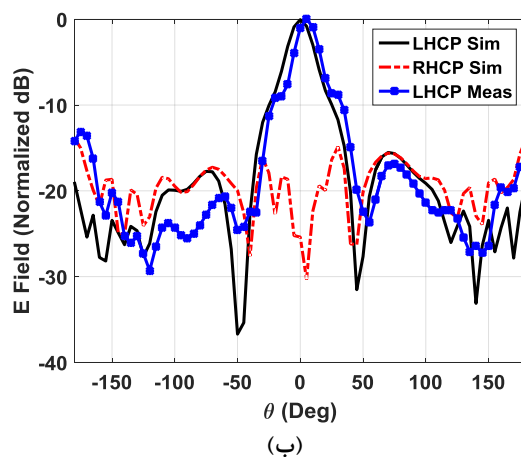
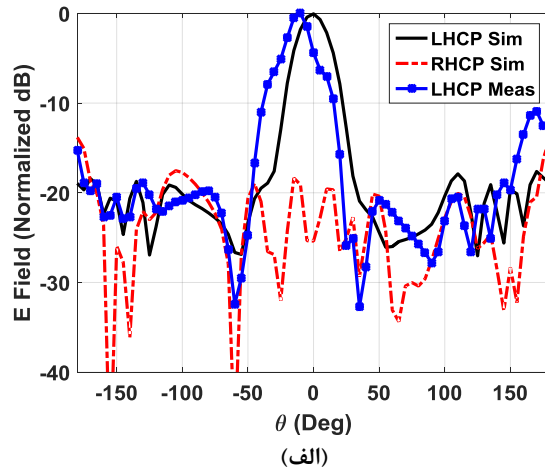
[15] A. Foroozesh and L. Shafai, "Investigation into the effects of the patch-type FSS superstrate on the high-gain cavity resonance antenna design," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol. 58, pp. 258-270, 2010.

[16] C. Grabowski and R. Wansch, "High bandwidth Ku-band Fabry-Perot cavity array antenna using FSS superstrate," in Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), 2011.

[17] N. Guérin, S. Enoch, G. Tayeb, P. Sabouroux, P. Vincent, and H. Legay, "A metallic Fabry-Perot directive antenna," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol. 54, pp. 220-224, 2006.

[18] Z. Liu, W. Zhang, D. Fu, Y. Gu, and Z. Ge, "Broadband Fabry Perot resonator printed antennas using FSS superstrate with dissimilar size," Microwave and Optical Technology Letters, vol. 50, pp. 1623-1627, 2008.

[19] K. Konstantinidis, A. P. Feresidis, and P. S. Hall, "Multilayer partially reflective surfaces for broadband



شکل (۱۴): الگوی تشعشعی آنتن در فرکانس ۱۴/۵GHz  
 الف) صفحه  $\phi=0^\circ$  ب) صفحه  $\phi=90^\circ$

## ۵- نتیجه گیری

طراحی، شبیه سازی و ساخت آنتن فابری پرو تشدید با قطبش دایروی راستگرد در فرکانس ۱۴/۵GHz شرح داده شد که دارای بهره پهلو آتش بوده و از پهنای باند افت بازگشتی و نسبت محوری به ترتیب ۱/۷ و ۷٪ برخوردار است. طراحی رولایه تک لایه دارای مدل مداری به منظور افزایش بهره و قطبش دایروی موج از ویژگی های آنتن پیشنهادی است. استفاده از خطوط خمیده قطبشگر به عنوان بخشی از رولایه دوطرفه در این مقاله بکار گرفته شده است که موجب کاهش ابعاد آنتن و هزینه ساخت می شود. نتایج شبیه سازی و اندازه گیری آنتن ارائه شد که نتایج نشان از طراحی موفق آنتن دارد.

## مراجع

[1] C. A. Balanis, Antenna theory: analysis and design vol. 1: John Wiley & Sons, 2005.

[2] Moradi K, Nikmehr S. "Design and Fabrication of Triple Band and Dual Polarized Microstrip Antenna for BTS." Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers. 2013; 10 (1) :1-6

- [30] N. Fhaffhiem, P. Krachodnok, and R. Wongsan, "The circularly polarized resonator antenna using double polarizing metallic EBG," in Antennas and Propagation (APCAP), 2012 IEEE Asia-Pacific Conference on, 2012, pp. 47-48.
- [31] S. A. Muhammad, R. Sauleau, L. Le Coq, and H. Legay, "Self-Generation of Circular Polarization Using Compact Fabry-Perot Cavity Antennas," Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, vol. 10, pp. 907-910, 2011.
- [32] Z.-G. Liu, Y.-X. Guo, and Z.-X. Cao, "Low-profile circularly polarized fabry-perot resonator antenna fed by linearly polarized patch," in Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2014 IEEE, 2014, pp. 1847-1848.
- [33] R. Orr, G. Goussetis, and V. Fusco, "Design Method for Circularly Polarized Fabry-Perot Cavity Antennas," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol. 62,
- [34] D. M. Pozar, Microwave engineering: John Wiley & Sons, 2009.
- [20] W. Naizhi, L. Qiang, W. Changying, L. Talbi, Z. Qingsheng, and X. Jiadong, "Wideband Fabry-Perot Resonator Antenna With Two Complementary FSS Layers," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol. 62, pp. 2463-2471, 2014.
- [21] A. R. Vaidya, R. K. Gupta, S. K. Mishra, and J. Mukherjee, "Right-Hand/Left-Hand Circularly Polarized High-Gain Antennas Using Partially Reflective Surfaces," Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, vol. 13, pp. 431-434, 2014.
- [22] Y. Zhao and L. Li, "Circular polarized Fabry-Perot resonator antenna for dedicated short range communication," in Wireless Symposium (IWS), 2014 IEEE International, 2014, pp. 1-3.
- [23] D. Hamzaoui, F. Djahli, T. Vuong, and G. Kiani, "High gain Fabry-Pérot circular polarization cavity antenna for UHF RFID applications," in Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM), 2014 16th International Symposium on, 2014, pp. 1-4.
- [24] F. Qin, S. Gao, G. Wei, Q. Luo, and C. Gu, "Wideband high directivity circularly polarized Fabry-Perot antenna," in Antennas and Propagation Conference (LAPC), 2014 Loughborough, 2014, pp. 254-258.
- [25] Z.-g. Liu and Z.-x. Cao, "Circularly polarized Fabry-Perot resonator antenna," in Microwave Technology and Computational Electromagnetics, 2009. ICMTCE. International Conference on, 2009, pp. 18-21.
- [26] M.-A. Joyal and J.-J. Laurin, "Analysis and design of thin circular polarizers based on meander lines," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol. 60, pp. 3007-3011, 2012.
- [27] L. Young, L. Robinson, and C. Hacking, "Meander-line polarizer," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol. 21, pp. 376-378, 1973.
- [28] E. Arnaud, R. Chantalat, M. Koubessi, T. Monediere, E. Rodes, and M. Thevenot, "Global design of an EBG antenna and meander-line polarizer for circular polarization," Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, vol. 9, pp. 215-218, 2010.
- [29] S.-C. Chiu and S.-Y. Chen, "High-gain circularly polarized resonant cavity antenna using FSS superstrate," in Antennas and Propagation (APSURSI), 2011 IEEE International Symposium on, 2011, pp. 2242-2245.

### زیر نویس ها

- <sup>1</sup>Partially Reflective Surface
- <sup>2</sup>Frequency Selective Surface
- <sup>3</sup>Meander-Line Polarizer
- <sup>4</sup>Square Patch
- <sup>5</sup>Cross Slot
- <sup>6</sup>Complement Square Patch
- <sup>7</sup>Dipole Cross