طراحی ،شبیه‌سازی و ساخت آنتن فابری‌پرو تک‌بانده با قطبش دایروی در باند Ku

یوسف عزیزی[۱] نادر کمجانی[۲] محمدامین چایچی‌زاده[۳]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه علم و صنعت ایران- تهران- ایران
yousefazizi@elec.iust.ac.ir

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه علم و صنعت ایران - تهران- ایران
n_komjani@iust.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه علم و صنعت ایران- تهران- ایران
M_chaychizadeh@elec.iust.ac.ir

چکیده: **در این مقاله طراحی، شبیه‌سازی و ساخت آنتن فابری‌پرو تشدیدی با قطبش دایروی راستگرد در فرکانس GHz ۱۴/۵ 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 به‌ترتیب در سطوح بالا و پایین می‌باشد. به منظور تحقق شرط تشدید مولفه‌های متعامد 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 زمین ایده‌آل نزدیک‌تر بوده و انتقال توان شکاف‌ها ناچیز باشد تا گلبرگ پشتی آنتن کم باشد. آنتن منبع، یک آنتن پچ با قطبش خطی بوده که جهت تولید مؤلفه‌های متعامد میدان الکتریکی به‌میزان °۴۳ چرخیده است. آنتن دارای ۱۶dB بهره بوده و پهنای باند VSWR<۲ و AR<۳ dB آنتن به ترتیب ۱/۷٪ و ۷٪ می‌باشد. آنتن با ابعاد mm^2 ۹۵×۹۵ (۴λ×۴λ) ساخته شده و تطابق خوبی میان نتایج شبیه‌سازی و ساخت وجود دارد.**

کلمات کلیدی: **آنتن فابری‌پرو، 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: ایران – تهران – نارمک- خیابان حیدرخانی – دانشگاه علم و صنعت ایران – دانشکده‌ی برق

۱- مقدمه

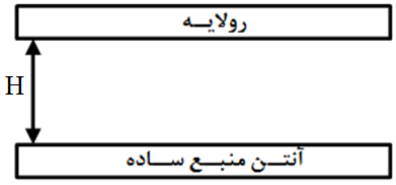
آنتن فابری‌پرو امروزه به علت بهره بالا مورد توجه بسیاری از طراحان قرار گرفته است. آنتن‌های آرایه‌ای، سهموی، بوقی و آرایه بازتابی دارای بهره بالایی هستند[۱]. اما نیاز به طراحی آنتن با ابعاد کمتر و هزینه مناسب در کاربردهای مختلف وجود دارد. استفاده از آنتن‌های با قطبش دایروی و چند قطبشی موجب کاهش اثرات محوشدگی محیطی و افت قطبش می‌شود[۲-۴]. .در آنتن‌های فابری‌پرو از رولایه (PRS[۱]) یک یا چند لایه‌ای به منظور افزایش بهره و یا قطبیدگی موج استفاده می‌شود. ایده افزایش بهره ساختار فابری‌پرو براساس تداخل سازنده امواج عبوری از رولایه می‌باشد[۵]. افزایش بهره ساختار تشدیدی فابری‌پرو به هرمقدار دلخواه ممکن نیست و به‌ازای هر رولایه یک دامنه بازگشتی وجود دارد که به ماکزیمم بهره ساختار منجر می‌شود[۶]. استفاده از سطوح انتخابگر فرکانس(FSS[۲]) دارای مدل مداری به سرعت و دقت طراحی می‌افزاید[۷]. روش‌های تحلیل مختلفی برای تحلیل محفظه تشدید فابری‌پرو ارائه شده است[۸-۱۲]. آنتن‌های فابری‌پرو با قطبش خطی دارای ساختار فلزی حجیمی هستند[۱۳-۱۴]. ساختارهای با حجم کمتر نیز طراحی شده‌اند [۱۵-۱۷]. با استفاده از رولایه غیرهمگن و یا رولایه دارای فاز صعودی، پهنای باند محفظه تشدید فابری‌پرو افزایش می‌یابد[۱۸-۲۰].

جهت طراحی آنتن فابری‌پرو با قطبش دایروی سه روش وجود دارد. در روش اول از منبع با قطبش دایروی و رولایه با هدف افزایش بهره استفاده می‌شود.[۲۱-۲۵]. در روش دوم از آنتن با قطبش خطی و قطبشگر مجزا روی رولایه استفاده می‌شود[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 تک‌لایه ارائه می‌گردد که بطور همزمان افزایش بهره و قطبش دایروی را حاصل می‌کند. مقادیر المان‌های این مدار معادل (سلف‌ها و خازن‌ها) با تشکیل یک تابع خطا و کمینه کردن آن به وسیله نرم‌افزار ADS محاسبه شده است. با شبیه‌سازی تمام موج (در نرم افزار CST) و بهینه‌سازی، ابعاد بهینه سلول‌واحد رولایه و صفحه زمین استخراج شده است و آنتن فابری‌پرو با ۱۶dB بهره و قطبش دایروی راستگرد حاصل شده است. طراحی سریع رولایه برمبنای روش خط انتقال و ارائه مدار معادل مشخص از مزایای روش پیشنهادی می‌باشد. بکارگیری قطبشگر خطوط خمیده (MLP[۳]) در سطح خارجی رولایه تک‌لایه به منظور قطبیدگی موج، همزمان با افزایش بهره (توسط حلقه مربعی در طرف دیگر رولایه) برای اولین بار است که اجرا می‌شود، درحالیکه تاکنون از قطبشگرخطوط خمیده به عنوان رولایه مجزا جهت ایجاد قطبش دایروی استفاده شده است که افزایش ابعاد آنتن و هزینه ساخت را به‌دنبال داشته است.

۲- اصول طراحی آنتن فابری‌پرو

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



شکل(۱): نمای کلی ساختار آنتن فابری‌پرو

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

$$H = \left(\frac{\psi_{\Gamma PRS} + \psi_{\Gamma GND}}{\pi} \times \frac{\lambda}{4} + N\frac{\lambda}{2}\right), \mathrm{N} = 0, \pm1, \pm2, \ldots \qquad (۱)$$

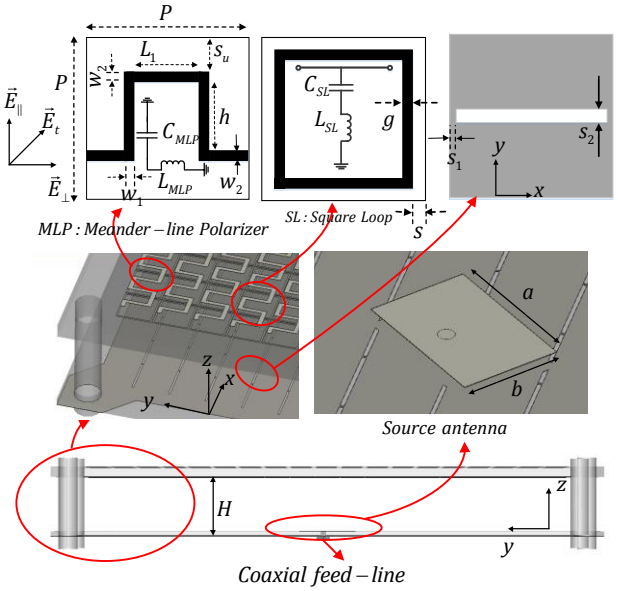
در رابطه (۱) $\varphi_{\Gamma_{PRS}}$ فاز موج بازگشتی از رولایه و $\varphi_{\Gamma_{GND}}$ فاز موج بازگشتی از صفحه زمین می‌باشند. هر چه مقدار N کمتر باشد سطح گلبرگ فرعی ساختار فابری‌پرو کمتر می‌شود. مقدار افزایش بهره از محفظه تشدید فابری‌پرو طبق رابطه زیر به دامنه بازگشتی از رولایه بستگی دارد [۱].

$$|T|^2_{max} = |E_0|^2 \frac{1+|\Gamma_{PRS}|}{1-|\Gamma_{PRS}|} \qquad (۲)$$

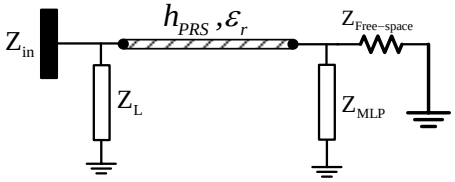
طبق رابطه (۲) اندازه توان بیشینه خارج‌شونده از محفظه، $|T|^2_{max}$ متناسب با توان نرمالیزه منبع در میدان راه دور $|E_0|^2$ می‌باشد براساس [۳] بیشینه بهره قابل حصول رولایه با Γ_{OPT} حاصل می‌شود و افزایش بیشتر Γ رولایه نه‌تنها منجر به افزایش بهره محفظه نمی‌شود که حتی باعث کاهش بهره ساختار فابری‌پرو نیز می‌شود.

۳- طراحی و ساخت آنتن فابری‌پرو

ساختار آنتن فابری‌پرو پیشنهادی متشکل از یک المان تشعشع‌کننده و رولایه تک‌لایه در شکل (۲) نشان داده شده است. در این بخش، ابتدا روش طراحی و پیاده‌سازی رولایه با استفاده از روش خط انتقال را توضیح می‌دهیم. 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.



شکل (۲): ساختار کلی آنتن فابری‌پرو پیشنهادی ومدار معادل سلول-واحد رولایه



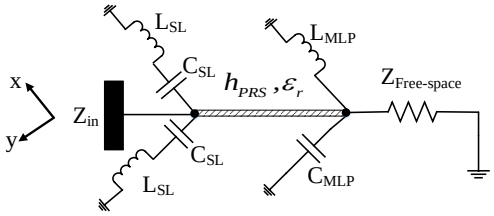
شکل (۳): مدار معادل خط انتقالی رولایه

به منظور تحقق شرط تشدید در محفظه فابری‌پرو، 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 متعامد میدان باید دارای اختلاف فاز °۹۰ باشند. فاز میدان‌های متعامد بازگشتی نیز با هدف ایجاد تشدید در رابطه(۱) صادق باشند. به‌منظور دستیابی به میزان بهره بیشینه لازم است تا دامنه‌های بازگشتی میدان‌های متعامد دارای مقادیر تقریبی ۰/۸ تا ۰/۹باشند تا افزایش بهره بهینه از رولایه حاصل شود.

طبق شکل (۳) داریم:

$$\Gamma_{PRS} = \frac{Z_{in} - Z_{\circ}}{Z_{in} + Z_{\circ}} \qquad (۳)$$

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



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

با توجه به محدودیت انتخاب زیرلایه و با هدف ساخت آنتن، از زیرلایه Rogers RT6002 (باضریب نفوذپذیری الکتریکی۲/۹۴) با ضخامت-های۱/۵۶mm و۰/۷۸mm به ترتیب در رولایه(در شکل‌های(۳و۴) با h_{PRS} نشان داده شده است) و زیرلایه المان تشعشعی استفاده می‌کنیم. با هدف ایجاد تشدید در محفظه فابری‌پرو، سلول‌واحدهای مختلفی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند[۷] و Z_L با شبکه‌های تشدیدی مختلفی جایگذاری شد. پارامترهای مجهول ما در شبیه‌سازی و بهینه-سازی به صورت زیر هستند:

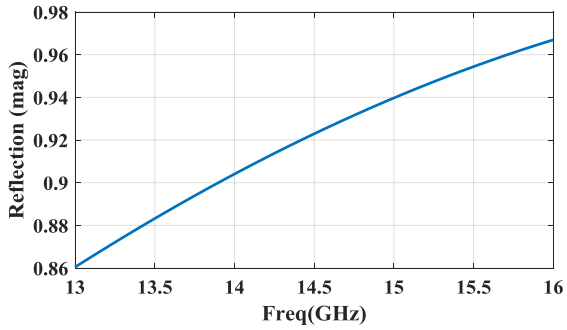
۱- انتخاب نوع سلول‌واحد Z_L با پارامترهای سلفی و خازنی

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، پچ مربعی[۴]، شکاف متقاطع[۵]، مکمل پچ مربعی[۶] و خط صلیب[۷] 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

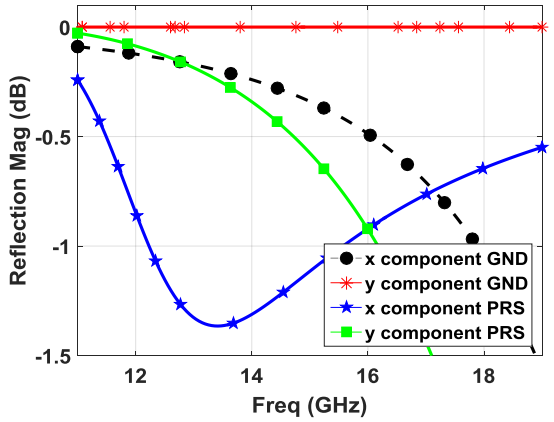
با در نظر گرفتن سلول‌واحد حلقه مربعی با مقادیر سلفی و خازنی فوق پارامترهای مجهول کاهش یافته و تنها مقادیر سلف و خازن خطوط خمیده قطبشگر مجهول هستند. با انجام بهینه‌سازی پاسخ مناسب حاصل شده و مقادیر نهایی سلف‌ها و خازن‌های مدارمعادل شکل(۴) طبق جدول (۲) بدست آمده‌اند.

جدول (۲): مقادیرمداری سلول‌واحدرولایه شکل (۴)

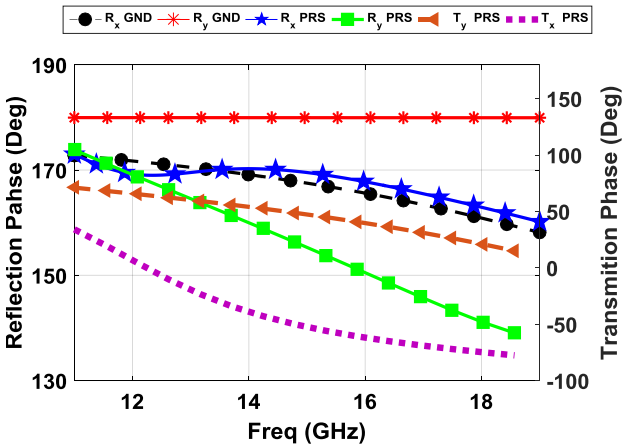
L_{SL} (nH)	C_{SL}(fF)	L_{MLP}(nH)	C_{MLP}(nF)
۱/۲	۵۸/۴	۰/۵۱۶	۹۵/۲

با بدست آمدن مقادیر مداری سلول‌واحدهای حلقه مربعی و خطوط خمیده قطبشگر، در قدم بعدی از روابط موجود در[۳۴و۷] و

بهینه‌سازی تمام‌موج جهت بدست آوردن ابعاد سلول واحدهای حلقه مربع و خطوط خمیده استفاده میکنیم. با توجه به نتایج فاز بازگشتی در شکل(۶-ب)، مولفه‌های متعامد میدان‌های 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 میدان‌های متعامد) منجر به تحقق شرط تشدید (رابطه (۱)) نمی‌شود. از این‌رو، از شکاف در صفحه زمین استفاده شده است تا رابطه(۱) برای تابش میدان‌های متعامد به‌ازای یک ارتفاع H حاصل شود. ابعاد شکاف در سلول‌واحد 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 بهینه‌سازی تمام موج تعیین شده‌است. ابعاد شکاف مستطیلی صفحه زمین و ابعاد رولایه در جدول (۳) نشان داده شده است. همچنین نتایج شبیه‌سازی دامنه و فاز بازگشتی رولایه و صفحه زمین در شکل (۶) نشان داده شده است.



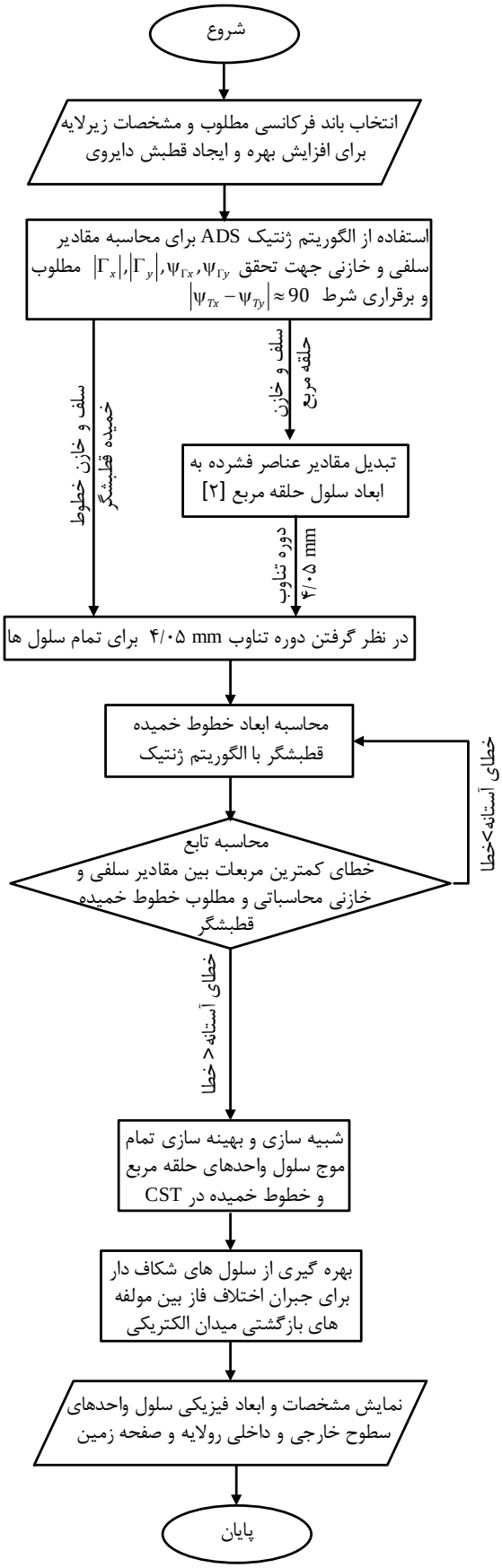
(الف)



(ب)

شکل (۶): نتایج شبیه‌سازی دامنه و فاز رولایه و صفحه زمین

الف) دامنه مولفه میدان‌های متعامد بازگشتی رولایه و زمین ب) فاز مولفه میدان‌های متعامد بازگشتی و عبوری از رولایه و بازگشتی از صفحه زمین



شکل (۷): الگوریتم پیشنهادی مقاله برای طراحی ساختار فابری‌پرو

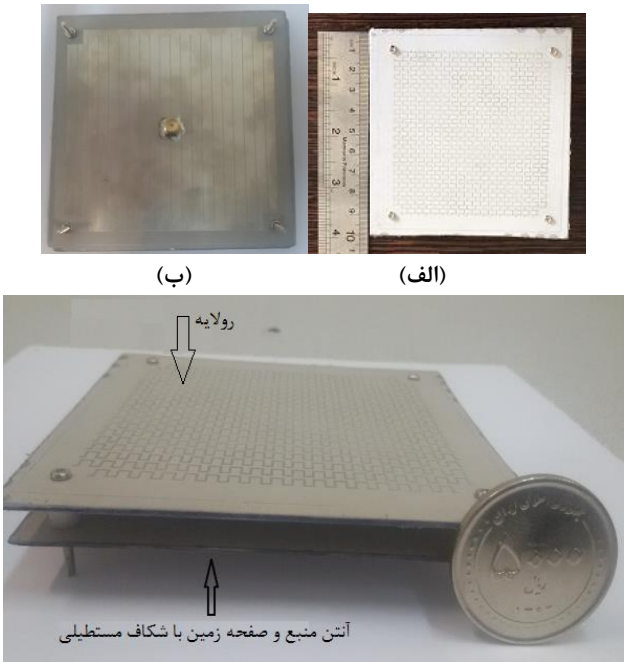
جدول(۳): ابعاد رولایه و سلول‌واحد صفحه زمین (ابعاد mm)

p	g	S	S_1	S_2	Su	Sd
۴/۰۵	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۲	۰/۳	۰/۵
L_1	S_f	L_3	W_1	W_2	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 = ۹/۴ 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 فابری‌پرو، 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 فابری‌پرو پیشنهادی، پچ مستطیلی ریزنوار بوده و دارای ابعاد $۷/۴\times۵mm^2$ می‌باشد. با توجه به اینکه خطوط خمیده قطبشگر امواج با تابش مایل را قطبیده می‌کند، آنتن پچ منبع ۴۳° در جهت پادساعتگرد چرخیده است. مکان تغذیه آنتن Y_f = ۱/۳ mm و X_f = ۰ mm می‌باشد. صفحه زمین و رولایه آنتن هر کدام آرایه‌های ۱۹×۱۹ می‌باشند. در شکل (۸) نمای آنتن ساخته شده با ابعاد mm^2 ۹۵×۹۵(۴λ×۴λ) نشان داده شده است.

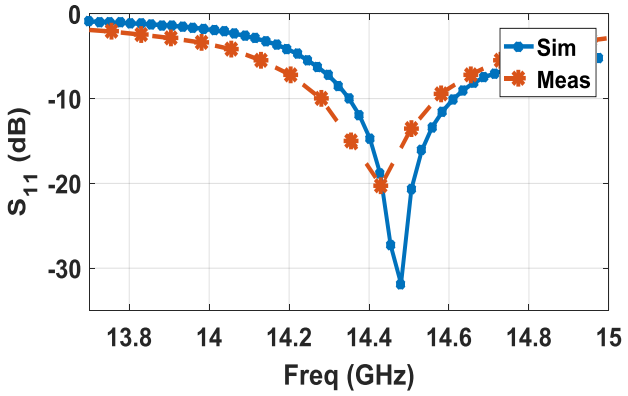


(ب) (الف)

(ج)

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

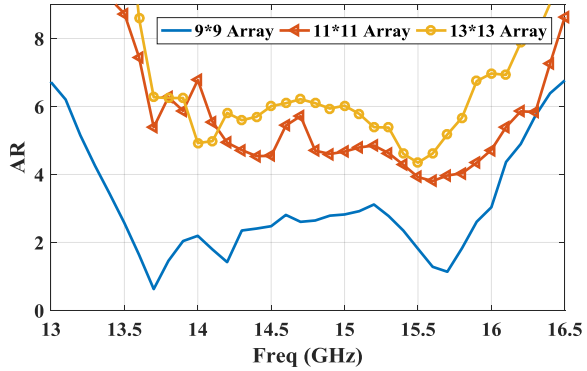
در آزمایشگاه آنتن دانشگاه علم و صنعت ایران افت بازگشتی و الگوی تشعشعی آنتن اندازگیری شده است. نمودار افت بازگشتی در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل (۹): نتایج اندازه‌گیری وشبیه‌سازی افت بازگشتی آنتن فابری‌پرو پیشنهادی

شیفت فرکانسی نتایج اندازه‌گیری به سمت فرکانس‌های پایین است و پهنای باند مشترک افت بازگشتی و نسبت محوری آنتن۱/۷٪ (۲۵۰MHz) می‌باشد. دلیل شیفت فرکانسی بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری، حساسیت نتایج اندازه‌گیری به فاصله هوایی بین آنتن منبع و رولایه و محدویت در دقت مونتاژ و ساخت نگهدارنده بین لایه-ها با فاصله بسیار دقیق می‌باشد. آنتن پیشنهادی دارای قطبش دایروی راستگرد می‌باشد. جهت بدست آوردن قطبش دایروی راستگرد کافیست تا چرخش آنتن پچ منبع ساعتگرد در نظر گرفته شود و در این‌صورت بهینه‌سازی انجام شود. آنتن پیشنهادی دارای ۱۶dB بهره پهلو آتش در فرکانس ۱۴/۵GHzمی‌باشد که با توجه به ابعاد استفاده شده (۴λ×۴λ)، بهره قابل قبولی از رولایه بدست آمده است. مشخصات تشعشعی آنتن از جمله سطح گلبرگ کناری و نسبت جلو به عقب آنتن در فرکانس ۱۴/۵GHzبه‌ترتیب ۱۳/۳dB- و ۱۲dB- می‌باشند. استفاده از خطوط خمیده قطبشگر موجب شده است تا پهنای باند نسبت محوری ۳dB مدنظر ما (۱۳/۷ – ۱۴/۷ GHz) تحقق یابد. این درحالیست که نتایج شبیه‌سازی پهنای باند ۷٪ آنتن را در فرکانس مرکزی ۱۴/۵GHz نشان می‌دهد. با تغییر ابعاد آرایه رولایه مشاهده می‌شود که هرچه ابعاد آرایه رولایه کوچکتر باشد، سطح موثر تشعشعی 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 $۵\times۷mm^2$، میزان چرخش ۳۰ درجه و مکان تغذیه X_f=۰mm و Y_f=۱mm می‌باشد.

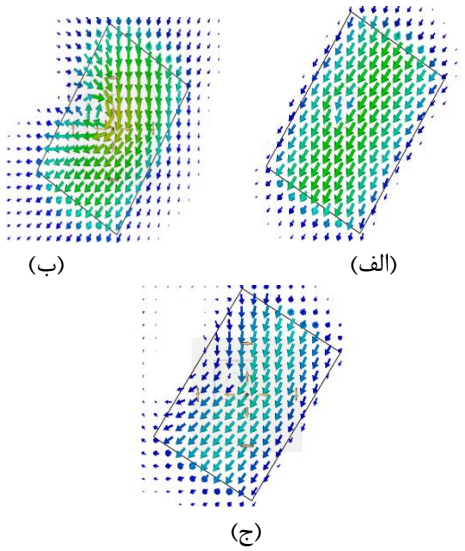
افزایش پهنای باند نسبت محوری با کاهش تعداد سلول‌واحدهای آرایه رولایه به دلیل توزیع جریان روی آنتن منبع می‌باشد. طبق نتایج شبیه‌سازی که در شکل (۱۱) ترسیم شده است، مشاهده می‌شود با کاهش تعداد سلول‌واحد رولایه اثر بارگذاری آرایه رولایه بر روی آنتن منبع (پچ مستطیلی) به نحوی است که توزیع جریان روی پچ در



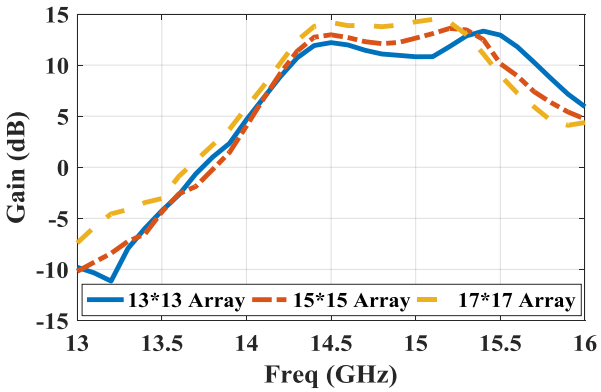
شکل(۱۰): اثر ابعاد رولایه برنسبت محوری (۹×۹ سلول،۱۱×۱۱ سلول، ۱۳×۱۳ سلول)

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 °۴۳ آنتن پچ 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 فابری‌پرو با آرایه سلول‌واحد رولایه ۱۳×۱۳، ۱۵×۱۵ و ۱۷×۱۷ نشان داده شده‌است. ملاحظه می‌شود که با افزایش تعداد سلول‌واحد آرایه، بهره آنتن افزایش قابل ملاحظه‌ای نمی‌کند. زیرا افزایش بهره حاصل شده با افزایش ابعاد رابطه خطی ندارد. در واقع با افزایش تعداد سلول‌واحدهای آرایه رولایه شاهد کاهش بازدهی سطحی رولایه هستیم.

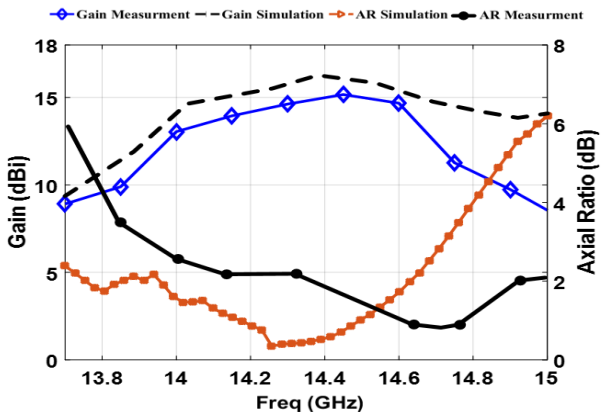
در شکل‌های(۱۳) و(۱۴) به ترتیب بهره بیشینه پهلو آتش، نسبت محوری و الگوی تشعشعی شبیه‌سازی آنتن نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود آنتن دارای بهره بیشینه ۱۶dB در جهت پهلو آتش می‌باشد.



شکل (۱۱): توزیع جریان روی آنتن پچ با آرایه رولایه ۹×۹
الف) فرکانس ۱۳/۵GHz ب) فرکانس ۱۴/۵GHz
ج) فرکانس ۱۵/۵GHz



شکل (۱۲): بهره آنتن فابری‌پرو با آرایه سلول‌واحد رولایه ، ۱۳×۱۳، ۱۵×۱۵ و ۱۷×۱۷ برحسب فرکانس

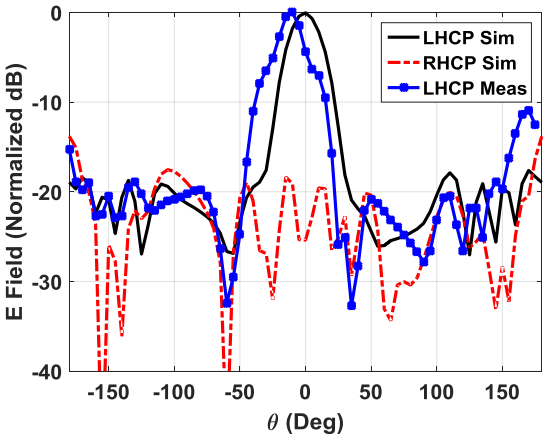


شکل (۱۳): بهره و نسبت محوری آنتن (۱۹×۱۹ سلول‌واحد)

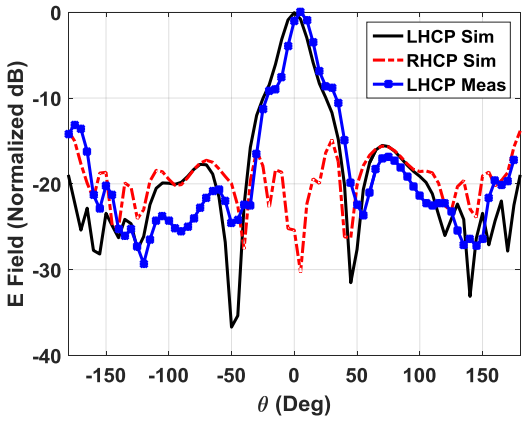
به منظور بیان نوآوری آنتن فابری‌پرو پیشنهادی، مقایسه این مقاله با مقالات منتشر شده اخیر در جدول(۴) ارائه شده است. بر این اساس سادگی تغذیه، بازدهی رولایه، چندلایه بودن رولایه (ابعاد و هزینه ساخت رولایه) و میزان پهنای‌باند معیارهای ارزیابی می‌باشد. براین اساس، تغذیه ساده، ارائه مدل مداری، بازدهی مناسب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

جدول(۴): مقایسه آنتن فابری‌پرو پیشنهادی با کارهای اخیر

ساختار	فرکانس (GHz)	پهنای باند (٪)	نقش رولایه	بازده رولایه (٪)	معایب
[۲۲]	۵/۸	۰/۸۶	افزایش بهره	۷۰	پهنای باندکم.
[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	-



(الف)



(ب)

شکل (۱۴): الگوی تشعشعی آنتن در فرکانس ۱۴/۵GHz

الف) صفحه φ=۰° ب) صفحه φ=۹۰°

۵- نتیجه‌گیری

طراحی، شبیه‌سازی و ساخت آنتن فابری‌پرو تشدیدی با قطبش دایروی راستگرد در فرکانس ۱۴/۵GHz شرح داده شد که دارای ۱۶dB بهره پهلو آتش بوده و از پهنای باند افت بازگشتی و نسبت محوری به‌ترتیب ۱/۷٪ و ۷٪ برخوردار است. طراحی رولایه تک‌لایه دارای مدل مداری به منظور افزایش بهره و قطبش دایروی موج از ویژگی‌های 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 می‌شود. نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری 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

[3] Amiri S, Sharifi Moghadam E. "Design, analysis and construction of double band antena for LEO sattelite." 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-Pero"t.

[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

Fabry-Perot cavity antennas," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol. 62, pp. 3474-3481, 2014.
[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. Koubeissi, 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.
[30] N. Fhafhiem, 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.

زیرنویس‌ها

[۱] Partially Reflective Surface

[۲] Frequency Selective Surface

[۳] Meander-Line Polarizer

[۴] Square Patch

[۵] Cross Slot

[۶] Complement Square Patch

[۷] Dipole Cross