

## کاهش سطح گلببرگ‌های فرعی در آنتن‌های سهموی بازتابنده

سید میلاد حسینی<sup>۱</sup>، سید محمد هاشمی<sup>۲\*</sup>، پیمان حسینی<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد ۲- استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۷، پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۳)

## چکیده

در سال‌های اخیر تحقیقاتی در زمینه کاهش سطح گلببرگ فرعی (SLL) آنتن‌های بازتابنده سهموی برای اهداف نظامی و غیرنظامی صورت گرفته است. در این تحقیقات از روش‌های مختلف از جمله لبه دادن به آنتن بازتابنده، تغییر امپدانس صفحه در لبه‌ها، قرار دادن قرص فلزی در سطح بازتابنده و یا عناصر تشدیدی و غیر تشدید در لبه‌ها استفاده شده است. در این مقاله تأثیر فاصله کانونی و قطر آنتن بازتابنده سهموی بر کاهش سطح گلببرگ فرعی بررسی شده و بدون استفاده از ساختارهای پیچیده و پر هزینه، با استفاده از بهینه‌سازی ساختار اصلی آنتن کاهش گلببرگ فرعی محقق شده است. بسته به نیاز به بهره بیشینه، کوچک‌ترین اندازه و یا کم‌ترین سطح گلببرگ فرعی طراحی می‌تواند صورت گیرد. با توجه به هدف کم‌ترین سطح گلببرگ فرعی، آنتن پیشنهادی در این مقاله دارای فرکانس کاری ۱۲/۵ GHz، بهره ۳۹/۰۷ dB، عمق  $\lambda$  ۴/۹۶۷ (۱۱/۹ Cm)، قطر  $\lambda$  ۳۹/۲۴ (۹۴/۱۱ Cm)، فاصله کانونی  $\lambda$  ۱۹/۳۷۵ (۴۶/۴۷ Cm) و سطح گلببرگ فرعی ۴۴/۹۱ dB و ۴۳/۵ dB - به ترتیب در صفحات E و H است. این آنتن در فرکانس‌های ۶/۵ GHz و ۱۸/۵ GHz، به ترتیب سطح گلببرگ فرعی ۳۰/۷۶- و ۴۷/۱۵- را، داراست.

## کلید واژه‌ها: آنتن بازتابنده سهموی، سطح گلببرگ فرعی، بهینه‌سازی متغیرهای بازتابنده، فاصله کانونی و قطر بازتابنده

پخش تلویزیونی و کاهش تزویج آنتن‌های بازتابنده‌ای که در مجاورت یکدیگر قرار دارند، کاربرد دارد.

## ۱- مقدمه

آنتن‌های بازتابنده در چهار دسته کروی، کنج، مسطح [۴] و سهموی مورد مطالعه قرار می‌گیرند. آنتن‌های سهموی در دو حالت تغذیه از جلو و کسگرین [۵-۶] تغذیه می‌شوند. تغذیه از جلو می‌تواند به صورت پرتو انباشته، آفست، تک قطبی، شکل داده شده و یا استاندارد باشد [۱]. با توجه به این‌که در این مقاله آنتن بازتابنده سهموی تغذیه از جلو استاندارد مورد مطالعه قرار گرفته، در ادامه تحقیقات صورت گرفته از این آنتن بررسی شده است.

در کاهش سطح گلببرگ فرعی ملاحظات از قبیل تغییرات ناچیز بهره و اندازه آنتن وجود دارد که باید در حد امکان در بیشترین بهره و کوچکترین اندازه آنتن کمترین سطح گلببرگ فرعی را داشته باشیم. از طرفی با پیچیدگی کمتر در ساختار، هزینه ساخت آنتن به حداقل برسد.

یکی از روش‌های کاهش سطح گلببرگ فرعی ایجاد انحنا در لبه‌های بازتابنده است. این امر موجب عدم قطع ناگهانی جریان‌های لبه‌ای و در نتیجه کاهش تشعشع ناخواسته خواهد شد [۷-۹]. در مقاله [۷] با انحنا در لبه‌های بازتابنده، سطح گلببرگ فرعی ۲۰ dB - گزارش شده است.

امروزه استفاده از آنتن‌های بازتابنده بسیار افزایش یافته است. کاربرد آن‌ها در مواقعی که فاصله بین فرستنده و گیرنده زیاد است بسیار قابل توجه است. تمامی آنتن‌های بازتابنده در مشخصه تشعشعی خود دارای یک گلببرگ اصلی و تعداد بسیار زیاد گلببرگ‌های فرعی هستند. البته بسته به کاربرد آنتن، میزان و چگونگی هر یک از این گلببرگ‌ها می‌تواند مهم باشد. از عوامل تأثیرگذار بر گلببرگ‌های فرعی و گلببرگ اصلی می‌توان به مواردی از قبیل [۱]: جنس آنتن، ترک‌های روی آنتن، ابعاد، انحنای آنتن، استفاده از دیسک‌های برآمده روی سطح بازتابنده، فاصله تغذیه تا آنتن و نوع آنتن (آفست یا معمولی [۲]) اشاره کرد.

یکی از راه‌های بهبود عملکرد بازتابنده‌ها کاهش سطح گلببرگ فرعی است [۳]. کاهش سطح گلببرگ فرعی کاربردهای نظامی و غیر نظامی دارد که در زمینه نظامی کاربردهایی از قبیل مبارزه با اختلال در فضای اطراف کشتی در حال انجام عملیات اختلال فریب و کاهش اختلال در رادارهای شناسایی هواپیماهای رادار گریز را داراست. از نظر غیر نظامی در کاهش اختلال مخابراتی در

ابعاد اولیه آنتن بازتابنده سهمی گون به دست آمده است. یکی از اصلی ترین متغیرهای این آنتن ها میزان بهره بالای آن هاست، در این مرحله بهره آنتن را محاسبه کرده، اگر بهره دارای مقدار مورد نظر بود، مرحله بعد آغاز خواهد شد.

هدف طراحی کاهش سطح گلبزرگ فرعی آنتن بازتابنده بوده که با تغییر عمق آنتن می توان به آن دست یافت، در این مرحله با انجام تغییرات مورد نظر سطح گلبزرگ فرعی را مورد بررسی قرار داده و مجددا بهره آنتن محاسبه می شود. اگر بهره و سطح گلبزرگ های فرعی مطابق با اهداف مورد نظر بود، شبیه سازی پایان می یابد.

عنصرهای اصلی بازتابنده سهمی، قطر  $D = 2 \times R$  و عمق آن است که با فاصله کانونی در رابطه (۱) مرتبط هستند:

$$f = \frac{D^2}{16F} \quad (1)$$

که تعریف متغیرهای فرمول در شکل (۳) آمده است. قدم اول در طراحی آنتن بازتابنده سهمی گون با استفاده از بهینه سازی، دانش بر روش های شبیه سازی آن است. در ادامه تمام شبیه سازی ها در نرم افزار تمام موج FEKO صورت گرفته است. برای شبیه سازی عناصر با ابعاد فیزیکی بزرگ از روش Multilevel Fast Multipole Method (MLFMM) به جای روش ممان (MOM) که زمانبر است، استفاده می شود.

توضیحات روش MLFMM در نرم افزار موجود بوده و قابل استفاده می باشد [۱۹]. برای عناصری که زیر مجموعه ای از طراحی هستند و ابعادی بزرگ دارند، برای مثال آنتن شیپوری در آنتن سهمی گون، از روش Large Element Physical Optics (LE-PO) استفاده می شود. روش هایی برای تغذیه آنتن بازتابنده جایگزین آنتن شیپوری می تواند باشد که باعث افزایش سرعت شبیه سازی می شوند. این منابع تغذیه معادل عبارتند از تغذیه میدان نزدیک و کروی میدان دور که در این بین شبیه سازی با منبع تغذیه معادل کروی میدان دور از سرعت بیشتری برخوردار است.

یکی دیگر از روش ها، افزایش امپدانس اطراف و لبه های آنتن و بالا بردن مقاومت سطحی برای جلوگیری از جریان های لبه ای است، این کار را می توان با افزودن ماده تلفاتی در لبه ها یا اطراف آنتن بازتابنده انجام داد، که البته ممکن است کارایی آنتن کاهش پیدا کند [۸ و ۱۰-۱۲].

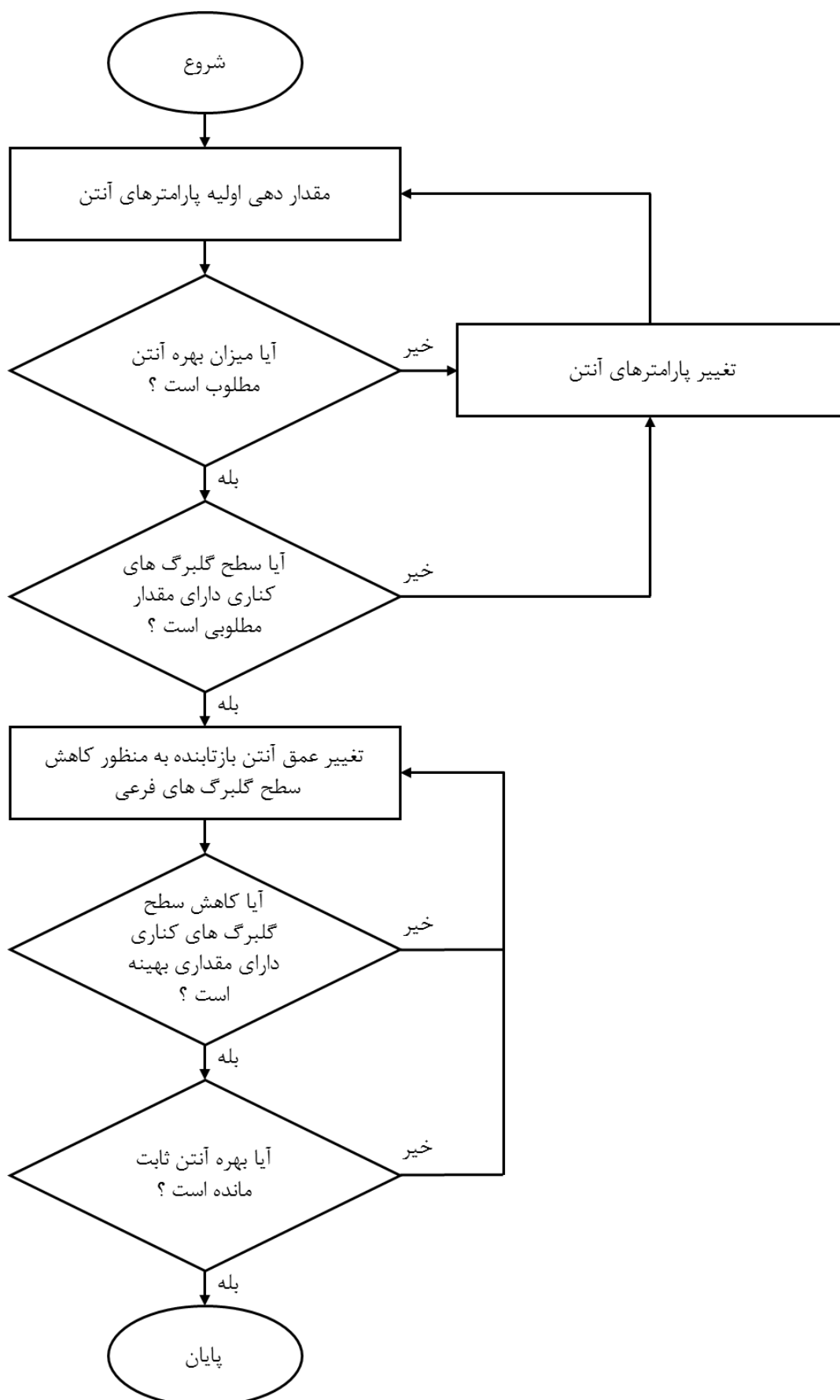
روش دیگر، پیاده سازی عناصر تشدید و غیر تشدید در اطراف یا لبه های بازتابنده ها جهت کاهش گلبزرگ های فرعی است [۲]. با عناصر تشدید و غیر تشدید به ترتیب سطح گلبزرگ فرعی  $-36 \text{ dB}$  و  $-38 \text{ dB}$  با بهره ۳۳ و  $32/8 \text{ dBi}$  گزارش شده است. با قراردادن قرص های فلزی کوچک در اندازه، ارتفاع و مکان های مشخص می توان سطح گلبزرگ فرعی را در یک منطقه خاص کاهش داد [۱۳].

در تحقیقات اخیر روش های مختلف برای کاهش سطح گلبزرگ فرعی استفاده شده اند که عبارتند از: انحنای لبه های بازتابنده [۷]، استفاده از حلقه های جاذب [۱۴]، افزودن روزنه های نامتناوب [۱۵]، طراحی شبکه توری شکل مقابل بازتابنده [۱۶]، تغییر نسبت عمق به قطر بازتابنده [۱۷]، تغییر لبه بازتابنده با عناصر تشدید [۳] و غیر تشدید [۱۸]. در این مقاله کاهش سطح گلبزرگ فرعی با تنظیم قطر و فاصله کانونی صورت گرفته است.

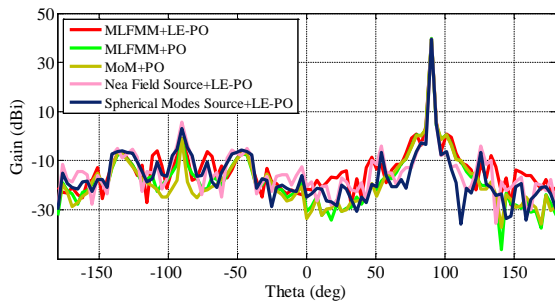
در این مقاله، ساختاری ساده با حداقل سطح گلبزرگ فرعی و بهره ثابت از طریق تنظیم عناصر فاصله کانونی و قطر آنتن ارائه شده است. چارچوب مقاله در ادامه به این شرح است. در بخش دوم، روش های مختلف کاهش سطح گلبزرگ فرعی معرفی شده، روند نمای طراحی آنتن بازتابنده سهمی پیشنهادی ارائه شده و روش های شبیه سازی بررسی می شوند. در بخش سوم، عناصر آنتن بازتابنده سهمی پیشنهادی مورد مطالعه دقیق قرار گرفته و تأثیر هر یک بر سطح گلبزرگ فرعی بررسی شده است. در این بخش نمونه پیشنهادی با کارهای گذشته مقایسه شده است. در بخش چهارم، به جمع بندی مقاله پرداخته می شود.

## ۲- روند نمای طرح پیشنهادی و روش های شبیه سازی

در شکل (۱) روند نمای بهینه سازی آنتن پیشنهادی در این مقاله ارائه شده است. در ابتدا با استفاده از روابط طراحی،



شکل (۱): روند نمای بهینه‌سازی آنتن بازتابنده سهمی‌گون با هدف کاهش سطح گلبرگ‌های فرعی.

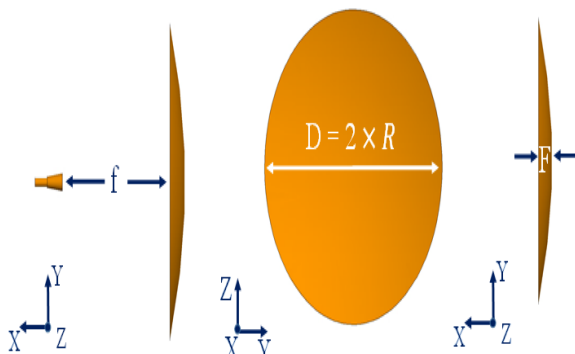


شکل (۲): مقایسه بهره حاصل از روش‌های مختلف شبیه‌سازی آنتن بازتابنده سهمی‌گون با تغذیه معادل کروی میدان دور، میدان نزدیک و آنتن شیپوری [۱۹].

در ادامه طراحی از روش تغذیه معادل کروی میدان دور و LE-PO استفاده شده که در مقایسه با دیگر روش‌ها سرعت بالاتری داشته، نیاز به حافظه بالای دستگاه نداشته و در مقایسه با روش‌های دیگر سطح گلبرگ فرعی بالاتری را نشان می‌دهد که در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت در صورت شبیه‌سازی با دیگر روش‌ها نتیجه مطلوب‌تری حاصل می‌شود.

### ۳- مطالعه عناصر آنتن بازتابنده سهمی پیشنهادی

ساختار آنتن شبیه‌سازی شده در شکل (۳) نشان داده شده است. طراحی در فرکانس ۱۲/۵ GHz صورت گرفته است [۱]. در ادامه چگونگی دستیابی به ابعادی بهینه برای بازتابنده سهمی‌گون پیشنهادی با استفاده از تنظیم عنصرهای شعاع آنتن بازتابنده (R) و فاصله کانونی (f) نشان داده شده است.



شکل (۳): ساختار آنتن بازتابنده سهمی.

جدول (۲): تغییرات سطح گلبرگ فرعی آنتن بازتابنده با تغییر شعاع و فاصله کانونی.

R	f	۰/۴۷۷۳۶	۰/۴۷۳۰۴	۰/۴۷۰۸۸	۰/۴۳۲	۰/۳۸۸
۰/۱۶	۰/۳۵/۵۷	-۳۶/۳۰	-۳۵/۹۲	-۳۵/۷۹	-۳۱/۸۵	-۲۹/۵۷
۰/۴۷۴	۰/۳۶/۲۳	-۴۳/۴۳	-۴۴/۳۰	-۴۳/۶۲	-۳۷/۸۴	-۳۶/۲۳
۰/۴۶۵	۰/۳۵/۹۶	-۴۱/۱۸	-۴۴/۳۶	-۴۴/۹۱	-۳۷/۴۰	-۳۵/۹۶
۰/۴۵۶	۰/۳۷/۱۶	-۴۰/۷۴	-۴۲/۱۲	-۴۳/۱۱	-۳۹/۱۹	-۳۷/۱۶
۰/۳۳	۰/۳۶/۹۹	-۳۶/۹۶	-۳۶/۴۸	-۳۶/۷۸	-۳۶/۷۱	-۳۶/۹۹

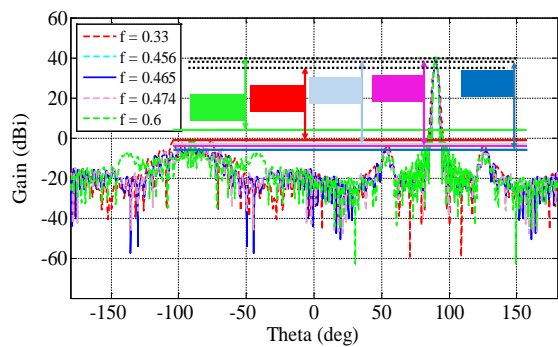
جدول (۱): روش‌های مختلف در شبیه‌سازی آنتن بازتابنده از نظر سرعت شبیه‌سازی و حافظه دستگاه.

روش شبیه‌سازی	حافظه مورد نیاز (MB)	مدت زمان شبیه‌سازی (S)
MLFMM (برای کل ساختار)	۴۹۱۰	۱۴۰۳
MLFMM برای آنتن شیپوری و PO برای آنتن بازتابنده	۷۰۰	۳۶۶۳
MLFMM برای آنتن شیپوری و LE-PO برای آنتن بازتابنده	۲۸۵	۶۱۰
MOM برای آنتن شیپوری و LE-PO برای آنتن بازتابنده	۱۹۶	۸۴
تغذیه معادل میدان نزدیک برای آنتن شیپوری و LE-PO برای آنتن بازتابنده	۴۱	۱۸۳
تغذیه معادل کروی میدان دور برای آنتن شیپوری و LE-PO برای آنتن بازتابنده	۳۲	۴۲

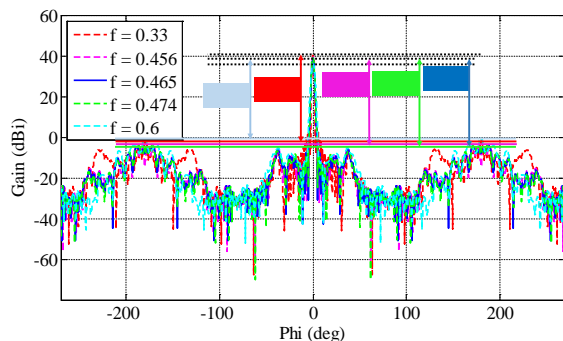
جدول (۱) روش‌های یاد شده را از نظر سرعت و حافظه مورد نیاز برای یک نمونه دستگاه پردازنده بررسی می‌کند. برای بررسی میزان دقت در شبیه‌سازی با روش‌های مذکور، بهره بازتابنده سهمی‌گون در فرکانس ۱۲/۵ GHz با تغذیه آنتن شیپوری استوانه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. بازتابنده قطر ۸۳۶ λ دارد. شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار تمام موج FEKO صورت گرفته است. نتایج چندین شبیه‌سازی در مقایسه بهره حاصل از روش‌های مختلف شبیه‌سازی آنتن بازتابنده سهمی‌گون با تغذیه معادل کروی میدان دور، میدان نزدیک و آنتن شیپوری در شکل (۲) نشان داده شده است. در شبیه‌سازی تمامی این روش‌ها از نرم‌افزار FEKO استفاده شده است. در ادامه و با توجه به شکل، موارد قابل نتیجه‌گیری مورد بررسی و شرح قرار می‌گیرد:

(۱) تفاوتی که بین شبیه‌سازی با تغذیه معادل میدان نزدیک و یا میدان دور کروی با تغذیه آنتن شیپوری دیده می‌شود به دلیل توزیع بین آنتن شیپوری و بازتابنده سهمی‌گون است. این توزیع در روش MLFMM در نظر گرفته می‌شود [۱۹].

(۲) در روش LE-PO هیچ محدودیتی روی مثلث‌های مش‌بندی وجود ندارد که البته باید به‌شکلی دقیق این کار صورت گیرد به‌طوری که برای صفحات مسطح تنها به دو مثلث برای شبیه‌سازی نیاز است [۱۹].



(الف)



(ب)

شکل (۴). تغییرات سطح گلبرگ فرعی و بهره آنتن بازتابنده با تغییر فاصله کانونی در صفحه الف (x-z) و ب (y-z)

شکل‌های (۴-الف و ب) نتیجه شبیه‌سازی‌های مختلف را در تغییرات سطح گلبرگ فرعی و بهره آنتن بازتابنده با تغییر  $f$  به ترتیب در صفحات x-z و y-z نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است، سطح گلبرگ فرعی با کاهش  $f$  روندی کاهشی داشته که البته بعد از مقدار بهینه  $0.465$  m به افزایشی تبدیل وضعیت پیدا کرده است.

شکل‌های (۵-الف و ب) نتیجه شبیه‌سازی‌های مختلف را در تغییرات سطح گلبرگ فرعی و بهره آنتن بازتابنده با تغییر  $R$  به ترتیب در صفحات x-z و y-z نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است، سطح گلبرگ فرعی با افزایش  $R$  روندی کاهشی داشته که البته بعد از مقدار بهینه  $0.47088$  m به افزایشی تبدیل وضعیت پیدا کرده است.

مقادیر عناصر اصلی در طراحی آنتن بازتابنده سهموی پیشنهادی که حاصل از نتایج شبیه‌سازی‌های بالا و مطالعه پارامتری است در جدول (۴) نشان داده شده است.

شکل‌های (۶-الف و ب) نتیجه شبیه‌سازی‌های مختلف را در تغییرات سطح گلبرگ فرعی و بهره آنتن بازتابنده با تغییر فرکانس به ترتیب در صفحات x-z و y-z نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل مشخص است، سطح گلبرگ فرعی با افزایش فرکانس روندی کاهشی داشته است.

جدول (۳): تغییرات بهره آنتن بازتابنده با تغییر شعاع و فاصله کانونی.

R	f	0.47736	0.47304	0.47088	0.432	0.388
0.6	39/14	40/45	40/41	40/38	39/88	39/88
0.474	38/57	39/22	39/21	39/20	38/47	38/47
0.465	38/43	39/08	39/07	39/07	38/86	38/86
0.456	38/37	38/93	38/92	38/92	39/72	38/37
0.33	36/26	36/25	36/25	36/25	36/29	36/26

آنتن مرجع شعاع  $0.432$  و فاصله کانونی  $0.6$  متر داشته که بهره  $39/88$  dBi و سطح گلبرگ فرعی  $39/88$  dB دارد. جدول ۲، تغییرات گلبرگ فرعی آنتن بازتابنده سهمی‌گون بر حسب dB با تغییر  $R$  و  $f$  بر حسب متر نشان می‌دهد. با توجه به جدول با کاهش فاصله کانونی و افزایش شعاع آنتن بازتابنده سطح گلبرگ فرعی به شکلی غیر همگن روند کاهشی داشته ولی همان‌طور که از جدول مشخص است از مقادیری به بعد برای فاصله کانونی و شعاع آنتن سطح گلبرگ فرعی افزایش پیدا کرده است. کمترین سطح گلبرگ فرعی  $36/26$  dB است که پس از چندین شبیه‌سازی حاصل شده است.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد مصالحه‌ای بین اندازه آنتن، سطح گلبرگ فرعی و بهره آنتن بازتابنده وجود دارد که در ادامه برای بررسی این مهم تغییرات بهره آنتن بازتابنده بر حسب dBi با تغییر مقادیر مختلف  $R$  و  $f$  بر حسب متر در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به جدول، با افزایش فاصله کانونی و شعاع آنتن بازتابنده، بهره روند افزایشی داشته است. از جدول مشخص است که بالاترین بهره در شعاع  $0.47736$  m و فاصله کانونی  $0.6$  m اتفاق می‌افتد که ابعاد آنتن بزرگ است و سطح گلبرگ فرعی حدود  $8$  dB بیشتر است که مطلوب نیست.

آنتن بازتابنده پیشنهادی با شعاع  $0.47088$  m و فاصله کانونی  $0.465$  m بهره  $39/07$  dB دارد که با توجه به اندازه مناسب و سطح گلبرگ فرعی پایین مطلوب در طراحی است. با استناد بر نتایج حاصله، سطح گلبرگ فرعی آنتن پیشنهادی به مقدار چشم‌گیر  $13$  dB نسبت به آنتن مرجع کاهش یافته و این در حالی است که بهره تنها  $0.8$  dBi کاهش یافته است.

جدول (۴): مقادیر عناصر اصلی در طراحی آنتن بازتابنده سهمی گون پیشنهادی (آنتن اصلی مرجع).

واحد	ابعاد	شعاع (R)	فاصله کانونی (f)
سانتیمتر		۴۷/۰۸۸ (۴۳/۲)	۴۶/۵ (۶۰/۰)
$\lambda$		۱۹/۶۲ (۱۸)	۱۹/۳۷۵ (۲۵)

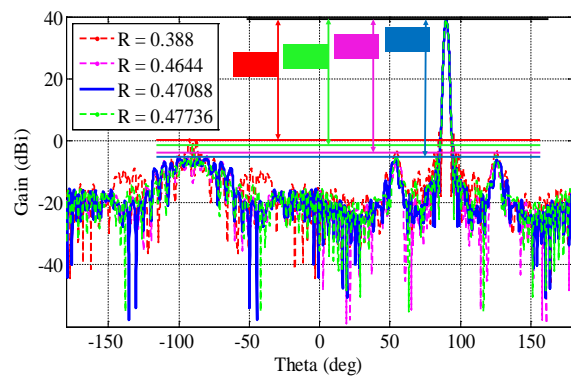
سطح گلبیگ فرعی در فرکانس‌های ۱۲/۵، ۶/۵ و ۱۸/۵ گیگاهرتز به ترتیب برابر با  $-۳۰/۷۶$  dB،  $-۴۴/۹۱$  dB و  $-۴۳/۵$  dB در صفحه x-z شده است. سطح گلبیگ فرعی در فرکانس‌های ۱۸/۵، ۱۲/۵، ۶/۵ و ۱۸/۵ گیگاهرتز به ترتیب برابر با  $-۳۰/۷۶$  dB،  $-۴۴/۹۱$  dB و  $-۴۳/۵$  dB در صفحه x-z شده است. سطح گلبیگ فرعی در صفحه y-z و در فرکانس‌های ۱۲/۵، ۶/۵ و ۱۸/۵ گیگاهرتز به ترتیب برابر با  $-۳۳/۳۵$  dB،  $-۴۳/۵$  dB و  $-۴۵/۴۶$  dB شده است.

شکل‌های (۷-الف و ب) مقایسه‌ای مابین آنتن بازتابنده مرجع و پیشنهادی در ارتباط با تغییرات سطح گلبیگ فرعی بر حسب فرکانس در بازه ۶/۵ GHz تا ۱۸/۵ GHz به ترتیب در صفحات x-z و y-z نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل مشخص است، سطح گلبیگ فرعی با افزایش فرکانس روندی کاهشی داشته و در فرکانس‌های بالاتر اختلاف سطح گلبیگ فرعی از مرجع بیشتر می‌شود. اختلاف سطح گلبیگ فرعی از ۴/۵ dB در فرکانس ۶/۵ GHz به ۱۵/۵ dB در فرکانس ۱۸/۵ GHz در صفحه x-z رسیده است. در صفحه y-z اختلاف سطح گلبیگ فرعی از ۲ dB در فرکانس ۶/۵ GHz به ۱۴ dB در فرکانس ۱۸/۵ GHz رسیده است.

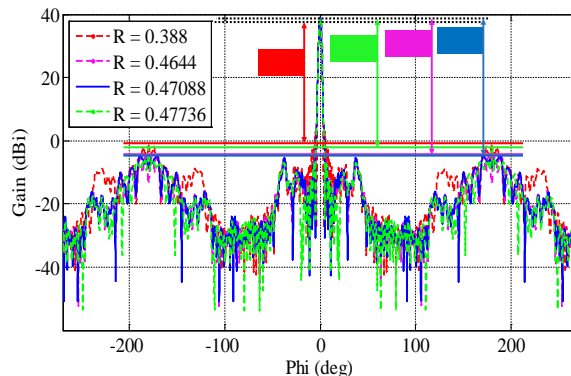
شکل (۸) مقایسه‌ای مابین آنتن بازتابنده مرجع و پیشنهادی در ارتباط با تغییرات بهره بر حسب فرکانس در بازه ۶/۵ تا ۱۸/۵ گیگاهرتز نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، بهره با افزایش فرکانس روندی افزایشی داشته و اختلاف بهره مرجع و آنتن پیشنهادی در طول فرکانس ثابت مانده است که در حدود ۰/۸ dB است.

سطح گلبیگ‌های فرعی ساختارهای طراحی شده در مقالات و طرح پیشنهادی در جدول (۵) مقایسه شده است. با توجه به جدول، در طراحی پیشنهادی سطح گلبیگ‌های فرعی نسبت به پژوهش‌های قبل بهبود چشم‌گیری داشته است. تغییرات سطح گلبیگ فرعی و بهره آنتن بازتابنده سهمی پیشنهادی در شکل‌های ۹-الف و ب به ترتیب در صفحات x-z و y-z در فرکانس ۱۲/۵ گیگاهرتز نشان داده شده است. آنتن پیشنهادی سطح گلبیگ فرعی  $-۴۴/۹۱$  و  $-۴۳/۵$  به ترتیب در صفحات x-z و y-z دارد.

الگوی تشعشعی صفحه E و H این آنتن به ترتیب در شکل‌های (۱۰-الف) و ب نشان داده شده است.

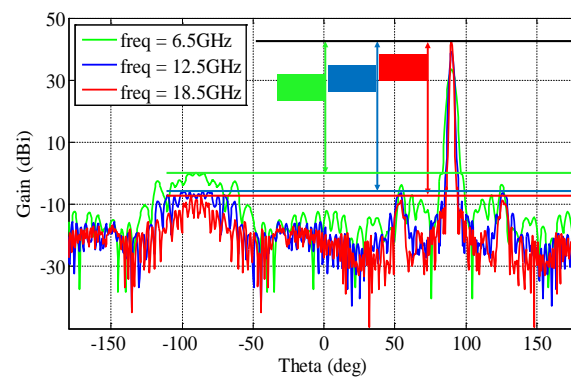


(الف)

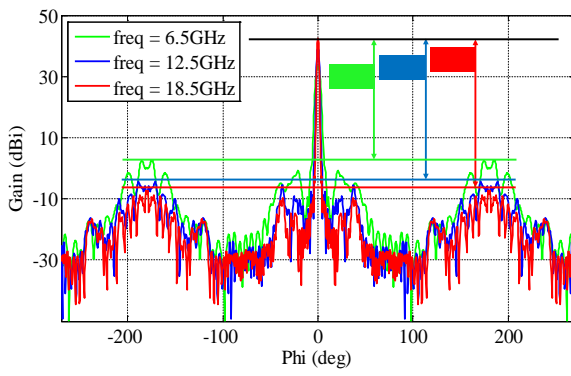


(ب)

شکل (۵): تغییرات سطح گلبیگ فرعی و بهره آنتن بازتابنده با تغییر شعاع در صفحه الف (x-z) ب (y-z).

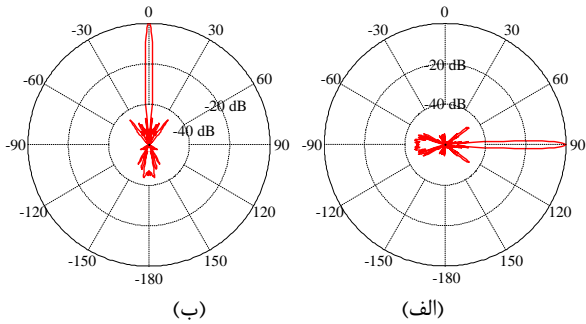


(الف)



(ب)

شکل (۶): تغییرات سطح گلبیگ فرعی و بهره آنتن بازتابنده با تغییر فرکانس در صفحه الف (x-z) ب (y-z).



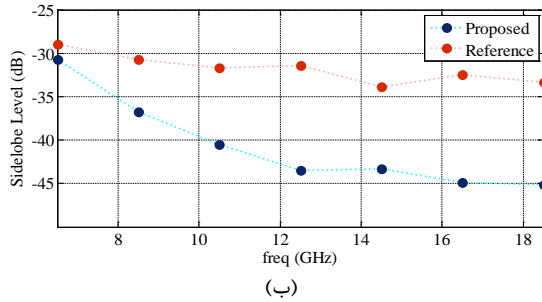
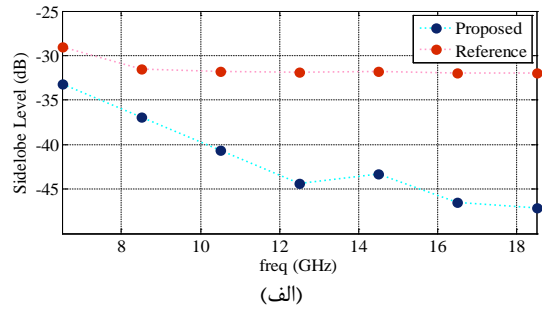
شکل (۱۰): الگوی تشعشعی صفحه الف (ب) H آنتن بازتابنده سهموی پیشنهادی.

جدول (۵): مقایسه نتایج آنتن بازتابنده پیشنهادی و ساختارهای پیشین.

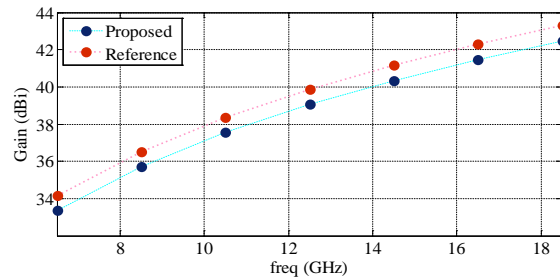
منبع	روش کاهش سطح گلبرگ فرعی	سطح گلبرگ فرعی
[۷]	انحنای در لبه‌ها	-۲۰ dB
[۱۴]	استفاده از حلقه‌های جاذب	-۲۵ dB
[۱۵]	افزودن روزنه‌های نامتناوب	-۲۵ dB
[۱۶]	طراحی شبکه توری شکل مقابل بازتابنده	-۲۷ dB
[۱۷]	تغییر نسبت عمق به قطر	-۳۵ dB
[۲]	تغییر لبه بازتابنده (عناصر تشدید)	-۳۶ dB
[۱۸]	تغییر لبه بازتابنده (عناصر غیر تشدید)	-۳۸ dB
ساختار پیشنهادی	تغییر فاصله کانونی و شعاع باتابنده	-۴۵ dB

#### ۴- نتیجه‌گیری

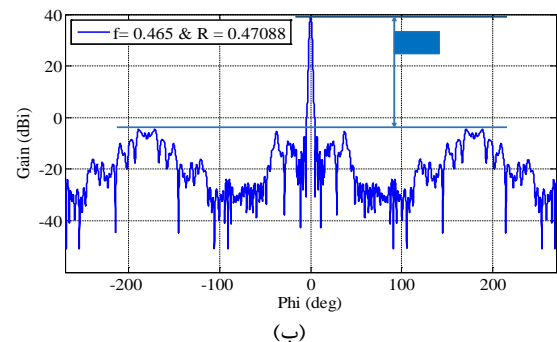
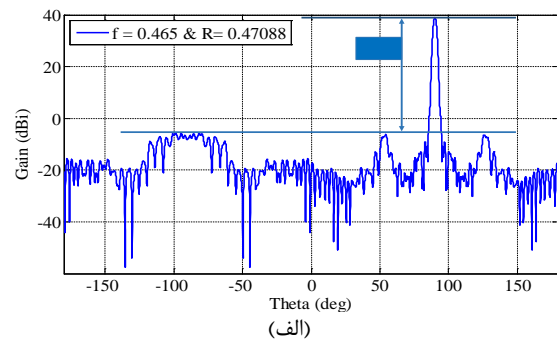
در این مقاله تأثیر فاصله کانونی و قطر آنتن بر کاهش سطح گلبرگ فرعی بررسی شده و بدون استفاده از ساختارهای پیچیده و پر هزینه و نیز ابعادی کوچک نتیجه‌ای مطلوب حاصل شده است. بسته به نیاز به بهره‌بیشینه، کوچکترین اندازه و یا کمترین سطح گلبرگ فرعی طراحی می‌تواند صورت گیرد. با توجه به هدف کمترین سطح گلبرگ فرعی، آنتن پیشنهادی با فرکانس کاری ۱۲/۵ GHz، بهره ۳۹/۰۷ dB، عمق  $\lambda/۹۶۷$ ، قطر  $\lambda/۳۷۵$ ، فاصله کانونی  $\lambda/۱۹$  و سطح گلبرگ فرعی -۴۴/۹۱ dB و -۴۳/۵ dB به ترتیب در صفحات E و H دارد. این آنتن در فرکانس‌های ۶/۵ GHz و ۱۸/۵ GHz، به ترتیب سطح گلبرگ فرعی -۳۰/۷۶ dB و -۴۷/۱۵ dB دارد.



شکل (۷): مقایسه تغییرات سطح گلبرگ فرعی بر حسب فرکانس آنتن مرجع و پیشنهادی در صفحه الف (x-z) ب (y-z).



شکل (۸): مقایسه تغییرات بهره بر حسب فرکانس آنتن مرجع و پیشنهادی.



شکل (۹): تغییرات سطح گلبرگ فرعی و بهره آنتن بازتابنده پیشنهادی در صفحه الف (x-z) ب (y-z).

## ۵- مراجع

- [11], R. L. Haupt, "Low sidelobe resistive reflector antenna." U.S. Patent No. 5,134,423. 28 Jul. 1992.
- [12] S. V. Nechitaylo, A. Z. Sazonov, and O. I. Sukharevsky. "Calculation of electromagnetic field in near field zone of reflector antenna with edge radar absorbing coating." *Mathematical Methods in Electromagnetic Theory*, 2002. MMET'02. 2002 International Conference on. Vol. 2. IEEE, 2002.
- [13] D. Jacavanco, "Reflector antenna having sidelobe suppression elements." U.S. Patent No. 4,631,547. 23 Dec. 1986.
- [14] H. Chou, "Radiation Sidelobe Reduction and Focus Properties of Reflector Antennas by Grating the Aperture Field via Nonperiodic Fresnel-Zone Plate Lens," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 66, no. 5, pp. 2634-2639, May 2018.
- [15] S. Tuan, C. Sun, H. Ho and H. Chou, "On the sidelobe reduction of reflector antenna's radiation by using non-periodic grating apertures," 2016 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC), Shenzhen, pp. 132-134, 2016.
- [16] J. R. de Lasson, C. Cappellin, R. Jorgensen, L. Datashvili and J. Angevain, "Advanced techniques for grating lobe reduction for large deployable mesh reflector antennas," 2017 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, San Diego, CA, pp. 993-994, 2017.
- [17] Bo Sun, Jinghui Qiu, Caitian Yang and Lingling Zhong, "Effect of design parameters on sidelobe level of short-focus parabolic reflector antenna," 2008 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility and 19th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, Singapore, pp. 851-854, 2008.
- [18] A. A. Kishk and L. Shafai, "Small reflector antenna with low sidelobes," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 10, pp. 2907-2912, Oct. 2003.
- [19] Electromagnetic Simulation Software, Altair Feko.
- [1] C. A. Balanis, "Antenna Theory analysis and design", John Wiley & Sons, fourth edition, 2016.
- [2] P. A. Venkatachalam, N. Gunasekaran and K. Raghavan, "An offset reflector antenna with low sidelobes", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation AP-33*, No.6, June.1985.
- [3] H. Chou and H. Ho, "Local Area Radiation Sidelobe Suppression of Reflector Antennas by Embedding Periodic Metallic Elements Along the Edge Boundary," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 10, pp. 5611-5616, Oct. 2017.
- [4] S. H. Sedighi, M. Salimi, "Smart Antenna Design with Arbitrary Tilt for Wireless Communication." *Applied Electromagnetics*, 2 (3), 51-57, 1394. (In Persian)
- [5] M. Fertokzadeh, S. H. Mohseni Armaki, "Millimeter Wave Near-field Focusing Cassegrain Reflector Antennas." *Applied Electromagnetics*, 2 (3), 41-49. 1394 (In Persian)
- [6] S. Ebrahimi, S. H. Mohseni Armaki, A. Erfanian, "Design and Implementation of Cassegrain Antenna with 37dB Gain in Millimeter Wave Spectrum." *Applied Electromagnetics*, 2 (3), 11-20, 1394. (In Persian)
- [7] R. A. Shore and A. D. Yaghjian, "Application of incremental length diffraction coefficients to calculate the pattern effects of the rim and surface cracks of a reflector antenna," in *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 41, no. 1, pp. 1-11, Jan 1993.
- [8] G. L. James, and V. Kerdelmidis. "Reflector antenna radiation pattern analysis by equivalent edge currents." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2 19-24, 1973.
- [9] W. D. Burnside, et al. "Curved edge modification of compact range reflector.", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 35.2, 176-182, 1987.
- [10] Chou, HsiTseng, ShihChung Tuan, and YuTing Hsiao. "Hybrid GB and PO analysis of electromagnetic radiation/scattering from large reflector antennas with tapered impedance surfaces." *Microwave and optical technology letters* 42.1, 34-37, 2004.