

# طراحی آنتن شکافدار دیواره باریک، با سطح لوب کناری و کراس پلاریزاسیون پایین، جهت رادارهای باند L

تاریخ دریافت:

۳۱ تیر ماه ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش:

۱۰ شهریور ماه ۱۴۰۳

حسن زمینی\*<sup>۱</sup>

۱. مربی، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران

## چکیده

رادارهای مراقبتی یکی از مهمترین اجزای سیستم های پدافندی می باشند. داشتن خصوصیت تاکتیکی و توانایی جابجایی سریع این رادارها می تواند تاثیر بسزایی در افزایش قدرت پدافندی کشور داشته باشد. آنتن این رادارها معمولاً از نوع رفلکتور بوده و دارای آنتن های بزرگی می باشند. در واقع ابعاد این آنتن ها مهمترین گلوگاه در تاکتیکی کردن این رادارها می باشد. با توجه به اینکه اکثر رادارهای مراقبتی باند L غیر تاکتیکی و ساکن هستند، لذا نیازمندی پدافند کشور به آنتنی در جهت موبایل کردن این رادارها مشخص می باشد. در این مقاله یک آنتن آرایه موجبری با شکاف مورب در دیواره باریک موجبر مستطیلی با سطح لوب کناری پایین و پلاریزاسیون متقاطع پایین، در جهت تاکتیکی کردن رادارهای باند L طراحی و شبیه سازی گردیده است. آنتن طراحی شده دارای ۱۰۳ شکاف مورب در دیواره باریک موجبر مستطیلی در باند L، با گین 24 dB، پهنای باند برابر ۱/۳ درجه و سطح گلبرگ کناری کمتر از ۲۳ دسی بل، و سطح پلاریزاسیون متقاطع کمتر از ۲۵ دسی بل با استفاده از توزیع چبی شف، تحقق یافته است.

واژه های کلیدی: آنتنهای موجبری شکافدار، آنتن موج رونده، موجبر مستطیلی، صفحات بافلی، جاروب فرکانسی.

## Design Slot Array Antenna at the Narrow Wall of the Waveguide with low SLL and low cross-polarization for L-Band radar applications

Hassan Zamini\*<sup>1</sup>

1. Shahid Sattari Aeronautical University of Science and Technology, Tehran, Iran.

### Abstract

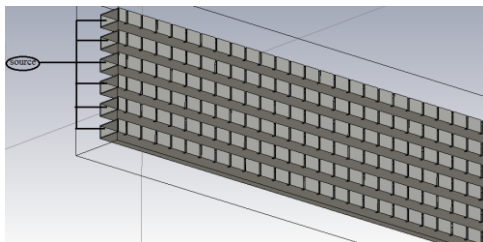
Surveillance radars are one of the most important components of defense systems. Having a tactical feature and the ability to quickly move these radars can have a significant impact on increasing the defense power of the country. The antenna of these radars is usually reflector type and has large antennas. In fact, the dimensions of these antennas are the most important bottleneck in making these radars tactical. Considering that most of the L-band surveillance radars are non-tactical and static, the country's defense needs an antenna to make the radars mobile. In this article, a waveguide array antenna with 103 inclined slot in the narrow wall of the rectangular waveguide with side lobe surface and low cross polarization has been designed and simulated in the direction of tactical L-band radars.

**Key words:** slotted waveguide antenna, travelling wave type slotted waveguide array, rectangular waveguide, baffle, frequency scanning.

جهت تاکتیکی کردن رادارهای باند L ارائه شده است. جهت کاهش پلاریزاسیون متقاطع آنتن نیز از تکنیک صفحات بافلی استفاده گردیده است. با توجه به اینکه در این مقاله مقرر است که از شکاف مایل در دیواره باریک موجبر مستطیلی به عنوان المان تشعشی استفاده گردد، لذا در این بخش این نوع شکاف معرفی و خصوصیات تشعشی آن بررسی می‌گردد. همچنین عوامل موثر بر تحریک این نوع شکاف نیز بررسی، نتایج حاصل با طراحی و شبیه سازی ارائه گردیده است.

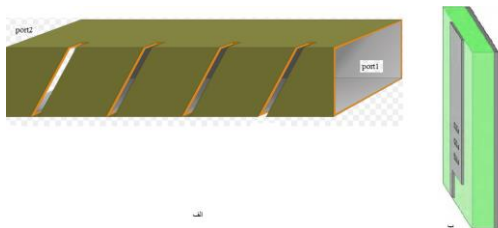
## ۲- آنتن موجبری شکافدار

موجبر مستطیلی، یکی از بهترین گزینه‌ها برای استفاده در آنتن‌های شکافی موجبری است چرا که ساختارهای بسته با وجوهی تخت دارد و روابط میدانی آن بسادگی بدست می‌آید. همین مساله باعث شده که موجبرهای مستطیلی به عنوان اولین گزینه برای ساخت آنتن‌های شکافی مطرح شوند (شکل ۱).



شکل ۱- آنتن آرایه موجبری شکافدار صفحه‌ای

آنتن‌های شکافی را می‌توان از نقطه نظر نحوه تغذیه آرایه‌ها به دو دسته آرایه‌های موجبری و آرایه‌های چابی (میکرواستریپ‌ها) تقسیم نمود. در تغذیه موجبری، عناصر که شامل شکاف می‌باشند بر روی دیواره موجبرهای متداول (و یا دیگر ساختارهای همدیس) همچون موجبر مستطیلی، صفحات موازی و یا استوانه‌ای ایجاد می‌گردند و تغذیه شکاف‌ها از طریق خود موجبر صورت می‌پذیرد. در این حالت، کل آرایه به همراه شبکه تغذیه بصورت یک جسم یکپارچه و مستحکم خواهد بود. در شکل ۲ این دو نوع آنتن نشان داده شده‌اند.



شکل ۲- انواع تغذیه در آرایه‌های شکافی

### الف- موجبری - ب- میکرواستریپی

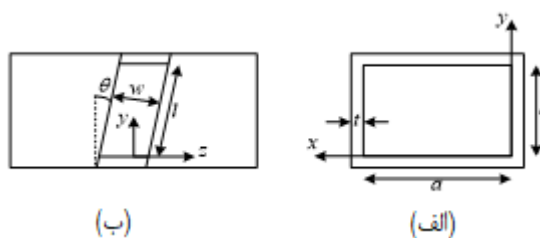
واضح است که آرایه‌های شکافی موجبری قابلیت حمل توان‌های بالا تر داشته و از لحاظ مکانیکی، دارای استحکام بیشتری می‌باشند. در عوض، آرایه‌های شکافی بر روی زیر لایه دی‌الکتریک، ابعاد کمتر و قابلیت تجمع سازی با دیگر مدارات مایکروویو را داشته و هزینه ساخت پایینتری نیز دارد [۷-۸]. تعداد زیادی از شکلهای متفاوت شکاف روی دیواره‌های موجبر می‌توان اعمال کرد. همه شکافهای موجبری یک میدان الکترونیکی در محل روزه ایجاد می‌کنند که بوسیله جریان سطحی

امروزه سیستم‌های راداری استفاده گسترده‌ای در کنترل ترافیک، اندازه‌گیری سرعت وسایل نقلیه، یافتن و تعقیب هواپیماها، کشتی‌ها و پیش بینی آب و هوا و ... دارند. در سیستم‌های امروزی چرخش بیم سریع از طریق استفاده از آنتن‌های کم هزینه از نوع جاروب الکترونیکی تحقق می‌یابد. تشخیص هدف در مخابرات راداری به سختی با تغییر مکان مکانیکی آنتن حاصل می‌شود. روش‌های مکانیکی جاروب، آهسته هستند و نیاز است مقدار قابل توجهی از توان و ثبت موقعیت بهینه‌ی بیم بدلیل انعطاف ناپذیری و لختی آنتن کاهش یابد. با جاروب الکترونیکی بیم آنتن تقریباً بطور آنی تغییر مکان می‌یابد بنابراین زمان عک‌العمل و خطاهای حاصل از استفاده از سیستم‌های مکانیکی کاهش می‌یابند. این روش جاروب بوسیله استفاده از آنتن‌های آرایه‌ای حاصل می‌شود. یکی از روش‌های ساده پیاده‌سازی رادارهای آرایه فاز، استفاده از جاروب فرکانسی می‌باشد که اختلاف فاز بوسیله تغییر فرکانس ایجاد می‌گردد. اصول جاروب فرکانسی خیلی ساده است و به این دلیل است که تاخیر فاز در طول خط انتقال با فرکانس تغییر می‌کند. [۱-۲]. آنتن‌های موجبری شکافدار به دلیل برخورداری از مزایای قابل توجه، از جمله پرکاربردترین نوع آرایه‌ها هستند که در حوزه وسیعی از کاربردهای مخابراتی و راداری همچون رادارهای فضایی و ماهواره‌ها (برای کاربردهای نظیر: کنترل ذخایر زمینی، مخابره مستقیم ماهواره ای) رادارهای زمینی و برج دیده‌بانی، رادارهای هوایی و فرودگاهی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بسیاری از کاربردها نیز جایگزین آنتن‌های انعکاسی سهموی شده است. [۳-۶].

آنتن‌های شکافی موجبری را می‌توان به ایجاد شکاف بر روی دیواره انواع موجبرها و ساختارهای همدیس پیاده‌سازی نمود و متناسب آن روشهای متفاوتی برای تحلیل و طراحی آنها ارائه شده است. واضح است که هر یک از ساختارها مشخصات تشعشی مخصوص به خود را نیز خواهد داشت. در یک نگاه کلی می‌توان آنتن‌های شکافی موجبری را به دو دسته زیر قرار داد:

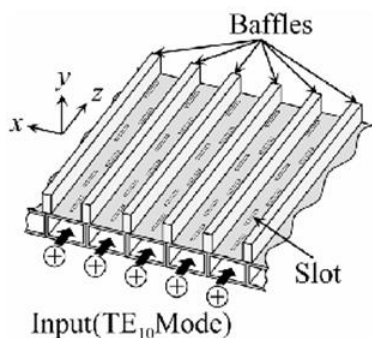
- آنتن‌های شکافی (تخت صفحه ای)
- آنتن شکافی خمیده (همدیس)

در نوع تخت، کل ساختار آنتن شکافی که می‌تواند به فرم خطی و یا صفحه‌ای باشد، درون یک صفحه قرار می‌گیرد و لذا می‌توان آنها را بر اساس روشهای آنالیز آرایه‌های صفحه‌ای مورد بررسی قرار داد. این نوع از آنتن‌ها شامل آرایه‌های شکافی موجبری بر روی موجبر مستطیلی و موجبر صفحات موازی می‌باشند. برای دستیابی به پترن مورد نظر در یک آرایه، در مواردی که به قطبش طولی نیاز است، شکاف‌ها باید روی دیواره‌ی باریک موجبر قرارگیرند. همچنین در آرایه‌های صفحه‌ای اسکن فازی که لازم است فاصله‌ی بین شکافهای مجاور، مساوی یا کوچکتر از  $\lambda_g/2$  باشد، بسیار مناسب است که از شکافهای ایجاد شده در دیواره‌ی باریک موجبر استفاده شود. در این مقاله یک آنتن آرایه موجبری با ۱۰۳ شکاف مورب در دیواره باریک موجبر مستطیلی در



شکل ۵- (الف) نمای موجبر مستطیلی (ب) شکاف مایل روی دیواره‌ی باریک موجبر

مشخصات شکاف به گونه‌ای باشد که شکاف در فرکانس کار، در حالت تشدید باشد. بسیاری از دیواره‌های باریک موجبری قدری کوچکتر از اسلاتهای واقع شده روی آن می‌باشند که نمی‌تواند ادمیتانس حقیقی خالص بدون پیچ خوردگی در گوشه موجبر ایجاد کند. طول اضافی به تو رفتگی اسلات بستگی دارد تا اینکه این اسلات قادر باشد در فرکانس مورد نظر در حالت تشدید باشد و یک ادمیتانس خالص حقیقی ایجاد کند. این نوع آنتن‌ها برای اسکن الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به خاطر اینکه grating lobe ایجاد نمی‌کنند. عیب اصلی این اسلات‌ها ایجاد پلاریزاسیون متقاطع بخاطر طبیعت کج بودن آنها می‌باشد. برای رفع این مشکل از تکنیک صفحات بافلی (Baffle) استفاده می‌شود [۱۲]. در شکل ۶ صفحات فلزی ایجاد شده بین شکافها در یک آرایه صفحه‌ای جهت کاهش پلاریزاسیون متقاطع نشان داده شده است.

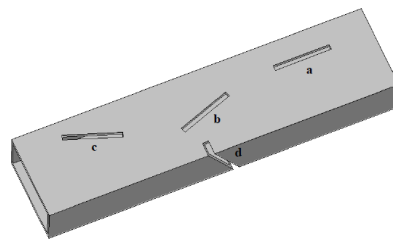


شکل ۶- آرایه صفحه‌ای به همراه صفحات فلزی موازی

### ۳- بررسی خواص تشعشعی تک شکاف

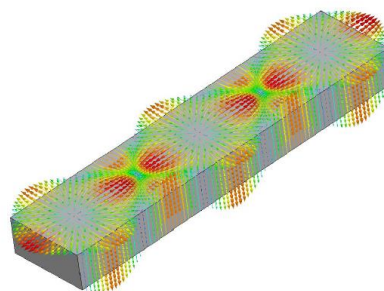
استفاده از آنتن‌های شکافدار در دیواره پهن موجبر، باعث افزایش ارتفاع آنتن در آنتن‌های صفحه‌ای می‌شود. لذا در سیستم‌های جدید راداری از شکافهای مایل بر روی دیواره باریک موجبر استفاده می‌شود. برای طراحی آرایه‌ای با این نوع شکاف ضروری است که نحوه تشعشع از هر شکاف روی آرایه قابل محاسبه و کنترل بوده و مکانیسمی جهت کنترل دامنه و فاز تشعشعی موجود باشد. پارامترهای مختلفی در خصوصیات تشعشعی این نوع شکاف موثرند از قبیل: زاویه کجی شکاف، دهانه شکاف و تو رفتگی شکاف. از آنجائیکه این تحقیق در نهایت قرار است منجر به ساخت گردد و در صنایع نظامی و فرودگاهی مورد استفاده قرار گیرد، بهترین ملاحظات جهت ساخت آن در نظر

موجود در محل شکاف انجام می‌شود. مقدار تشعشع از هر شکاف بستگی به نحوه‌ی قرارگیری شکاف روی دیواره‌ی موجبر دارد. با تغییر قرارگیری هر کدام از شکاف‌های آرایه می‌توان مقدار تشعشع شکاف‌ها را نسبت به هم تغییر داد. در شکل ۳ شکافهای متداول ایجاد شده روی موجبر مستطیلی نشان داده شده است.



شکل ۳- شکافهای رایج روی دیواره‌های موجبر مستطیلی

اصولاً طراحی یک آنتن موجبری شکافدار شامل بدست آوردن فاصله‌ی بین شکاف‌ها و نحوه‌ی قرارگیری هر کدام از شکاف‌ها روی دیواره‌ی موجبر است. توزیع جریان روی دیواره‌های موجبر مستطیلی برای مد  $TE_{10}$  در شکل ۴ نشان داده شده است.

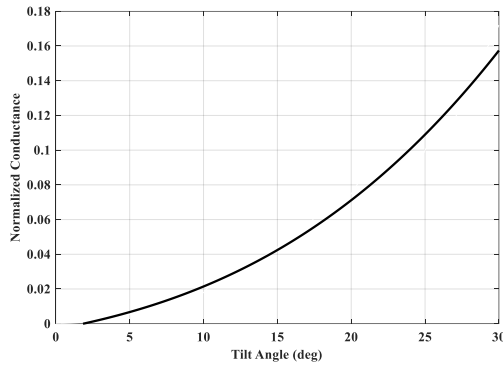


شکل ۴- توزیع جریان روی موجبر مستطیلی با تحریک مد  $TE_{10}$

با توجه به اینکه شکافهای عرضی غیر مایل روی دیواره‌ی باریک موجبر مستطیلی به طور طبیعی تحریک نمی‌شوند [۹-۱۰] می‌بایست از شکافهای مورب استفاده کرد (شکل ۵). ولی باید توجه داشت که زاویه‌ی چرخش شکاف کم باشد و از حد معینی بیشتر نشود، زیرا سبب افزایش قطبش متعامد می‌شود. به این نوع شکاف‌ها، شکافهای لبه-ای<sup>۱</sup> نیز گفته می‌شود. شکافهای لبه‌ای بهترین گزینه برای تولید قطبش طولی در آرایه‌های شکافی موجبری می‌باشند. پهنای باند این شکاف‌ها بیش از پهنای باند شکاف‌هایی است که روی دیواره‌ی پهن موجبر ایجاد می‌شوند. بعلاوه، چون این شکاف‌ها روی دیواره‌ی باریک موجبر ساخته می‌شوند، شکاف‌های مجاور در آرایه‌های صفحه‌ای را می‌توان نسبت به هم نزدیک تر قرار داد تا به هنگام چرخش و حرکت پرتو آرایه، از ایجاد چند پرتو جلوگیری شود. برای چنین شکافی، میدان‌ها در هر دو طرف موجبر به طور یکسان پراکنده می‌شوند. در این حالت، ثابت شده است که می‌توان شکاف را به وسیله‌ی یک مدار ساده شامل یک ادمیتانس موازی ( $Y = G + jB$ ) در خط انتقال، مدل سازی کرد [۱۱]. چنانچه قسمت موهومی ادمیتانس یعنی سوپرتانس صفر شود گفته می‌شود که شکاف در حالت تشدید است. معمولاً در عمل لازم است

<sup>۱</sup> Edge slots

تنظیم توزیع دامنه عنصرها و انتخاب مناسب وزن‌دهی، برای چنین منظوری مناسبند. [۱۶-۱۳].



شکل ۸- نمودار کندکتانس شکاف بر حسب تغییرات زاویه

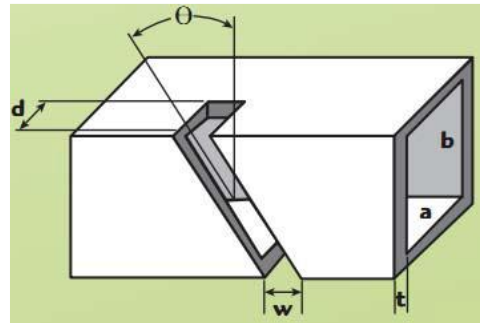
از آن جایی که توان در موجبر پیوسته در حال تضعیف شدن است، پس برای رسیدن به میزان تزویج مطلوب، شکل ایده آل و میزان زاویه کجی شکاف را باید با در نظر گرفتن میزان توان تابشی در نقاط مختلف و میزان توان باقی مانده در موجبر، تعیین کرد. از این رو در نقاط نزدیک به تغذیه موجبر، زاویه کجی شکاف کمتر انتخاب میشود تا توان کافی برای تشعشع وجود داشته باشد. برای نقاط دورتر از تغذیه که سطح توان در موجبر کاهش می‌یابد، زاویه کجی بیشتری جهت شکاف باید در نظر گرفته شود تا سطح توان مورد نیاز برای تشعشع تامین شود. آنتن‌های شکاف موجبری می‌توانند به دو روش موج ایستا و موج متحرک طراحی شوند. در روش موج ایستا یا رزونانسی فاصله بین شکافها برابر  $\lambda g/2$  در نظر گرفته می‌شود. در این روش تطبیق در ورودی برای تعداد زیاد شکافها مشکل است و اصولاً در ساختارهایی که تعداد شکافها زیاد است از این روش استفاده نمی‌شود و روش موج متحرک مناسب‌تر است. در این روش فاصله بین شکافها مخالف  $\lambda g/2$  است و انتهای موجبر جاذب قرار می‌گیرد و تطبیق در ورودی به دلیل اینکه برگشتی سیگنال بسیار کم است به راحتی حاصل می‌شود. نکته مهم در طراحی آنتن شکاف موجبری به این روش این است که حتماً می‌بایستی تعداد شکافها زیاد باشد در غیر اینصورت بیشتر توان در جاذب انتهای موجبر تلف می‌شود و درصد کمی تشعشع می‌کند. به منظور طراحی یک آرایه خطی با خصوصیات مورد نظر باید موارد زیر در نظر گرفته شود:

- ۱- توزیع دامنه مطلوب، ۲- ماکزیمم کندکتانس مورد نیاز برای هر شکاف، ۳- توان داده شده به بار تطبیق یافته در فرکانس مرکزی

#### ۴-۱- توزیع دامنه تحریک

آنتن طراحی شده از نوع آرایه موج رونده است. شکافهای این آرایه به صورت مایل روی دیواره باریک موجبر ایجاد شده است. همچنین تغذیه آنتن از کنار آن، باعث می‌شود فازهای متفاوتی به هر یک از شکافها اعمال شود و بیم آنتن را بتوان چرخاند. طراحی آرایه دلف-چی شف، گلبگ‌های فرعی با دامنه یکسان را نتیجه می‌دهد [۱۳]. جهت دستیابی به آنتنی با مشخصات فنی بسیار خوب ( $SLL \leq -23dB$ ) و  $BW=1.3 \text{ deg}$  و  $CrossPol \leq -25dB$ ) با  $10^3$  عنصر جهت

گرفته شده است. پس برای ساده شدن ساخت این آنتن، تنها پارامتر زاویه کجی شکاف که موثرترین پارامتر می‌باشد، متغیر در نظر گرفته تا بهره، عرض پرتو، سطح گلبگ کناری،  $S_{11}$ ،  $S_{21}$  مورد نیاز حاصل گردد. جهت بررسی خصوصیات تشعشعی شکاف مطرح شده، یک موجبر مستطیلی به ابعاد  $a=165\text{mm}$  و  $b=82\text{mm}$  با یک شکاف مایل به عرض  $w=6\text{mm}$ ، با عمق نفوذ  $d=12\text{mm}$  در دیواره باریک مطابق شکل ۷، در فرکانس  $1/3$  گیگا هرتز شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفته است. (ضخامت دیواره موجبر ۲ میلی متر در نظر گرفته شده است). در دو طرف موجبر دهنه تشعشعی (wave port) قرار داده شده، شرایط مرزی مورد نیاز تعریف شده و پارامترهای پراکندگی بدست آورده شده است.



شکل ۷- مدل تک عنصر پیشنهادی شبیه سازی شده توسط نرم

#### افزار HFSS

بعد از محاسبه پارامترهای پراکندگی  $S_{11}$  و  $S_{21}$ ، مقدار کندکتانس شکاف (میزان دامنه تشعشعی) از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

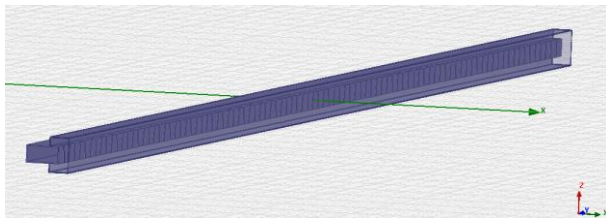
$$g = \text{Re}((1 - s_{11}) / (1 + s_{11})) \quad (1)$$

#### ۳-۱- تاثیر زاویه کجی شکاف

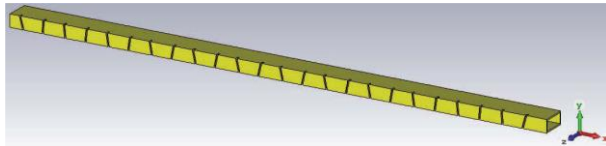
یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر میزان تشعشع شکاف مورب، زاویه کجی شکاف ( $\theta$ ) می‌باشد. یک موجبر مستطیلی به ابعاد  $a=165\text{mm}$  و  $b=82\text{mm}$  با یک شکاف مایل به عرض  $w=6\text{mm}$ ، با عمق نفوذ  $d=12\text{mm}$  در دیواره باریک مطابق شکل ۷، در فرکانس  $1/3$  گیگا هرتز شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفته است. زاویه کجی شکاف ( $\theta$ )، از ۱ تا ۳۰ درجه متغیر در نظر گرفته شده و با اجرای برنامه HFSS به بررسی نتایج پرداخته شده است. در شکل ۸ منحنی کندکتانس یک شکاف مورب با عمق نفوذ ۱۲ میلی متر نسبت به تغییرات زاویه نشان داده شده است. با بررسی نمودار مشاهده می‌شود که دامنه تشعشعی (کندکتانس شکاف) با تغییر زاویه کجی شکاف با نسبت مستقیم تغییر می‌کند. یعنی با تغییر زاویه می‌توان به دامنه تشعشعی بالا و پایین دست یافت.

#### ۴- طراحی آنتن آرایه شکافدار موجبری

آنتن‌های جهتی که سطح گلبگ‌های فرعی آنها پایین باشد، به دلیل کاهش تداخل کاربردهای وسیعی دارند. آنتن‌های آرایه‌ای، بدلیل امکان



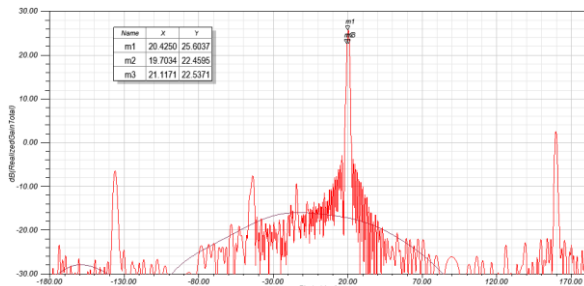
(الف)



(ب)

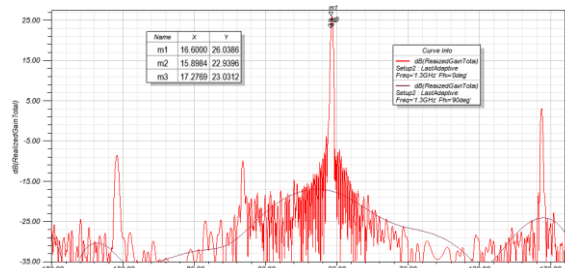
شکل ۱۱ - (الف) آنتن آرایه‌ای خطی شکاف مورب موجبری طراحی شده با  $10^3$  عنصر (ب) نمایی دیگر از آنتن پیشنهادی

در شکل (۱۲)، الگوی تشعشی آنتن طراحی شده در فرکانس  $1/25$  گیگاهرتز نشان داده شده است.



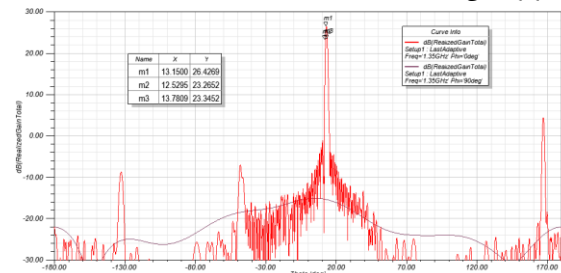
شکل ۱۲ - الگوی تشعشی آنتن طراحی شده در فرکانس  $1/25$  گیگاهرتز

در شکل ۱۳، الگوی تشعشی آنتن طراحی شده در فرکانس  $1/3$  گیگاهرتز نشان داده شده است.



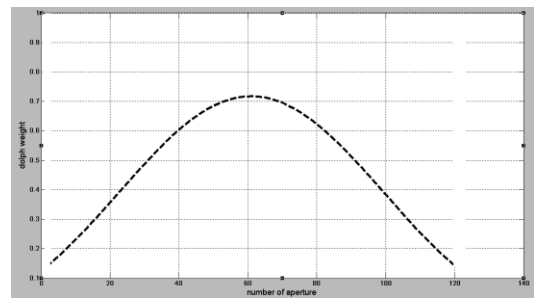
شکل ۱۳ - الگوی تشعشی آنتن طراحی شده در فرکانس  $1/3$  گیگاهرتز

در شکل ۱۴، الگوی تشعشی آنتن طراحی شده در فرکانس  $1/35$  گیگاهرتز نشان داده شده است.



شکل ۱۴ - الگوی تشعشی آنتن طراحی شده در فرکانس  $1/35$  گیگاهرتز

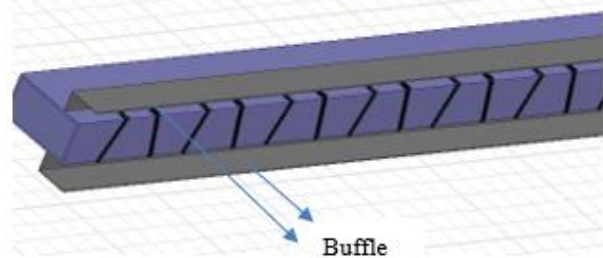
کاربرد در رادارهای مختلف، توزیع مناسب به روش دولف-چی شیف محاسبه و روی موجبر پیاده‌سازی شده است. ضریب آرایه این توزیع نیز در شکل ۹ رسم شده است.



شکل ۹ - نمودار توزیع دامنه چی شیف

#### ۲-۴- طراحی بافلی و پوشش آنتن

علیرغم مزایای گفته شده در بالا، استفاده از شکافهای مایل در دیواره باریک موجبر موجب ایجاد پلاریزاسیون متقاطع می‌شود که مطلوب ما نمی‌باشد. جهت رفع این مشکل از روش صفحات بافلی (Baffle) استفاده شده است. بین هر شاخه آنتن با شاخه‌های مجاور صفحات فلزی قرار داده شده است، به گونه‌ای که شکافها در بین صفحات فلزی موازی، محصور شده‌اند که کاهش پلاریزاسیون متقاطع را به دنبال خواهد داشت. به این صفحات فلزی موازی، اصطلاحاً بافلی می‌گویند. مهمترین پارامتر بافلی عمق آن است که تقریباً  $\frac{\lambda_0}{4}$  در نظر گرفته می‌شود و در فرآیند طراحی بهینه می‌شود. برای حفاظت فیزیکی آنتن در برابر عوامل محیطی، از پوشش استفاده شده است. به این ترتیب که یک لایه تفلون به ضخامت ۱mm و در فاصله ۲mm از لبه‌ای از موجبر که شکافها در آن تعبیه شده‌اند کشیده شده است. در شکل ۱۰ قسمتی از آنتن پیشنهادی به همراه صفحات فلزی موازی (بافلی) نشان داده شده است. فاصله بین شکافها چنان انتخاب شده است که در کل باند فرکانسی آن ( $1/25$  تا  $1/35$  گیگاهرتز) فاصله شکافها  $\lambda_g/2$  نشود. با توجه به محدودیت طول شاخه، می‌توان  $10^3$  شکاف مایل را در طول شاخه قرار داد.



شکل ۱۰ - قسمتی از آنتن پیشنهادی به همراه صفحات فلزی موازی (Baffle)

#### ۵- نتایج شبیه سازی

بعد از محاسبه و به دست آوردن پارامترهای هر شکاف، آنتن آرایه خطی با مشخصات مورد نظر با استفاده از نرم افزار HFSS شبیه‌سازی شده است (شکل ۱۱).

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله یک آنتن آرایه موجبری با ۱۰۳ شکاف مورب در دیواره باریک موجبر مستطیلی با سطح لوب کناری و پلاریزاسیون متقاطع پایین در جهت تاکتیکی کردن رادارهای باند L ارائه شده است. با توجه به اینکه اکثر رادارهای مراقبتی باند L غیر تاکتیکی و ساکن هستند، لذا نیازمندی پدافند کشور به آنتنی در جهت موبایل کردن این رادارها مشخص می‌باشد. با توجه به مزایای زیاد و قابل توجهی که آنتن‌های آرایه‌ای شکافی موجبری دارند از این آنتن‌ها به طور وسیع و گسترده‌ای در رادارها، سیستم‌های مخابراتی و نظامی استفاده می‌شود. آنتهای موجبری شکافدار را می‌توان با ایجاد شکاف بر روی دیواره باریک یا دیواره پهن موجبر ایجاد کرد. از آنجا که ایجاد شکاف در دیواره پهن باعث بزرگ شدن ابعاد آنتن می‌شود لذا این گزینه متفی است. همچنین با ایجاد شکاف در دیواره پهن نمی‌توان به مقدار پایین سطح گلبرگ‌های کناری دست پیدا کرد. بنابراین باید شکاف‌ها را در دیواره باریک ایجاد کرد. با توجه به جریانهای سطحی روی دیواره‌های موجبر، شکافهای عمودی در دیواره باریک مولفه‌های جریان را قطع نکرده و هیچ گونه تشعشعی ندارند. دو راه برای حل این مشکل وجود دارد. راه اول ایجاد شکافهای مایل روی دیواره باریک و راه دوم استفاده از شکافهای عمودی در دیواره باریک و میله در داخل موجبر جهت تحریک و تشعشع در شکاف‌ها می‌باشد. روش دوم از میزان پلاریزاسون متقاطع بهتری برخوردار است. مزیت روش اول نبود تیغه‌ها و در نتیجه تلفات کمتر و راندمان بهتر آنتن می‌باشد. بنابراین در این مقاله از شکافهای مایل در دیواره باریک موجبر مستطیلی استفاده شده است و راهکار عمده ما برای مشکل پلاریزاسیون متقاطع، استفاده از صفحات فلزی موسوم به بافلی است. در این مقاله بر اساس روش آرایه شده مبنی بر استفاده از صفحات فلزی بین شکافها، یک آنتن آرایه خطی براساس توزیع چپ‌شف طراحی و شبیه‌سازی گردیده است. آنتن طراحی شده دارای ۱۰۳ شکاف مورب در دیواره باریک موجبر مستطیلی در باند L، با گین dB ۲۴، پهنای بیم برابر ۱/۳ درجه و سطح گلبرگ کناری کمتر از ۲۳ دسی بل، و سطح پلاریزاسیون متقاطع کمتر از ۲۵ دسی بل با استفاده از توزیع چپ‌شف، تحقق یافته است.

## ۷- مراجع

- [6] J. W. M Ngwar, "Phase Coded Linear Frequency Modulated Waveform for Low Cost Marine Radar System," IEEE Washington DC, p. pp.1044–1049, 2010.
- [7] D. Lynch, Introduction to RF Stealth, Releigh: SciTech Publishing, 2004.
- [8] H. R. M Kronauge, "New chirp sequence radar waveform," IEEE Trans, p. 2870–2877, 2014.
- [9] F. I. JA Lemieux, "Analysis of FSK/PSK Modulated Radar Signals Using Costas Arrays and Complementary Welte Code," IEEE, p. pp. 589–594, 1990.
- [10] L.-L. W. X.-H. R. Q. H. Z. L. a. W.-L. J. Peng Xiong1, "A Novel Recognition Method For Hybrid Modulation Radar Signals," College of Electronic Science and Engineering, Vols. Changsha, Hunan, P.R. China, pp. 2-3, 2010.
- [11] A.-a.-. E.-E.-. N.-. A-K, "Procedure for automatic recognition of analogue and digital modulations," IEE Proceedings – Communications, vol. 143 (5), p. 259–266, 1996.
- [12] L. L. Fabrizi. P.M, " Receiver Recognition of Analogue Modulation Types," Proceedings of the IERE Conference on Radio Receiver and Associated Systems.IERE, pp. 135-140, 1986.
- [13] G. Chan.Y.T, "Identification of the modulation type of a signal," Signal Processing, vol. 1 (4), p. 838–841, 1989.
- [14] T. Hastie, R. Tibshirani and J. Friedman, "The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction, Second Edition.," Springer Series in Statistics (2 ed.), 2009.
- [15] R. L. M. Oded, "Data Mining With Decision Trees: Theory and Applications," World Scientific Publishing Co., Inc., 2014.
- [16] H. a. N. A. Guo, "Breast cancer diagnosis using genetic programming generated features," Pattern Recognition, pp. 980-987, 2006.
- [17] H. Z. Q. a. N. A. Guo, "Feature Generation Using Genetic Programming Based on Fisher Criterion," European Signal Processing Conference, p. 1867–1871, 3 September 2007.
- [18] P. V. S. a. H. F. Espejo, "A survey on the application of genetic programming to classification," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, p. 121–144, 2010.
- [19] H. a. D. M. Mustafa, "Digital Modulation Recognition Using Support Vector," IEEE . Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, p. 2238–2242, 2004.
- [20] K. a. G. S. Polat, "Breast cancer diagnosis using least square support vector machine," Digital Signal Processing, pp. 694-701, 2007.
- [21] M. Akay, "Support vector machines combined with feature selection for breast cancer diagnosis," Expert Systems with Applications, p. 3240–3247, 2009.
- [22] S. Theodoridis, Pattern Recognition.4th edn, Boston: Academic Press, 2008.
- [23] Z. Q. J. Z. B. T. Pei Wang, "Autonomous radar pulse modulation classification using modulation components analysis," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 98, 2016.

- [1] P. Pace, Detecting and Classifying Low Probability of Intercept Radar, Norwood: Artech House, 2009.
- [2] S. Haykin, "Cognitive radar: a way of the future," IEEE Signal Process, no. 23(1), pp. 30-40, 2006.
- [3] Y. L. A. S. D. M. D. C. M. R. SP Sira, "Waveform-agile sensing for tracking," IEEE Signal Process. Mag, vol. 26(1), p. 53–64, 2009.
- [4] Q. H. Z. H. S Wang, "LFM-based waveform design for cognitive MIMO radar with constrained bandwidth," EURASIP J. Adv. Signal Process, no. 89 (2014), 2014.
- [5] J. T. R. S. W Huleihel, "Optimal adaptive waveform," IEEE Trans. Signal Process, vol. 61(20), p. 5075–5089, 2013.