# طراحی آنتن میکرواستریپ با شکاف U شکل و تغذیه تزویج مجاورتی جهت کاربرد در آنتن رادار روزنه مصنوعی

مرضيه نصيريان فاكرحسين فيروزه محسن مداح على فلامرضا عسكرى

 ۱- دانشآموخته کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی اصفهان - اصفهان - ایران <u>m.nasirian@ec.iut.ac.ir</u>
۲- استادیار - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی اصفهان - اصفهان - ایران <u>zhfirouzeh@cc.iut.ac.ir</u>
۳- استادیار - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی اصفهان - ایران ۳- استادیار - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی اصفهان - ایران ۳- استادیار - دانشکده مهندسی برق و تامپیوتر - دانشگاه صنعتی اصفهان - ایران ۳- استادیار - دانشکده مهندسی برق و تامپیوتر - دانشگاه صنعتی اصفهان - ایران ۳- مربی - پژوهشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات - دانشگاه صنعتی اصفهان - اصفهان - ایران askarigh@cc.iut.ac.ir

چکیده: این مقاله ابتدا به استخراج مشخصات لازم برای آنتن راداری روزنه مصنوعی با مشخصات سیستمی معلوم پرداخته و با توجه به نیاز به بهره زیاد و پهنای باند امپدانسی وسیع، طراحی آرایهای از المانهای میکرواستریپ از نوع پچ با شکاف U شکل و تغذیه تزویج مجاورتی را مد نظر قرار داده است. ابتدا توسط یک بررسی پارامتری برای چنین المانی، پارامترهای اصلی در طراحی استخراج گردیده و سپس المانی با پهنای باند بیش از ۱۶ درصد طراحی شده و نتایج شبیه سازی با اندازهگیری مقایسه شده است. در انتها طراحی اولیهای برای ابعاد و توزیع دامنه جریان کل آرایهای صفحهای از این المان مطرح میشود تا به صورت تئوری دستیابی به مشخصات مطلوب برای کل آنتن فراهم گردد.

کلمات کلیدی: آنتن میکرواستریپ، باند وسیع، شکاف  $\mathrm U$  شکل، تغذیه تزویج مجاورتی، رادار روزنه مصنوعی

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۳/۹/۱۰ تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۴/۷/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۸/۱۹ نام نویسندهی مسئول: مرضیه نصیریان نشانی نویسندهی مسئول: ایران – اصفهان – دانشگاه صنعتی اصفهان – دانشکدهی برق و کامپیوتر

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.2 Summer 201

#### ۱- مقدمه

امروزه رادارهای روزنه مصنوعی SAR از مرسومترین ابزارهای تصویربرداری از طریق سکوهای متحرک هوایی هستند که به-واسطه تکنیک پردازشی خاص، معادل یک آنتن بسیار بزرگ را بهطور مصنوعی سنتز کرده و تصویربرداری با قدرت تفکیک بالا را میسر مینمایند [۱]. مانند هر رادار دیگری، در SAR نیز، آنتن آن وظیفهی ارسال و دریافت سیگنال را به عهده دارد. انواع مختلفی از آنتنها از جمله آنتنهای رفلکتوری، هورن، موجبر شکافدار، میکرواستریپ و غیره در SAR به کار می روند؛ اما در-هرحال مشخصات لازم برای این آنتن، باید از پارامترهای مربوط به تصویربرداری SAR استخراج شود. در بخـش بعـد مشخصات مورد نیاز آنتن رادار روزنه مصنوعی که مشخصات مربوط به تصویربرداری آن معلوم است، به طور تقریبی محاسبه می گردد. سپس در بخشهای بعدی، آنتن از نوع آرایه میکرواستریپی برای حصول مشخصات فوق انتخاب می شود و ابتدا به طراحی یک المان تكى و سپس طراحى اوليه براى كل آرايـه مـى پـردازيم. همچنین در فرآیند طراحی تک المان آنتن، با مطالعهی پارامتری، چگونگی وابستگی رفتار فرکانسی آنتن میکرواستریپ با شکاف U شکل و تغذیبه ترویج مجاورتی را نسبت به پارامترهای مختلف ابعاد ساختار، مورد بررسی قرار داده و با توجه به نتایج شبیهسازی روندی کلی برای طراحی چنین آنتنی پیشنهاد می کنیم.

## ۲- اســــتخراج تقریبـــی پارامترهــای آنـــتن از مشخصات سیستمی SAR

آنتن مورد نظر در این مقاله، برای راداری در مود تصویربرداری نواری و برای نصب روی یک هواپیمای بدون سرنشین پیشبینی شده است که در ارتفاع (h) تقریبی ۳/۵ کیلومتر پرواز می کند. در شکل ۱ پهنای نوار رصد شونده توسط رادار بر روی زمین ( $(\mathbf{y}_g)$ ) تقریبا ۸۰۰ متر و در شکل ۲، زاویهی پویش<sup>۲</sup> ( $(\mathbf{y}_g)$ ) حدود ۴۵ درجه است. در اینصورت فاصلهی مرکز این نوار تا رادار ( $(\mathbf{r}_m)$ )، حدود ۵ کیلومتر خواهد بود. همچنین قدرت تفکیک مطلوب در هر دو جهت سمت<sup>۳</sup> و ارتفاع<sup>4</sup> ( $\delta_{\mathrm{el}}$  و ا $\delta_{\mathrm{az}}$ )، برابر با ۵/۰ متر است. در ادامه به استخراج پارامترهای طراحی آنتن، با توجه به دادههای مذکور پرداخته می شود.



شکل(۱): هندسه مسیر تصویربرداری و زوایای پرتو نیم توان آنتن



شکل(۲): هندسه کوچکترین قطعه قابل تفکیک

#### ۱-۲- فرکانس کار آنتن

انتشار و بازتاب امواج الکترومغناطیسی در اتمسفر، به شدت به فرکانس آنها بستگی دارد. اگرچه ضریب انتقال اتمسفر برای باندهای فرکانسی X، C و L بیشترین مقدار بوده و این فرکانس-ها در رادارهای هوابرد بسیار معمول اند [۲]، اما اهداف ساخت بشر، در باند فرکانسی Ku، دارای سطح مقطع راداری بالا بوده و قابلیت تفکیک خوبی دارند. همچنین، با توجه به محدودیت ابعاد فضای قابل اختصاص به آنتن به علت ملاحظات آئرودینامیکی، هر چه فرکانس کار بالاتر باشد، به علت کوچک شدن آنتن، بهره<sup>ه</sup> قابل حصول از آنتنی با این ابعاد، بیشتر می شود. همچنین برای هرمحدوده ی فاصله و ارتفاع معلوم و برای هر شرایط جوی خاص، منحنیهایی برای نسبت سیگنال به نویز<sup>۶</sup> بر حسب فرکانس وجود دارد، که باند فرکانسی بهینه برای دستیابی به فرکانس وجود دارد، که باند فرکانسی بهینه برای دستیابی به ایشترین SNR را به ما می دهد[۳]. طبق این نمودارها، می توان دید که در محدوده ی مورد نظر در این مقاله، باند فرکانسی توان دید که در محدوده ی مورد نظر در این مقاله، باند فرکانسی Ku

#### ۲-۲- پهنای پر تو آنتن در سمت و ار تفاع

برای رادار SAR در مود تصویربرداری نواری، با فرض اینکه پرتـو آنتن در جهت سمت، بهخوبی ( و یکنواخت) تمام قطعـهی مـورد نظر را روشن کند، یک رابطهی کلی برای پهنای پرتـو نـیم تـوان آنتن در جهت سمت ( $heta_{az}$ )، بهصورت زیر است [۳]:

$$\theta_{az} = \frac{\lambda_0}{2\delta_{az}} \tag{1}$$

اما در عمل به دلیل شکل پترن آنتن و افت ۳ دسیبلی در دو لبه ی قطعه ای که در پهنای پرتو نیم توان آنتن قرار می گیرد، در رفت و برگشت در مجموع یک افت به میزان ۶ دسیبل خواهیم داشت. بنابراین باید درعمل  $θ_{az}$  از آنچه در رابطهی فوق بیان شده است، بیشتر انتخاب شود [۴]. در مسئلهی موردنظر، رابطهی (۱)،  $g_{az}$  را حدود ۱ درجه بدست میدهد. اما با استدلال فوق و همچنین برای ملاحظات مربوط به جبران خطاهای حرکتی، این زاویه ۲/۶ درجه هدف گذاری می شود. (۵]:

$$SW \cong \frac{\theta_{e1}R_m}{\sin\psi_g} \tag{(7)}$$

در اینصـورت θ<sub>el</sub> ، حـدود ۶/۵ درجـه بدسـت مـیآیـد کـه در هدفگذاری مقدار ۷ درجه برای آن در نظر گرفته میشود.

## ۲-۳- پهنای باند فرکانسی

در SAR، با استفاده از تکنیک فشردهسازی پالس، قدرت تفکیک ارتفاع به اینصورت بدست می آید [۶]:  
$$\delta_{e1} = c/2B\cos\psi_g$$
 (۳)

که در آن C، سرعت نور در خلأ و B، پهنای باند مؤثر سیگنال با جاروب فرکانسی<sup>۷</sup> است.

با توجه به مقادیر پارامترها در رابطه (۳)، پهنای باند B، حداقل باید حدود ۴۲۵ مگاهرتز باشد. اما در عمل به علت مزایای استفاده از پهنای باند زیاد، از جمله امکان بکارگیری تکنیکهای مفیدی همچون جهش فرکانسی<sup>۸</sup> یا کاربرد نظارت چندگانه<sup>۹</sup> برای SAR و همچنین امکان توسعهی سیستم در آینده، پهنای باند مطلوب بیش از ۱۰ درصد (بیش از GHz Thr CH در فرکانس مرکزی 16.7 GHz) در نظر گرفته می شود.

## ۲-۴- بیشترین سطح گلبرگ های کناری پترن (SLL)

بهطور کلی و در یک تقریب اجمالی، اگر برای تغییرات <sup>۲۰</sup> RCS هدف، A دسیبل و برای انواع نویزهای موثر در مسیر سیگنال، B دسیبل منظور شود و بخواهیم سیگنال دریافتی از هدف، نسبت به سیگنال دریافتی از کلاتر های اطراف، حداقل C دسیبل قویتر باشد، لازم است که ( با توجه به تاثیر SLL به صورت دوبرابر،

هم در سیگنال ارسالی از آنتن و هم در دریافت سیگنال بازتابی از هدف)، SLL حداکثر A(H+C)/2 - دسیبل باشد. در این طراحی A ، A و C هر کدام حدود ۱۰ دسیبل بوده و بنابراین SLL باید حداکثر ۱۵- دسیبل باشد تا در مجموع سیگنالهای مزاحم را ۳۰ دسیبل تضعیف کرده و تشخیص سیگنال هدف را با مشکل مواجه نکند.

### ۵-۲- نوع آنتن

نیاز به حجم و وزن کم (در کاربرد نصب روی UAV)، ما را به انتخاب آنتن میکرواستریپ در طراحی، هدایت میکند. اما از آنجایی که میکرواستریپها ذاتا پهنای باند باریکی دارند، از تکنیکهایی برای افزایش پهنای باند باید سود جست. همچنین، با توجه به بهره زیاد موردنظر برای آنتن ( ۳۰dB)، بایستی از آنتنهای آرایهای میکرواستریپ با ابعاد بزرگ استفاده شود.

## ۳- طراحی المان آنتن

گام اول، طراحی یک المان با پهنای باند وسیع است. بهطور کلی دو رویکرد عمده برای افزایش پهنای باند امپدانسی در یک سیستم وجود دارد: یکی افزایش تطبیق امپدانسی در بازه فرکانسی مورد نظر با استفاده از تکنیک های مختلف و دیگری استفاده از چند رزوناتور با فرکانس های نزدیک به هم، که اصطلاحا عناصر پارازیتی ۱۰ نام دارند [۷]؛ استفاده از یک شکاف رزونانسی در پچ، مثالی از رویکرد دوم است (اگرچه از شکاف روی پچ بمنظور تشعشع در چند باند فرکانسی نیز استفاده می-شود [۸] اما با نزدیک کردن این باندها به یکدیگر می توان به مشخصهای پهنباند دست یافت). همچنین علاوه بر بکارگیری ساختارهایی همچون tapered slot [۹] و غیره، پارامترهای ساختاری و روشهای مختلف تغذیه نیز می توانند برای افزایش پهنای باند آنتن به کار روند، که از آن جمله میتوان به تغذیه تزویج مجاورتی و یا تغذیه تزویج روزنهای اشاره نمود. هوین<sup>۱۲</sup> و لی $^{1^{n}}$  در سال ۱۹۹۵، اولین بار از یک شکاف U شکل در پچی با تغذیه کواکسیال، به منظور افزایش پهنای باند استفاده کردند [۱۰]. سه سال بعد این روش به همراه تغذیه تزویج مجاورتی به-کار گرفته شد، که در آن از استاب  $\Pi$  شکل در خط تغذیه بـرای تزويج بيشتر و نيز تنظيم تطبيق امپدانس استفاده شده بود [۱۱]. سپس در کارهای مشابه بهمنظور جاسازی کامل استاب-های خط تغذیه در زیر پچ و ایجاد درجات آزادی بیشتردر ایجاد تطبیق امیدانسی، یک یا چند شاخه دیگر به استاب  $\Pi$  شکل

ournal of Iranian Association

Electronics Engineers Vol13 No.2

در الالفاق فر تعسی ۲ و منع بوت ۲۰۱، و ۲۰۰، و ۲۰۰۰. در [16]، بررسی های دقیقی بر روی چگونگی تأثیر پارامترهای مختلف ساختار، بر مشخصه فرکانسی آنتنی تک لایه با شکاف U شکل در پچ و با تغذیه کواکسیال انجام شده است، اما با تغییر نوع تغذیه به تزویج مجاورتی، تعداد زیادی پارامتر جدید به مسئله وارد می شود که به علت تزویج های متعدد بین استاب-های تغذیه و شکاف U شکل، تحلیل دقیق رفتار رزونانسی را عملا غیرممکن می سازد؛ اما در عین حال با بررسی های پارامتری می توان پارامترهای تأثیر گذارتر در مشخصه فرکانسی آنتنی با می توان پارامترهای تأثیر گذارتر در مشخصه فرکانسی آنتنی با می توان پارامترهای تأثیر گذارتر در مشخصه فرکانسی آنتنی با می توان پارامترهای تأثیر گذارتر در مشخصه فرکانسی آنتنی با می توان پارامترهای تأثیر گذارتر در مشخصه فرکانسی آنتنی با می توان پارامترهای تأثیر گذارتر در مشخصه فرکانسی آنتنی با می توان پارامترهای تأثیر گذارتر در مشخصه فرکانسی آنتنی با می توان پارامترهای تأثیر گذارتر در مشخصه فرکانسی آنتنی با می توان پارامترهای تأثیر گذارتر در مشخصه فرکانسی آنتنی با

### ۱-۳- ساختار آنتن

ournal of Iranian Association of Electrical and Electronics Eng

همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، ساختار آنتن میکرواستریپ موردنظر با تغذیه تزویج مجاورتی، بصورت دو لایه بوده و شامل دو زیرلایه از جنس 5880 Duroid با ضخامتهای 31mil و 20mil است. پچ شامل شکاف U شکل، روی زیرلایه بالایی و خط تغذیهی شامل استابها، روی زیرلایه پایینی قرار می گیرد. همچنین لایه ی زیرین زیرلایه پایینی، به عنوان زمین ساختار در نظر گرفته می شود. نمای آنتن از بالا به همراه پارامترهای تعیین کننده ابعاد، در شکل ۴ مشاهده می شود.





شکل(۴): نمای آنتن از بالا بههمراه پارامترهای متناظر با ابعاد شکل

جدول (۱): مقادیر نامی پارامترها						
Name	Value	Unit				
w1	0.45	mm				
w2	0.45	mm				
Ls1	4.11	mm				
Ls2	3.52	mm				
L2	3.33	mm				
d2	2.04	mm				
x1	0.36	mm				
x2	0.36	mm				
х3	0.61	mm				
x4	1	mm				
h1	20	mil				
В	5.3	mm				
A	5.92	mm				
h2	31	mil				
<b>x</b> 5	0.36	mm				
Н	0.82	mm				

#### ۲-۳- بررسی پارامتری

ابعاد اولیهی ارائه شده در جدول ۱، از روند طراحی که در ادامه توضیح داده خواهد شد، بهدست آمدهاند. در بررسی پارامتری، هر بار مقدار یکی از متغیرها حول مقدار نامی تغییر داده شده و بقیه، مطابق با مقادیر اولیه در نظر گرفته می شوند و بهاین تر تیب تأثیر پارامترهای مختلف بصورت جداگانه، در مشخصه فرکانسی آنتن بهدست میآید. بهطور کلی، با توجه به وجود دو رزوناتور پچ و شکاف U شکل، مشخصهی فرکانسی آنتن شامل دو رزونانس نزدیک بههم میباشد. شکل ۵ برای نمونه، نمودارهای مربوط به بررسی پارامتری را برای چهار پارامتر مهم نشان می دهد. شبیه سازی ها توسط نرم افزار تجاری HFSS انجام شدهاند. نتایج بررسی همهی پارامترها، بطور خلاصه در جدول گردآوری شده است؛ f<sub>1</sub> و f<sub>2</sub> بهترتیب فرکانس اولین و دومین رزونانس در نمودار S11 بوده و f<sub>c</sub>، فرکانس مرکزی در باند عبور 10dB-است. عبارت تلفات بازگشتی "Return loss level" نیز، بیانگر سطح تطبیق امپدانسی در باند عبور می باشد. در این بررسی مقدار همه پارامترها، بهنسبت یکسان، حول مقدار نامی تغییر داده شده و تأثير افزايش هر پارامتر بر كاهش (-)، افزايش (+)، يا عدم تغییر (0) مشخصهی موردنظر، در این جدول بیان شده است. "++" و "--"، نشان دهنده افزایش و کاهش زیاد مشخصه-ی مربوطه بوده و "(+)0" و "(-)0" بیانگر افزایش و کاهش، به میزان کم هستند. با بررسی داده های بدست آمده در جدول، چهار پارامتر اصلی، شناسایی می شوند که عبارتند از: طول پچ (B)، پهنای پچ (A)، طول استاب های عمودی رو به پایین تغذیه (L2) و طول بازوهای عمودی شکاف U شکل (Ls2)؛ که در این

میان طول پچ (B)، در تعیین کل رفتار آنتن، از همهی پارامترها تأثیرگذارتر است.

سایر پارامترهای مهم عبارتند از: فاصله افقی بین دو استاب رو به پایین تغذیه (d2)، میزان فاصله شکاف U شکل از لبـه پـچ (H)، طول شکاف افقیU (Ls1) و همچنین پهنای قسمت هـایی از خطوط تغذیه (x2, x4 و x5).

دیگر پارامترها مانند پهنای شکاف ها و استاب هـای افقـی و روبهبالای تغذیه، در تعیین رفتـار امپدانسـی آنـتن، تقریبـا بـی-تأثیرند.





شکل (۵): تأثیر پارامترهای مهم بر رفتار رزونانسی المان میکرواستریپ: الف) طول پچ (B). ب) پهنای پچ (A). ج) طول بازوهای عمودی شکاف U شکل (Ls2) و د) طول استابهای روبه-یایین تغذیه (L2).

جدول (۲): چگونگی وابستگی پاسخ فرکانسی به تغییر پارامترها

Parameter	$f_1$	$f_2$	f <sub>c</sub>	$f_2 - f_1$	Return loss level
A+	-		-	-	-
B+				++	++
d2+	+	+	+	0	0(+)
H+	0	0(+)	+	0(+)	0(+)
L2+	+		+		++
Ls1+	+	0(+)	0	-	0
Ls2+	0(-)		-		-
w1+	0	0	0	0	0
w2+	0	0	0	0	0(+)
x1+	0(-)	0(-)	0	0	0(+)
x2+	0	+	0	+	+
x3+	0(-)	0	0	0(+)	0(+)
x4+	+	0(-)	0	-	-
x5+	-	0	0	+	+

برخی دیگر از نتایج بدست آمده از این جدول، به این شرح است:

اولین فرکانس رزونانس (f<sub>1</sub>)، بیش از همـه، تـابع طـول پـچ است و می توان گفت بهطـور غالـب از رزونـانس پـچ تـأثیر مـی پذیرد.

فرکانس رزونانس دوم (f<sub>2</sub>)، بهشدت تحت تأثیر ابعاد پچ، L2 و L22 بوده و d2 و x2 نیز در تعیین این فرکانس موثرند. این فرکانس را می توان بیشتر متأثر از رزونانس شکاف U شکل دانست، زیرا پارامتر Ls2، مستقیما به طول بازوی شکاف مربوط است و L2 ، 22 و x2 نیز که بهترتیب طول استابهای روبه-پایین تغذیه، محل قرارگیری و پهنای این استابها هستند، مبین چگونگی جای گیری تغذیه در زیر شکاف بوده و با تنظیم

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.2 Summer 2016

میزان کوپلینگ میان تغذیه و شکاف، عملا طـول مـوثر شـکاف و در نتیجه فرکانس رزونانس ناشی از شکاف را تعیین می کنند.

تأثیرپذیری زیاد تلفات بازگشتی از طول پچ و L2، موید وابستگی شدید سطح تطبیق امپدانسی به طول استابهای تغذیه است؛ زیرا L2، مستقیما به طول استابهای روبهپایین تغذیه مربوط بوده و تفاضل B-L2 نیز تعیین کننده ی طول استاب بالایی می باشد.

با استفاده از این نتایج، روند کلی طراحی چنین آنتنی به صورت زیر پیشنهاد می گردد:

ابتدا با توجه به فركانس مركزي و با استفاده از قواعد ابتدايي طراحي آنتن يچ و احتمالا با درنظر گرفتن محدوديت ابعاد المان در آرایهسازی، ابعاد پچ تعیین شده و برای سایر پارامترها، مقادیر اولیه، با لحاظ کردن حداقل دقت ساخت انتخاب شوند. با این ابعاد اولیه، یک پاسخ ابتدایی برای مشخصهی آنتن بدست می آید؛ سپس پارامترهای اصلی، طبق دادههای جدول ۲، در جهت مناسب برای بهبود مشخصههای پاسخ، تغییر داده شوند. از آنجا-که طول پچ (B)، کلیهی مشخصات آنتن را به شدت تحت تأثیر قرار میدهد، ترجیحا در این مرحله، هر بار یکی از پارامترهای A، L2 و Ls2 تغییر داده شوند (و B ثابت بماند)؛ این مرحله در صورت لزوم، تا رسيدن به يک جواب نسبتا قابل قبول تكرار شود. در گام بعدی با تغییر پارامترهای تأثیر گذار دیگر (مانند ، d2, H) Lsl) می توان پاسخ را بهبود داد؛ اولویت آن است که برای بهبود یک مشخصه، از پارامتری استفاده شود که تأثیر آن بر سایر مشخصههای پاسخ، بسیار کم ( 0 یا  $(\pm)0$  در جدول ) باشد. سرانجام، تنظیم نهایی می تواند با سایر پارامترهای کم تأثیرتر صورت پذیرد.

#### ۳-۳- نتایج شبیه سازی و اندازه گیری

برای تست عملی المان طراحی شدهی آنتن، باید المان به یک کانکتور ۵۰ اهم متصل شود؛ برای جلوگیری از تلفات ناشی از عدم تطبیق امپدانسی، ابتدا آنتن توسط مبدل امپدانسی ربع موج<sup>۱۴</sup>، به خط میکرواستریپ ۵۰ اهم تطبیق داده می شود.

آنتن ساخته شده، بههمراه کانکتور ۵۰ اهم در شکل ۶ مشاهده می شود. در شکل ۷، نتایج اندازه گیری و شبیه سازی S11 برای المان تکی با هم مقایسه شده است. با توجه به بالا بودن فرکانس کار و حساسیت زیاد ابعاد آنتن (مخصوصا خطوط نازک تغذیه) به خطای ساخت و نیز حساسیت بالای نتایج به چگونگی لحیم کاری کانکتور به آنتن، می توان گفت که نتایج اندازه گیری و شبیه سازی تطابق نسبتا خوبی دارند. علاوه بر این

جابجایی فرکانس مرکزی و سطح تطبیق میتواند به علت ایجاد یک شکاف هوا بین دو زیرلایه در اثر جاسازی کانکتور بین دو لایه باشد. پهنای باند بهدستآمده از شبیهسازی، ۲/۲۱ GHz بوده که معادل ۱۶/۱ فرکانس مرکزی ۱۶/۷ GHz میباشد. در اندازه گیری، مقدار این پارامتر، ۲/۴۵ GHz بهدست آمده است. در شکل ۸ توزیع جریان روی آنتن در سه فرکانس مختلف مشاهده می شود.





ساختار این آنتن بصورت سه بعدی در شکل ۹ ارائه شده YZ است. در این شکل، صفحه XZ همان صفحه E و صفحه YZ، صفحه H این آنتن بوده و با درنظر گرفتن دستگاه مختصات کروی، در صفحه A ، مولفه همسوی میدان همان  $\theta$  و مولفه متعامد میدان،  $\varphi$  بوده و در صفحه H بالعکس است. نتایج اندازه گیری و شبیه سازی پترن تشعشعی در دو فرکانس متفاوت، در شکل ۱۰ قابل مشاهده اند. پهنای پرتو نیم توان در صفحات B و H، در فرکانس SH ( 19/۲ GHz) به ترتیب برابر با ۸۸ و صفحات B و ۲۰ در جه بوده و بهرهی نرمالیزه شدهی آنتن، روی محور تقارن، P و کاY مله و مولند در مفحات A در شکل ۱۰ تا P مشاهده اند. پهنای پرتو نیم آن وان در مفحات A در شکل ۱۰ تا P منافره مشاهده اند. پهنای پرتو نیم P وان در مفحات A در مفحات A در مده و مشاهده اند. پهنای پرتو نیم P در مفحات A در مفحات A در مده و محاز مثلیزه شده می آنتن، روی محور مفارن، مفتا A در کا ۲ اندازه گیری شده است.

همان گونه که در نمودارهای پترن مشاهده میشود، وجود کانکتور اضافه شده برای تست، باعث نوعی عدم تقارن در پترن صفحهی E آنتن میشود، که ناشی از این است که بدنه فلزی کانکتور، مانند یک بازتابنده عمل میکند و باعث لوچی پترن و فشردگی آن به سمت مقابل می گردد؛ اثر کانکتور، با توجه به

مجله انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران-سال سیزدهم-شماره دوم- تابستان ۱۳۹۵

بزرگ بودن ابعاد آن نسبت به ساختار، قابل توجه است، اما در آرایه بزرگ، با کوچک شدن ابعاد کانکتور نسبت به ساختار، این مشکل بسیار کمتر خواهدبود و چون در آنجا کانکتور نزدیک به تعداد كمي از المانها ميباشد، اثر آن محدود است.



شکل (۸): توزیع جریان روی آنتن (از بالا به پایین به ترتیب برای فرکانسهای ۱۶، ۱۷ و ۱۸ گیگاهر تز)



شکل (۹): ساختار سه بعدی آنتن ضمن اینکه اگر از کانکتوری با بدنه کوچکتر استفاده شود نتایج بهتری حاصل خواهد شد. همان گونه که مشاهده می شود، در صفحهی H که چنین عاملی وجود نداشته است، پترن تا حد زیادی تقارن خود را حفظ کرده است.



شکل (۱۰): پترن تشعشعی صفحهی E در فرکانس GHz



شکل (۱۱): پترن تشعشعی صفحهی H در فرکانس GHz



شکل (۱۲): پترن تشعشعی صفحهی E در فرکانس HA GHz

## ۴- طرح کلی آنتن آرایهای

بهره مطلوب برای آنتن موردنظر در این مقاله، ۳۰ دسیبل است. برای دستیابی به چنین بهرهای، به آرایه بزرگ نیاز است؛ از طرفي بهعلت پهن بودن پترن يک المان ميکرواستريپ، بهره کل آنتن، عمدتا توسط فاكتور آرایه تعیین می شود و به طور تجربی

نیز در آرایه های بزرگ، تأثیر بهره المان فقط حدود ۲ تا ۳ دسیبل است. از این رو در طرح اولیه، فرض می شود بهره المان، تقریبا جبران کننده تلفات کل (راندمانی که در دایر کتیویتی ضرب می شود تا بهره بدست آید) بوده و اثر آن را در بهره کل آنتن فقط به صورت فوق لحاظ کرده و سعی می شود از فاکتور آرایه، دایر کتیویتی برابر با بهره مطلوب مسئله (۳۰ دسیبل) بدست آید.



شکل (۱۳): پترن تشعشعی صفحهی H در فرکانس GHz از سوی دیگر، اگرچه دستیابی به SLL نهایی به میزان حداکثر ۱۵ - دسیبل، مطلوب است، اما با در نظر گرفتن خطاهای اجتنناب ناپذیر در ساخت و نیز با توجه به این نکته که در آرایههای میکرواستریپ عوامل مزاحمی مانند کوپلینگ عناصر آرایه و نیز تشعشعات ناخواسته از خطوط تغذیه، خصوصا در آرایه های بزرگ، باعث افزایش شدید SLL می شوند، برای یک پاسخ مطمئن تر، در طراحی توزیع مناسب برای جریان المانهای آرایه ، SLL، حداکثر ۲۵ - دسیبل هدف گذاری می گردد.

با توجه به پهلوتاب<sup>۱۵</sup> بودن پترن مطلوب، برای اجتناب از ایجاد گلبرگ توری<sup>۱</sup>، فاصله گذاری عناصر آرایه باید از طول موج در فضای آزاد (λο) کمتر باشد؛ از طرفی کم بودن این فاصله به افزایش کوپلینگ بین المانها منجر میشود. در یک انتخاب معمول، این فاصله حدود λ<sub>0</sub> ۲/۷۵ درنظر گرفته میشود [۱۵].

ectronics

با درنظر گرفتن توزیع تفکیک پذیر برای آرایه صفحهای، به-منظور دستیابی به SLL مطلوب، بایستی از توزیع غیریکنواخت برای دامنه جریان المانها استفاده کرد (بهعلت پهلوتاب بودن پترن، جریان همه المانها باید همفاز باشند). از بین توزیع هایی که به کاهش SLL می انجامند، بهترین گزینه توزیع تیلور است، چراکه بهره آنتن را بخاطر کاهش SLL به میزان نسبتا کمی کاهش می دهد و در عین حال نسبت به توزیع چبیشف،

مخصوصاً وقتی پارامتر **n** بزرگ انتخاب شود، دارای شیب تغییرات نرمتر بوده و از نظر امکان پیادهسازی تغذیه (از نظر حداکثر نسبت تقسیم توان عملی در مقسمهای توان سه پورتی) خوشرفتارتر است [۱۵].

با کدنویسی در نرمافزار متلب<sup>۷۱</sup>، میتوان دیـد کـه با توزیع تیلوری با  $F = \overline{n}$  و BLL=-25dB، بـرای آرایـهای صـفحهای با ابعاد ۳۲×۲۲ و با فاصله گذاری ۸۵ ۷/۲۲ در هر دو راستا، فـاکتور آرایهی حاصل، علاوه بر SLL مناسب، بـه دایرکتیـویتی مطلـوب برای پترن نیز منجـر مـیگـردد. بـا فـرض قرارگیـری المـانی بـا مشخصات المان طراحـی شـده در بخـش قبـل بـهجـای عناصـر ایزوتروپیک در چنین آرایهای، توسط نرمافزار HFSS ، پترن کل آرایه طراحی شده، بدون در نظر گرفتن کوپلینـگ عناصـر و نیـز تلفات شبکه تغذیه، مطـابق بـا شـکل ۱۴ و ۱۵ بدسـت مـیآیـد. SLL در هر دو راستا بهتر از BDS- است و پهنای پرتو نیم توان در صفحات E و H بهترتیب ۶/۲ و ۹۶/۶ درجه و مطابق با مقادیر مطلوب است. همچنین بهره بدست آمده حدود BDS است کـه مطلوب است. همچنین بهره بدست آمده حدود BDS است کـه رمور تیکه این تلفات حدود ۴۰٪ باشـد، بهـره بـه BDS خواهـد مردید.



الكترونيك ايران، سال سوم، شماره دوم، صفحه ١۴ تا ٢٣، پائيز و

زمستان ۱۳۸۵.

- [10] T., Lee, K. F. Huynh, "Single-Layer Single-Patch Wideband Microstrip Antenna," Electronics Letters, 1995, Vol. 31, No. 16, pp. 1310–1312.
- [11] C.L. Mak, K.M. Luk, and K.F. Lee, "Proximitycoupled U-slot patch antenna," Electronics Letters, Apr 1998, Vol. 34, No. 8, pp. 715-716.
- [12] C. Kidder, M. Li, and K. Chang, "Broad-band Uslot patch antenna with a proximity-coupled double /spl Pi/-shaped feed line for arrays," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2002, Vol. 1, No. 1, pp. 2 - 4.
- [13] B. Strassner, "Lightweight, Wideband, Amplitude-Tapered, Linearly-Polarized, Dual-Axis Monopulse, Ku-Band Patch Antenna Array for SAR," Antennas and Propagation Society International Symposium, 2007, pp. 4409 - 4412.
- [14] S. Huff, G. Pan, K. Bernhard, J.T. Weigand, "Analysis and Design of Broad-Band Single-Layer Rectangular U-Slot Microstrip Patch Antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat, 2003, Vol. 51, No. 3, pp. 457–468.
- [15] D. G. Fang, Antenna theory and microstrip antennas, CRC Press Taylor and Francis Group, 2010.

زيرنويسها

- <sup>1</sup> Swath width
- <sup>2</sup> Grazing angle
- <sup>3</sup> Azimuth
- <sup>4</sup> Elevation
- <sup>5</sup> Gain
- <sup>6</sup> SNR
- <sup>7</sup> Chirp
- <sup>8</sup> Frequency Agility
- <sup>9</sup> Multi-Look
- <sup>10</sup> Radar Cross Section
- <sup>11</sup> Parasitic elements
- <sup>12</sup> Huynh
- <sup>13</sup> Lee
- <sup>14</sup> Quarter wave transformer
- <sup>15</sup> Broad side
- <sup>16</sup> Grating lobe
- <sup>17</sup> Matlab

در این مقاله، پس از استخراج مشخصات لازم برای آنتن، یک آنتن آرایه میکرواستریپی برای کاربرد در رادار روزنه مصنوعی در نظر گرفته شد و یک المان میکرواستریپ با شکاف U شکل و تغذیه تزویج مجاورتی، مورد بررسی پارامتری قرار گرفته و رفتار فرکانسی آن بر حسب ابعاد مختلف ساختار بصورت کیفی بدست آمد. نتایج شبیه سازی و اندازه گیری المان طراحی شده، تطبیق نسبتا خوبی را نشان میدهد. همچنین، آرایهای ۲۲×۳۲ از المان طراحی شده، با توزیع غیریکنواخت تیلور پیشنهاد و نتایج طراحی اولیه ارائه گردید؛ که نتایج بدست آمده از آن، با مقادیر مطلوب برای مشخصات آنتن رادار موردنظر، که در ابتدا استخراج شد، تطابق دارند.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند که از پژوهشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات دانشگاه صنعتی اصفهان، بهخاطر حمایت از این پژوهش قدردانی نمایند.

#### مراجع

- K. Tomiyasu, "Tutorial review of Synthetic Aperture Radar (SAR) with applications to imaging of the ocean surface," Proc. IEEE, 1978, Vol. 66, pp. 563–583.
- [2] Berens, P., "Introduction to Synthetic Aperture Radar (SAR), "Research Institute for High-Frequency Physics and Radar Techniques, Wachtberg, 2003.
- [3] A. W. Doerry, "Performance Limits for Synthetic Aperture Radar, " SAR Applications Department Sandia National Laboratories, 2006.
- [4] A. W. Doerry, "Optimal antenna beamwidth for stripmap SAR," Proc. SPIE 8021, Radar Sensor Technology XV, 2011.
- [5] A. Freeman, "The myth of the minimum SAR antenna area constraint," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, Vol. No.38, pp. 320-324.
- [6] F. T. Ulaby, R. K. Moore, and Fung A.K., Microwave Remote Sensing, Artech House, 1986.
- [7] Z. N., Chia, M. Chen, Broadband planar antennas, Wiley, 2006.

[۸] مرادی، نیک مهر، "طراحی و ساخت آنتن مایکرواستریپ سه بانده

و دوپلاریزه برای BTS"، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، جلد دهم، شماره اول، صفحه ۱ تا ۶، بهار و تابستان ۱۳۹۲.

روش ماتریس خط انتقال سه بعدی"، نشریه مهندسی برق و

مجله انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران- سال سیزدهم- شماره دوم- تابستان ۳۹۵ (

DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.2.1.7

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.2 Summer 201