

## آنتن بازتابنده کاسگرین موج میلی‌متری تمرکزدهنده توان در ناحیه میدان نزدیک

مهدی فرتوک‌زاده<sup>۱\*</sup>، سید حسین محسنی ارمکی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری، ۲- استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۳/۱۲، تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۰۳)

**چکیده:** عمده‌ترین کاربرد موج میلی‌متری، تصویربرداری از اشیای فلزی مدفون است. با توجه به منحنی‌های تضعیف سیگنال، فرکانس ۹۴ GHz یکی از انتخاب‌های طیف موج میلی‌متری می‌باشد. در این مقاله، طراحی و شبیه‌سازی آنتن یک سامانه تصویربرداری موج میلی‌متری مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. هدف غایی از سامانه مذکور، استخراج تصویر با دقت تفکیک ۲ cm در ۲ cm در فاصله چهارمتری (میدان نزدیک) است. بدین لحاظ، توان سیگنال در فاصله چهار متری و افسست یک سانتی‌متری از محور آنتن، بایستی به اندازه نصف آن در همین فاصله روی محور آنتن باشد. با توجه به ویژگی مذکور، نیاز به یک آنتن بازتابنده با قطر ۷۰ cm با ساختار کاسگرین است. آنتن تغذیه بازتابنده دارای پهنای پرتو ۱۲ dB به اندازه ۲۴ درجه با مرکز فاز نقطه‌ای است. با توجه به آنکه نقطه تمرکز انرژی در فاصله میدان نزدیک قرار دارد، از بازتابنده‌های فرعی مختلفی جهت استحصال بهترین بازدهی استفاده شده است. همچنین اثر چرخاندن بازتابنده فرعی روی توزیع توان و بازده برای سه زاویه نشان داده شده است.

**واژه‌های کلیدی:** آنتن‌های بازتابنده کاسگرین، آنتن‌های با تمرکز میدان نزدیک، جاروب پرتو

### ۱- مقدمه

در [۱۰] منحنی‌های بازده برای یک بازتابنده بیضوی ساده نشان داده شده است و با توجه به آن‌ها، مقادیر بهینه برای ساختار به‌دست آمده است.

مرجع [۱۱] تمرکز توان در میدان نزدیک وقتی که سیگنال، یک پالس زیر نانوثانیه را مورد بحث قرار داده‌است، آنتن مورد استفاده آن بیضوی است که از یک سری نگهدارنده تیغه‌ای برای آنتن تغذیه استفاده کرده است.

در [۱۲-۱۶] به جای بازتابنده دارای انحنا، از بازتابنده‌های تخت استفاده شده است. در این نوع بازتابنده‌ها اختلاف فاز مورد نیاز با استفاده از ساختارهای میکرواستریپ ایجاد می‌شود. در واقع، می‌توان گفت این بازتابنده‌ها از نظر فیزیکی تخت، ولی از نظر الکتریکی دارای انحنا هستند. البته این روش می‌تواند کاربردهای جدید برای سیستم ایجاد کند. به عنوان مثال، در [۱۲] تاثیر ترکیب‌های مختلف قرار گرفتن عناصر آرایه روی نحوه تمرکز توان بررسی شده است.

البته بحث تمرکز توان در میدان نزدیک، به این محدود نمی‌شود و کاربردهای جدید و جالبی نیز در این زمینه وجود دارد. به عنوان مثال، در [۱۷] کنترل محل تمرکز میدان با تغییر فرکانس با استفاده

به‌طور کلی تمرکز میدان آنتن در نواحی میدان دور یا میدان نزدیک یک آنتن<sup>۱</sup> یک مسئله رایج و مورد توجهی بوده و هست. به‌عنوان مثال، از مقالات ثبت‌شده می‌توان به چهار مورد اشاره کرد [۴-۱] که به ترتیب در آن‌ها ونر، شرم، کی و گراهام راجع به روابط یک آنتن کلی داری تمرکز بیم بحث کرده‌اند. در [۵ و ۶] کیدال و داویس روابط تقریبی برای آنتن بازتابنده ساده با فرض بیم گوسی به‌دست آورده‌اند. همچنین آنها برای حالت‌های مختلف، یک مجموعه بازتابنده سه‌تایی میدان‌ها در فواصل مختلف را نشان داده‌اند. در [۷ و ۸] برای یک آنتن سهموی ساده با جابه‌جا کردن تغذیه از روی کانون<sup>۲</sup> به تمرکز توان در میدان نزدیک دست یافته است.

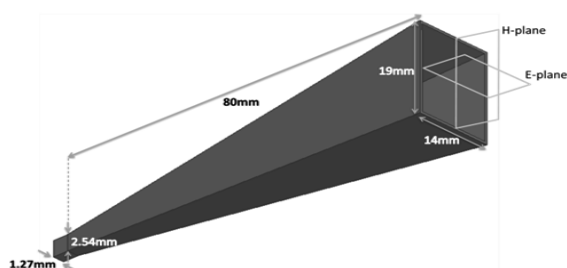
در سال‌های اخیر نیز به آنتن‌هایی که بتوانند میدان‌ها را در نقطه دلخواه متمرکز کنند توجه زیادی شده است. به عنوان مثال، در [۹] ساختارهای مختلفی با بازتابنده‌های متعدد برای همین کاربرد معرفی شده و نمودارهای میدان نزدیک آن ارائه شده است.

\* ایمیل نویسنده پاسخگو: Mahdi.fartookzadeh@gmail.com

1. Near-field or far-field focusing antennas  
2. Defocusing

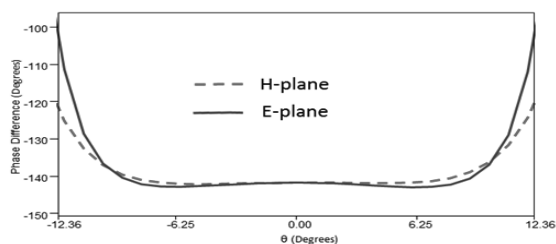
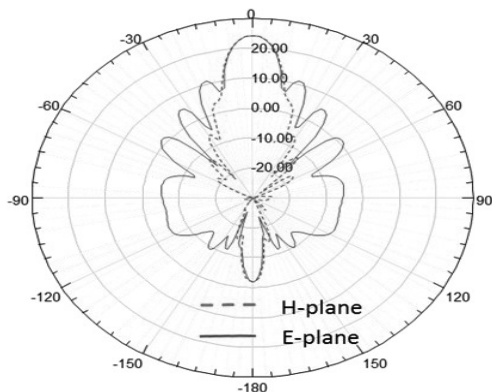
فاز آنتن به یک نقطه نزدیک تر است. اگر این نمودارها با هم اختلاف داشته باشند و فاز ثابتی را نشان ندهند یعنی آنتن طراحی شده دارای یک مرکز فاز نیست و در نتیجه، برای استفاده در بازتابنده‌ها مناسب نیست زیرا نمی توان نقطه‌ای دقیق برای محل آنتن مشخص کرد و آن را روی کانون مد نظر قرار داد و در نتیجه بازده مجموعه کاهش می‌یابد.

آنتن شبیه‌سازی شده در شکل (۱) ارائه شده است. در این شکل، ابعاد آنتن نیز مشخص است. جهت ساخت آنتن، یک قاعده کلی وجود دارد که خطای  $\frac{1}{36}$  طول موج باعث ایجاد ۱۰ درجه خطای فاز می‌شود.



شکل (۱). آنتن شیپوری شبیه‌سازی شده

در شکل (۲) الگوی تشعشی آنتن فوق در صفحات h و e رسم شده است. مشاهده می‌شود الگوی تشعشی آنتن در دو صفحه بر هم منطبق است. در قسمت دوم این شکل، فاز میدان‌ها در دو صفحه آنتن رسم شده که در زوایای نزدیک به بیم اصلی، اختلاف ناچیز است که این، نشانگر منطبق بودن مرکز فاز آنتن در دو صفحه است.



شکل (۲). الگوی تشعشی و فاز میدان آنتن شیپوری شبیه‌سازی شده

از ساختار موجبری معرفی شده است. در این ساختار یک موجبر وجود دارد که به‌جای یکی از دیواره‌های آن، نوعی لنز استفاده شده است که در فرکانس‌های مختلف، تمرکز توان را به نقطه‌ای خاص منتقل می‌کند. چگونگی روند کاهش توان در لنز و تمرکز توان برای یک فرکانس خاص و محل تمرکز توان برای فرکانس‌های مختلف نیز بررسی شده است.

در این مقاله، طراحی آنتن بازتابنده کاس‌گین برای دریافت سیگنال از فاصله چهار متری بررسی می‌شود. هدف غایی آن است که یک تصویر از هدف با رزولوشن ۲ در ۲ سانتی متر استخراج شود. لذا پهنای بیم آنتن باید به نحوی باشد که این رزولوشن را تامین کند. فرکانس کار ۹۴ GHz (طول موج ۳/۲ میلی‌متر) در طیف موج میلی‌متری انتخاب شده است.

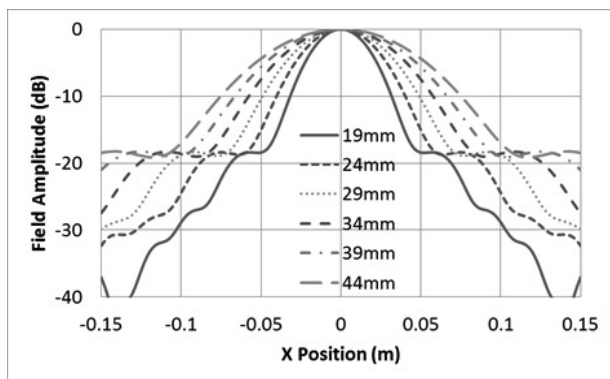
در بخش دوم، مشخصات آنتن تغذیه مورد بحث قرار می‌گیرد. در بخش سوم بعد از توضیحاتی راجع به طراحی این آنتن برای بازتابنده اصلی با قطر ۷۰ سانتی متر به ازای زاویه دید های مختلف برای آنتن تغذیه، نتایج شبیه‌سازی آورده می‌شود. در نهایت، نتایج در یک جدول آورده می‌شود و بهترین زاویه‌ی دید برای آنتن تغذیه معرفی شده به‌دست می‌آید و اثر چرخش بازتابنده فرعی نیز بررسی می‌شود.

با توجه به این که قطر این نوع آنتن بیش از ۲۳۰ برابر طول موج است، با روش‌های مش‌بندی حجمی، تعداد مش‌ها بیش از ۲۰۰ میلیون می‌شود و نمی‌توان آن‌ها را شبیه‌سازی کرد. برای شبیه‌سازی آنتن‌های بازتابنده از روش ممان استفاده شده که مش‌بندی را به صورت سطحی انجام می‌دهد و تعداد صفحه‌ها به حدود ۲ میلیون می‌رسد. البته این تعداد نیز با روش متداول نیاز به پردازشگرهای قوی با حافظه بالا دارد. دقیق‌ترین روشی که برای این کار به نظر می‌رسد ممکن باشد، روش PO در FEKO است که تمامی نتایج به‌دست آمده در این نوشتار برای آنتن بازتابنده، از این روش استفاده کرده است.

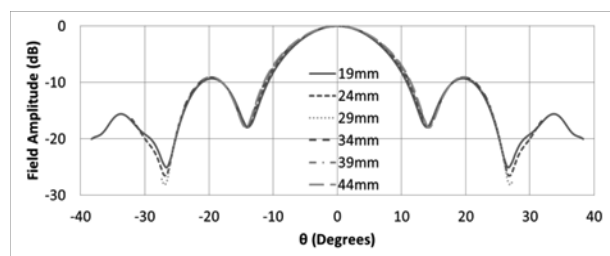
## ۲- طراحی آنتن شیپوری

### ۲-۱- طراحی و شبیه‌سازی در HFSS

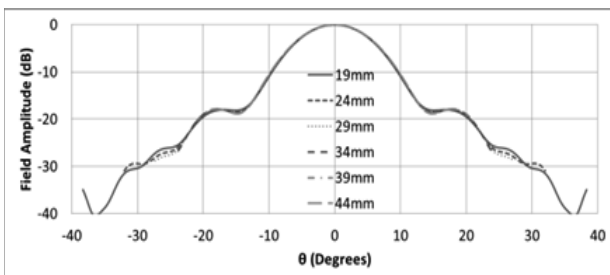
هدف از طراحی آنتن شیپوری، ضمن روشنایی مناسب سطوح بازتابنده، تطابق مرکز فاز صفحات h و e در زوایای مختلف است. جهت طراحی، از بهینه‌سازی در HFSS استفاده شده و فاز میدان‌ها روی صفحه مقابل آنتن در دو صفحه با استفاده از یک نقطه مرجع با هم مقایسه شده است. هرچه این فازها بر هم منطبق‌تر باشند مرکز



شکل (۵). دامنه توان روی صفحات میدان نزدیک در صفحه  $h$  در فواصل مشخص شده از آنتن



شکل (۶). الگوی تشعشعی میدان نزدیک در صفحه  $e$  در فواصل مشخص شده از آنتن



شکل (۷). الگوی تشعشعی میدان نزدیک در صفحه  $h$  در فواصل مشخص شده از آنتن

### ۳- شبیه‌سازی آنتن کاسگرین

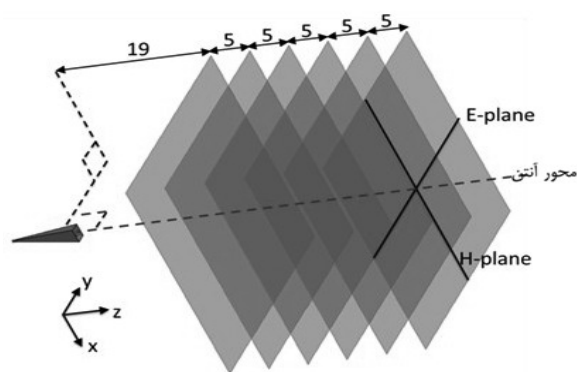
#### ۳-۱- ساختار آنتن کاسگرین میدان نزدیک

با توجه به توضیحات قبلی، ساختار آنتن کاسگرین با تمرکز توان در میدان نزدیک مطابق شکل (۸) قابل تحقق است. در این شکل، هندسه بازتابنده اصلی از منحنی بیضوی و هندسه بازتابنده فرعی از منحنی هذلولوی پیروی می‌کند. خطوط بین کانون‌های بیضوی، خط بیضی، خط هذلولوی و خطوط مجانبی برای هذلولوی، فرضی هستند و برای درک ساختار رسم شده‌اند.

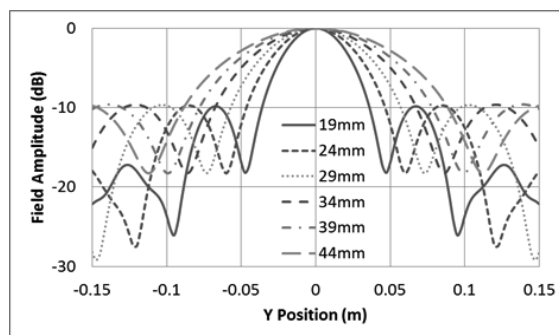
به طور کلی برای آنتن‌های تغذیه، منطبق بودن دامنه‌ها و فازهای میدان در دو صفحه یک مزیت به حساب می‌آید.

#### ۲-۲- شبیه‌سازی به روش ممان

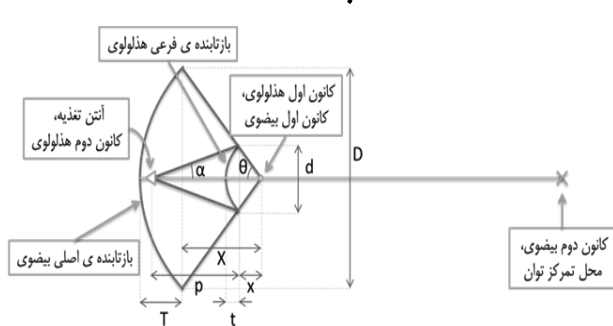
برای این که توزیع توان میدان نزدیک را در فواصلی که بازتابنده فرعی قرار می‌گیرد مشاهده کنیم، باید آنتن با روش ممان شبیه‌سازی شود. شبیه‌سازی با نرم‌افزار FEKO انجام شده که نتایج آن در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد. آنتن شیپوری و صفحات میدان نزدیک آن، در شکل (۳) نشان داده شده است. شکل‌های (۴) و (۵) به ترتیب دامنه توان را روی صفحات میدان نزدیک نشان داده شده در شکل (۳) در صفحات  $e$  و  $h$  در فواصل مشخص شده از آنتن نشان می‌دهد. اگر این فواصل را تبدیل به زاویه کنیم و فواصل متفاوت روی صفحات را جبران کنیم، الگوی تشعشعی میدان نزدیک به دست می‌آید که این الگوها نیز به ترتیب در صفحات  $e$  و  $h$  در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده‌اند. تفاوت چشم‌گیری بین الگوها وجود ندارد؛ تنها چیزی که به وضوح دیده می‌شود، افزایش عمق نول‌ها با افزایش فاصله است. نکته قابل توجه این که پهنای بیم  $dB$   $-12$  آنتن حدوداً  $24$  درجه است که مشابه آنتن موجود است.



شکل (۳). آنتن شیپوری شبیه‌سازی شده در FEKO، صفحات میدان



شکل (۴). دامنه توان روی صفحات میدان نزدیک در صفحه  $e$  در فواصل مشخص شده از آنتن



شکل (۹). پارامترهای آنتن کاسگرین

کانون دوم در همان فاصله ۴ متری نگه داشته شده است.

برای دستیابی به رزولوشن ۲ در ۲ سانتی متر در فاصله یک سانتی متری از محور آنتن و در فاصله کانونی دوم آن، دامنه توان باید ۳ dB کمتر از دامنه روی محور و کانون باشد.

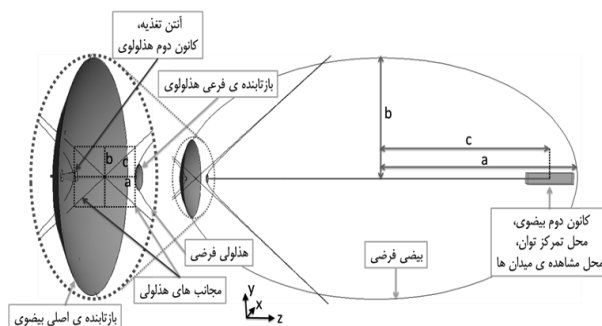
از آنجا که وظیفه آنتن، تمرکز توان در نقطه‌ای خاص در فاصله میدان نزدیک و جاروب بیم توسط چرخش بازتابنده فرعی است، در ابتدا جهت به دست آوردن اندازه بازتابنده اصلی، از روابط میدان دور استفاده می‌گردد. جهت تعیین تقریبی ابعاد بازتابنده می‌توان از رابطه بین بهره و سطح آنتن استفاده کرد. اگر پهنای بیم در دو صفحه را با  $\Theta_1$  و  $\Theta_2$  نشان دهیم و با توجه به رزولوشن مورد نیاز، فرض کنیم هر دو زاویه از  $\tan^{-1}\left(\frac{0.01}{4}\right)$  به دست آید، داریم [۱۸]:

$$G \cong \frac{4\pi}{\Theta_1\Theta_2} \cong \frac{4\pi}{\left[2 \tan^{-1}\left(\frac{0.01}{4}\right)\right]^2} = 502657 = 57\text{dB}$$

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{eap}, \lambda = \frac{0.3}{94} = 0.00319$$

$$\Rightarrow A = \frac{\lambda^2}{4\pi e_{ap}} G = \frac{0.4074}{e_{ap}} \quad (4)$$

که عبارت دوم نیز رابطه مشهور بین بهره و سطح موثر است. به عنوان مثال، اگر بازده ۸۰٪ باشد، سطحی در حدود  $0.5 \text{ m}^2$  به دست می‌آید که مبین قطر آنتن به اندازه  $0.7 \text{ m}$  است. البته همان‌طور که گفته شد، این روابط برای میدان دور است و خواهیم دید با بازده کمتر از این نیز به رزولوشن دلخواه می‌رسیم. به طور کلی یک بازتابنده اصلی بیضوی استفاده شده است که قطر  $70 \text{ cm}$  (D) سانتی متری دارد. فاصله کانون اول آن‌ها تا بازتابنده  $30 \text{ cm}$  در نظر گرفته شده است.



شکل (۸). ساختار آنتن کاسگرین متشکل از بازتابنده اصلی بیضوی و بازتابنده فرعی هذلولوی

با توجه به این که مرکز فاز آنتن طراحی شده در بخش قبل تقریباً روی یک نقطه قرار گرفته است؛ انتظار می‌رود کانون دوم محل تمرکز توان آنتن است نیز برای زوایای مختلف یک نقطه باشد. نکته‌ای که باید به آن توجه کرد این است که بیشینه توان روی محور آنتن، کمی نزدیک تر از کانون دوم به آنتن است؛ زیرا فاصله نقطه تا آنتن نیز در توان دریافتی تاثیر دارد.

با توجه به ساختار حاکم بر هندسه هذلولوی و بیضوی مطابق شکل (۹) می‌توان از این رابطه استفاده کرد:

$$\frac{x}{X} = \frac{d}{D} \quad (1)$$

در رابطه (۱) مشخص شده که نسبت قطر بازتابنده‌ها باید نسبت فاصله دهانه آن‌ها تا کانون مشترک یکسان باشد. در شکل (۹) دو زاویه وجود دارد که این روابط بر آن‌ها حاکم است:

$$\frac{D}{2X} = \frac{d}{2x} = \tan \theta \quad (2)$$

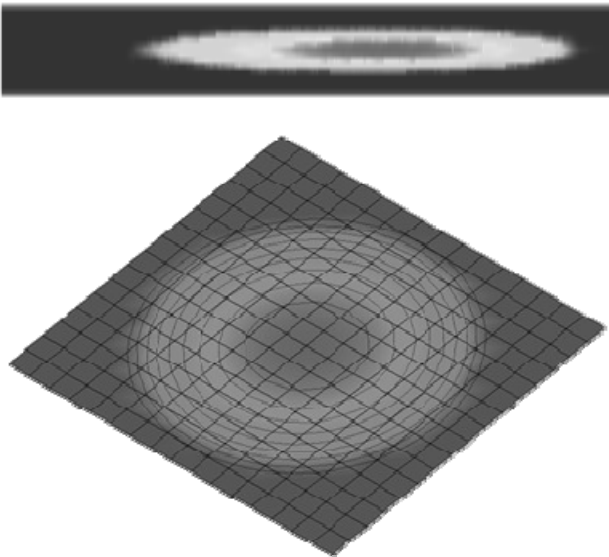
$$\frac{d}{2p} = \tan \alpha \quad (3)$$

در این روابط، تعدادی متغیر وجود دارد که با مشخص شدن بعضی از آنها بقیه به دست می‌آیند. در این بخش، هدف ما پیدا کردن بهترین زاویه دید برای آنتن شیپوری یعنی  $2\alpha$  است. بدین منظور به ازای  $\alpha$ های مختلف باید مجموعه شبیه‌سازی شود و بالاترین بازده انتخاب شود. به علاوه، فاصله کانون اول تا بازتابنده نیز تغییر داده شده تا اثر این تغییر را نیز در نتایج مشاهده کنیم. اما چون این فاصله تاثیر چندانی روی نتایج نداشت به جهت اختصار فقط نتایج به ازای فاصله ۳۰ سانتی متری آورده شده است. در همه حالات،

با استفاده از این رابطه، می‌توان به ازای  $\alpha$  های دلخواه  $x$  را به‌دست آورد و با استفاده از معادله هذلولی [۱۹] پارامترهای هذلولی (a,b,c) به‌دست می‌آید. شکل (۱۰) روند طراحی را به طور کامل نشان می‌دهد.

### ۳-۲- به‌دست آوردن مشخصات آنتن کاسگرین میدان نزدیک

با استفاده از توضیحات داده‌شده و روابطی که در بخش قبل معرفی شد، برای بیضوی ۱ به ازای زوایای دید  $(2\alpha)$  ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶ و ۲۷ درجه ساختار آنتن کاسگرین به‌دست آمده و شبیه‌سازی شده است. با توجه به این که شکل ساختارها مشابه یکدیگر است در اینجا آن را تکرار نمی‌کنیم. فقط توزیع میدان‌ها برای هریک از زوایای دید ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۲، ۲۴ و ۲۶ درجه در اطراف کانون دوم بیضوی آورده می‌شود. توزیع میدان‌ها نیز متقارن هستند و تکرار آن‌ها به طور سه‌بعدی کمکی نمی‌کند، لذا یک نمونه در شکل (۱۱) آورده شده و بقیه در نمودارهای بعد نشان داده شده‌اند. در شکل اول، فاصله از آنتن از راست به چپ بین ۳۵۵ تا ۴۵۵ cm است و در شکل دوم، ابعاد کلی ۲ در ۲ سانتی‌متر است.



شکل (۱۱). توزیع توان در کانون دوم آنتن کاسگرین با بازتابنده اصلی بیضوی ۱ با زاویه دید تغذیه ۲۵ درجه

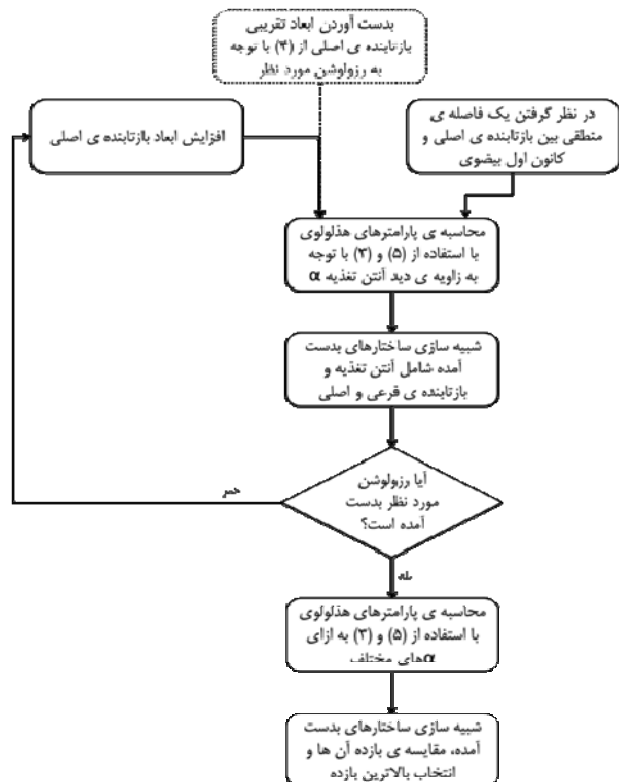
توزیع توان‌های نرمالیزه در شکل (۱۲) برای بیضوی ۱ به ازای زوایای مختلف آورده شده است. نکته‌ای که مشاهده می‌شود این است که هرچه زاویه دید آنتن تغذیه بزرگ‌تر می‌شود حجم ناحیه dB ۳ بیشتر می‌شود. یعنی هم شعاع‌های بیضی‌هایی که در

پس در روابط (۱-۴)  $X, D, \theta$  و  $x+p$  مشخص هستند و به ترتیب برابر ۷۰ cm،  $۱۸/۷۳$  cm،  $۶۲^\circ$  و ۲۹ cm در نظر گرفته شده‌اند، پس برای بیضوی طبق تعاریف داریم [۱۹]:

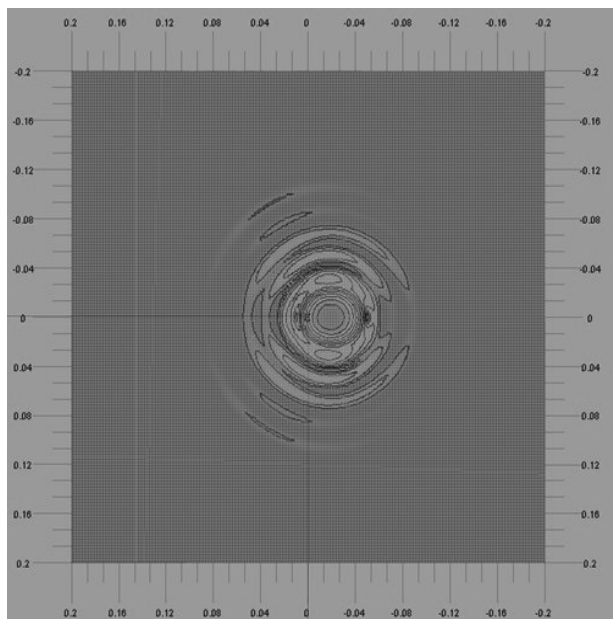
$$\begin{cases} 2a = 430 \text{ cm} \\ 2b = 219 \text{ cm} \\ 2c = 370 \text{ cm} \end{cases}$$

و از معادله بیضی [۲۱]، با توجه به اندازه  $X, D$  به‌دست آمده است. در نتیجه  $x$  از رابطه زیر برای هر حالت با زاویه مورد نظر به‌دست می‌آید:

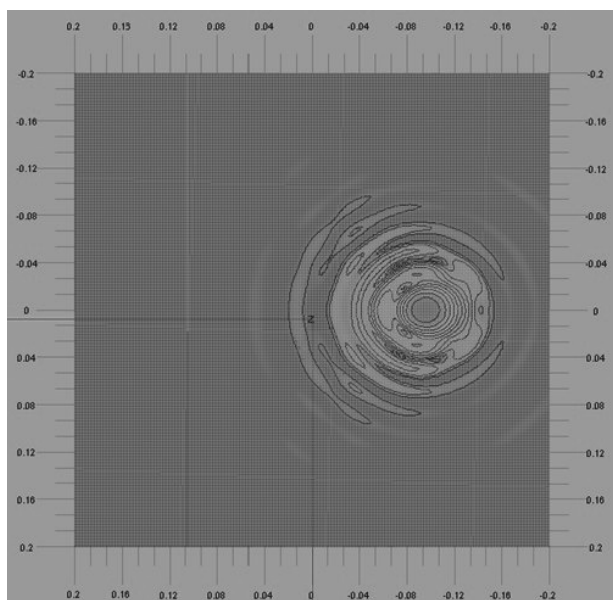
$$\frac{p}{x} = \frac{\tan(\theta)}{\tan(\alpha)} \Rightarrow \frac{x+p}{x} - 1 = \frac{\tan(\theta)}{\tan(\alpha)} \Rightarrow x = \frac{x+p}{\frac{\tan(\theta)}{\tan(\alpha)} + 1} \quad (5)$$



شکل (۱۰). روند طراحی آنتن کاسگرین میدان نزدیک



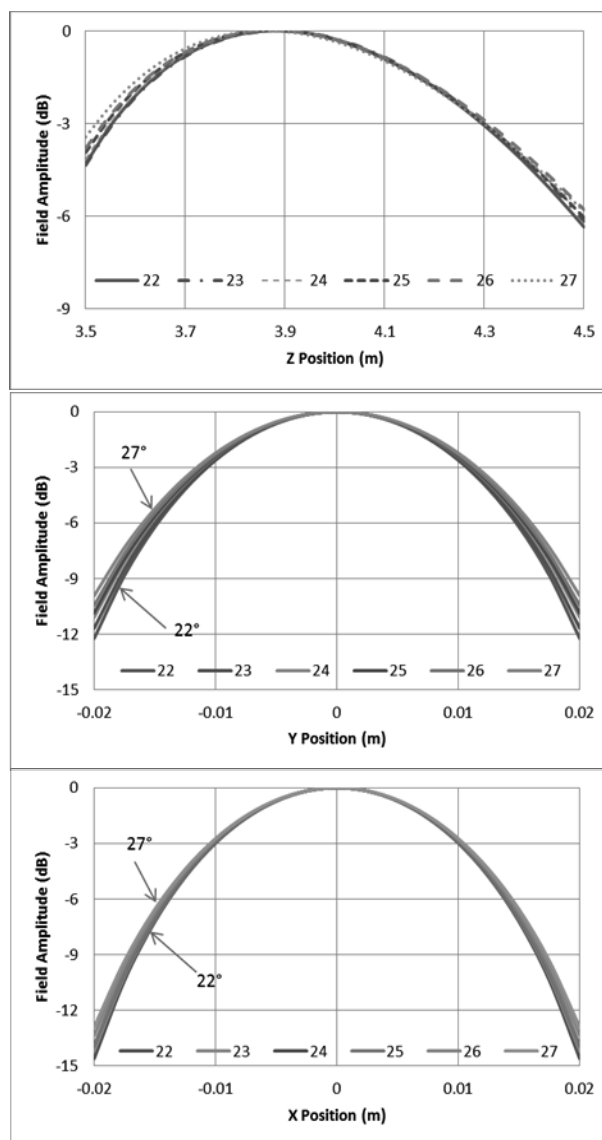
شکل (۱۳). توزیع توان در کانون دوم آنتن کاسگرین با بازتابنده اصلی



شکل (۱۴). توزیع توان در کانون دوم آنتن کاسگرین با بازتابنده اصلی  
بیضوی با زاویه چرخش بازتابنده فرعی ۵ درجه

مشاهده می‌شود با این کار، جهت بیم آنتن چرخیده شده و هرچه چرخش بیشتر می‌شود توان ارسالی کاهش می‌یابد. این مسئله در بخش بعد دیده خواهد شد. میزان انحراف از محور به ازای زوایای

شکل (۱۱) نشان داده شده است و هم طول این ناحیه روی محور آنتن بیشتر می‌شود.



شکل (۱۲). توزیع توان در کانون دوم آنتن کاسگرین با بازتابنده اصلی  
بیضوی با زاویه دیدهای مختلف به ترتیب روی محور تقارن بازتابنده، در  
جهت میدان الکتریکی و در جهت میدان مغناطیسی

### ۳-۳- چرخش بیم آنتن با استفاده از چرخش بازتابنده فرعی

در شکل‌های (۱۳-۱۵) توزیع توان در فاصله،  $3/95$  m از بازتابنده اصلی به ازای چرخش بازتابنده فرعی به ترتیب با زوایای ۱، ۵ و ۱۰ درجه نشان داده شده است.

نشان می‌دهد.

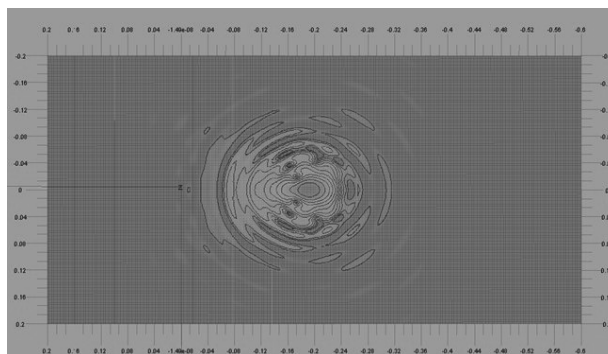
سه ستون بعد، اندازه قطرهای اصلی بیضی ۳ dB و نسبت آن‌ها را نشان می‌دهد. مساحت بیضی ۳ dB در ستون بعد نشان داده شده است که انتگرال چگالی توان روی آن توان مطلوب را مشخص می‌کند که با P مشخص شده است.

در ستون، بعد نسبت این توان به توان ورودی آورده شده است که یک نوع بازده برای آنتن محسوب می‌شود.

البته این بازده برای مقایسه بین آنتن‌های با ابعاد بازتابنده اصلی یکسان معتبر است. در اینجا نیز قطر آنتن ثابت و برابر ۷۰ cm است. پس می‌توان از جدول (۱) نتیجه گرفت که زاویه دید ۲۵ درجه بهترین بازده (با تعریف فوق) را بین زوایای تعریف شده داراست. مشاهده می‌شود بازده با استفاده از این آنتن تغذیه، به بالاتر از ۶۶٪ است.

نتایج مربوط به چرخش بازتابنده‌ی فرعی و فرکانس‌های مختلف نیز در جدول‌های (۲ و ۳) ارائه شده است. در نهایت، ابعاد بازتابنده‌های فرعی در جدول (۴) نشان داده شده است که تعاریف آن‌ها در شکل‌های (۸ و ۹) موجود است.

چرخش ۱، ۵ و ۱۰ درجه به ترتیب ۲، ۹/۵ و ۱۹ سانتی‌متر است.



شکل (۱۵). توزیع توان در کانون دوم آنتن کاسگرین با بازتابنده اصلی بیضوی با زاویه چرخش بازتابنده فرعی ۱۰ درجه

### ۳-۴- جداول نتایج

در جدول (۱) برای بازتابنده اصلی با فاصله کانونی ۳۰ cm، برای زوایای دید مختلف آنتن تغذیه، با فرض دامنه توان ورودی ۰/۶ میلی‌وات مشخصات مهم ارائه شده است. در این جدول از سمت چپ زاویه دید آنتن تغذیه و فاصله نقطه تمرکز توان با بازتابنده نشان داده شده است. دو ستون بعد، میدان‌ها و  $W_{max}$  چگالی توان بیشینه را

جدول (۱). مشخصات آنتن‌های بازتابنده کاسگرین با فاصله کانونی ۳۰ cm

Angle	Focus distance From main reflector (m)	Hmax (A/m)	E <sub>max</sub> (V/m)	W <sub>max</sub> (W/m <sup>2</sup> )	Ψ <sub>dB</sub> x distance (cm)	Ψ <sub>dB</sub> y distance (cm)	Ψ <sub>dB</sub> Ellipse a/b	Ψ <sub>dB</sub> Ellipse Area (m <sup>2</sup> )	P (W)	e
۲۲°	۳/۹۵	۰/۰۸۶۲	۳۲/۴۹۶۶۳	۱/۴۰۰۶۰۵	۲	۲/۱۴	۱/۰۷	۰/۰۰۰۳۳۶	۰/۰۰۰۳۸۱	۰/۶۳۵۵۹۹
۲۳°	۳/۹۵	۰/۰۸۶۳	۳۲/۵۳۴۳۳	۱/۴۰۳۸۵۶	۲/۰۱۶	۲/۱۷	۱/۰۷۶۳۸۹	۰/۰۰۰۳۴۴	۰/۰۰۰۳۹۱	۰/۶۵۱۱۷۲
۲۴°	۳/۹۵	۰/۰۸۶۱	۳۲/۴۵۸۹۶	۱/۳۹۷۳۵۷	۲/۰۳۲	۲/۲	۱/۰۸۲۶۷۷	۰/۰۰۰۳۵۱	۰/۰۰۰۳۹۷	۰/۶۶۲۳۳۵
۲۵°	۳/۹۵	۰/۰۸۵۳	۳۲/۱۵۷۳۴	۱/۳۷۱۵۱۱	۲/۰۴۸	۲/۲۳	۱/۰۸۸۸۶۷	۰/۰۰۰۳۵۹	۰/۰۰۰۳۹۸	۰/۶۶۴۱۳۷
۲۶°	۳/۹۵	۰/۰۸۴۳	۳۱/۷۸۰۳۵	۱/۳۳۹۵۴۲	۲/۰۶۴	۲/۲۶	۱/۰۹۴۹۶۱	۰/۰۰۰۳۶۶	۰/۰۰۰۳۹۸	۰/۶۶۲۵۱۹
۲۷°	۳/۹۵	۰/۰۸۳۴	۳۱/۴۴۱۰۶	۱/۳۱۱۰۹۲	۲/۰۸	۲/۲۹	۱/۱۰۰۹۶۲	۰/۰۰۰۳۷۴	۰/۰۰۰۳۹۷	۰/۶۶۲۱۴۹

جدول (۲). مشخصات آنتن بهینه با فاصله کانونی ۳۰ cm به ازای زوایای مختلف چرخش بازتابنده فرعی

Rotation	Angle	Focus distance From main reflector (m)	Hmax (A/m)	E <sub>max</sub> (V/m)	W <sub>max</sub> (W/m <sup>2</sup> )	distance of focus from axis (m)	distance of focus from reflector center (m)	distance correction factor	corrected W <sub>max</sub> (W/m <sup>2</sup> )	e
۰°	۲۵°	۳/۹۵	۰/۰۸۵۳	۳۲/۱۵۷۳۴	۱/۳۷۱۵۱۱	۰	۳/۹۵	۱	۱/۳۷۱۵۱۱	۰/۶۶۴۱۳۷
۱°	۲۵°	۳/۹۵	۰/۰۸۵	۳۲/۰۴۴۲۵	۱/۳۶۱۸۸	۰/۰۲	۳/۹۵۰۰۵۱	۱/۰۰۰۰۲۶	۱/۳۶۱۹۱۵	۰/۶۵۹۴۹۱
۵°	۲۵°	۳/۹۵	۰/۰۸۰۲	۳۰/۲۳۴۶۹	۱/۳۱۲۴۱۱	۰/۰۹۵	۳/۹۵۱۱۴۲	۱/۰۰۰۵۷۸	۱/۳۱۳۱۱۲	۰/۵۸۷۴۳۵
۱۰°	۲۵°	۳/۹۵	۰/۰۶	۲۲/۶۱۹۴۷	۰/۶۷۸۵۸۴	۰/۱۹	۳/۹۵۴۵۶۷	۱/۰۰۲۳۱۴	۰/۶۸۰۱۵۴	۰/۳۲۹۳۵۶

جدول (۳). مشخصات آنتن بهینه با فاصله کانونی ۳۰ cm در فرکانس‌های مختلف

Freq. (GHz)	Angle	Focus distance From main reflector (m)	Hmax (A/m)	Emax (V/m)	Wmax (W/m <sup>2</sup> )	
۹۲	۲۵°	۳/۹۵	۰/۰۸	۳۰/۱۵۹۲۹	۱/۲۰۶۳۷۲	
۹۴	۲۵°	۳/۹۵	۰/۰۸۵۳	۳۲/۱۵۷۳۴	۱/۳۷۱۵۱۱	
۹۶	۲۵°	۳/۹۵	۰/۰۹	۳۳/۹۲۹۲	۱/۵۲۶۸۱۴	
e	Pin (W)	P (W)	YdB Ellipse Area (m <sup>2</sup> )	YdB Ellipse a/b	YdB y distance (cm)	YdB x distance (cm)
۰/۶۳۴۵۷۹	۰/۰۰۰۵۶۶	۰/۰۰۰۳۵۹	۰/۰۰۰۳۶۸	۱/۰۸۱۷۳۱	۲/۲۵	۲/۰۸
۰/۶۶۴۱۳۷	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۳۹۸	۰/۰۰۰۳۵۹	۱/۰۸۸۸۶۷	۲/۲۳	۲/۰۴۸
۰/۶۸۲۲۴۳	۰/۰۰۰۶۳۴	۰/۰۰۰۴۳۳	۰/۰۰۰۳۵	۱/۰۹۶۷۷۴	۲/۲۱	۲/۰۱۵

- تعریف بازده برای این آنتن‌ها و به‌دست آوردن بالاترین بازده برای این نوع آنتن.
- مشاهده توزیع میدان در ناحیه میدان نزدیک و نشان دادن تاثیر چرخش بازتابنده فرعی روی توزیع میدان و محل تمرکز توان.
- نشان دادن تاثیر چرخش بازتابنده فرعی روی بازده آنتن.

جدول (۴). ابعاد بازتابنده فرعی آنتن‌های بازتابنده کاسگرین جدول (۱)

Angle (Degrees)	d/2 (cm)	t (cm)	a (cm)	b (cm)
۲۲	۵/۱۱	۲/۷۳	۱۰/۵۱	۹/۹۸
۲۳	۵/۳۲	۲/۸۵	۱۰/۳۳	۱۰/۱۷
۲۴	۵/۵۳	۲/۹۶	۱۰/۱۹	۱۰/۳۲
۲۴	۵/۷۵	۳/۰۸	۱۰	۱۰/۵
۲۵	۵/۹۶	۳/۱۹	۹/۸۶	۱۰/۶۳

## ۶- مراجع

- [1] R. S. Wehner, "Limitations of focused aperture antennas," Rand Corp. Santa Monica, Calif., Res. Memo. RM-262, October 1949.
- [2] J. Sherman, "Properties of focused apertures in the fresnel region," IRE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 10, no. 4, pp. 399-408, Jul. 1962.
- [3] A. F. Kay, "Near-field gain of aperture antennas," IRE Trans. Antennas Propag., vol. AP-8, pp. 586-593 1960.
- [4] W. J. Graham, "Analysis and synthesis of axial field patterns of focused apertures," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. AP-31, no. 4, 1983.
- [5] P.-S. Kildal and M. M. Davis, "Characterization of near-field focusing with application to the Arecibo tri-reflector system," IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 1995 Digest, 1995.
- [6] P.-S. Kildal and M. M. Davis, "Characterisation of near-field focusing with application to low altitude beam focusing of the Arecibo tri-reflector system," IEE Proc., Microw. Antennas Propag., vol. 143, no. 4, p. 284, 1996.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله جهت تمرکز انرژی در میدان نزدیک، از یک ساختار آنتن کاسگرین که بازتابنده اصلی آن بیضوی شکل و هندسه بازتابنده فرعی آن، هذلولوی است، استفاده شد. به‌منظور روشنایی بهینه بازتابنده فرعی، یک آنتن شیپوری هرمی با مرکز فاز یکسان در صفحات e و h طراحی و شبیه‌سازی گردید. پهنای بیم ۱۲ dB آنتن تغذیه در حدود ۲۴ درجه است. بازدهی حداکثر ساختار فوق در حدود ۶۶٪ حاصل شده است. این مجموعه که برای دستیابی به دقت تفکیک ۲ cm در فاصله ۴ m طراحی شده است، بازتابنده اصلی با قطر ۷۰ cm دارد. جهت جاروب بیم آنتن، از چرخش بازتابنده فرعی استفاده می‌گردد و نشان داده شده است که هر چه زاویه جاروب بیشتر گردد، بازدهی کاهش می‌یابد. در نتیجه مواردی که انجام شده است عبارتند از:

- طراحی یک آنتن شیپوری با مرکز فاز واحد برای تغذیه آنتن کاسگرین و مشاهده الگوی تشعشعی میدان نزدیک آن.
- یک روند طراحی برای آنتن کاسگرین بازتابنده توان در میدان نزدیک.



- [7] A. Badawi, A. Sebak, and L. Shafai, "Array near field focusing," IEEE WESCANEX 97 Communications, Power and Computing, Conference Proceedings, 1997.
- [8] L. Shafai, A. A. Kishk, and A. Sebak, "Near field focusing of apertures and reflector antennas," IEEE WESCANEX 97 Communications, Power and Computing, Conference Proceedings, 1997.
- [9] N. Liombart, K. B. Cooper, R. J. Dengler, T. Bryllert, and P. H. Siegel, "Confocal ellipsoidal reflector system for a mechanically scanned active terahertz imager Antennas and Propagation," IEEE Transactions on, vol. 58, no. 6, pp. 1834-1841, 2010.
- [10] H.-T. Chou, L.-R. Kuo, H.-H. Chou, K.-L. Hung, and P. Nepa, "Realistic implementation of ellipsoidal reflector antennas to produce near-field focused patterns," Radio Science, vol. 46, no. 5, Sep. 2011.
- [11] S. Xiao, S. Altunc, P. Kumar, C. E. Baum, and K. H. Schoenbach, "A Reflector Antenna for Focusing Subnanosecond Pulses in the Near Field," Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 9, pp. 12-15, 2010.
- [12] A. M. Abdulkhaleq, K. H. Sayidmarie, R. Abd-Alhameed, and E. A. Elkhazmi, "Effects of elements distribution in near focused arrays," 2012 IEEE 17th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), Sep. 2012.
- [13] A. Buffi, P. Nepa, and G. Manara, "Design Criteria for Near-Field-Focused Planar Arrays," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 54, no. 1, pp. 40-50, Feb. 2012.
- [14] H.-T. Chou, N.-N. Wang, H.-H. Chou, and J.-H. Qiu, "Design of Periodic Antenna Arrays With the Excitation Phases Synthesized for Optimum Near-Field Patterns via Steepest Descent Method," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 59, no. 11, pp. 4342-4345, Nov. 2011.
- [15] H.-T. Chou, N.-N. Wang, H.-H. Chou, and J.-H. Qiu, "An Effective Synthesis of Planar Array Antennas for Producing Near-Field Contoured Patterns," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 59, no. 9, pp. 3224-3233, Sep. 2011.
- [16] P. Lemaitre-Auger, S. Romain, C. Christophe, and K. Darine, "Circular antenna arrays for near-field focused or multi-focused beams," In Electromagnetic Theory (EMTS), Proceedings of 2013 URSI International Symposium on, IEEE, pp. 425-428, 2013.
- [17] J. L. Gomez-Tornero, F. Quesada-Pereira, A. Alvarez-Melcon, G. Goussetis, A. R. Weily, and Y. J. Guo, "Frequency Steerable Two Dimensional Focusing Using Rectilinear Leaky-Wave Lenses," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 59, no. 2, pp. 407-415, Feb. 2011.
- [18] C. A. Balanis, "Antenna theory analysis and design," New York (NY), Wiley, 2005.
- [19] M. R. Spiegel, "Mathematical handbook of formulas and tables," Mcgraw-Hill, New York, 1968.

---

**Millimeter Wave Near-field Focusing Cassegrain Reflector Antennas**

**M. Fartookzadeh<sup>\*</sup>, S. H. Mohseni Armaki**

**Department of Electrical and Electronics Engineering, Malek Ashtar University, Tehran, Iran**

**(Receive: 2015/06/02, Accept: 2015/08/25)**

**Abstract**

*The most common application of millimeter wave is the imaging from buried metals. 94 GHz is one of the best choices due to the signal loss curves. In this paper the antenna of a millimeter wave imaging system is studied. The main purpose is to provide an image with  $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$  resolution at 4 m distance (near-field). The power at this distance with 1 cm offset should be half of the power on the antenna axis without offset. Therefore the antenna diameter should be about 70 cm. The feed antenna has the -12dB beamwidth of  $24^\circ$  and its phase center is approximately placed on a single point for both e-plane and h-plane patterns. Different sub-reflectors are used to obtain the best efficiency for the near-field focusing antenna. Finally the effect of rotating the sub-reflector of antenna system is indicated for three angles on the form of field distribution and the efficiency of antenna system.*

**Keyword:** Cassegrain antennas, near-field focusing antennas, scan antennas

---

<sup>\*</sup> Corresponding Author Email: Mahdi.fartookzadeh@gmail.com