

# بهینه‌سازی آنتن کاسگرینی که آنتن تغذیه در پشت منعکس کننده اصلی واقع باشد و بررسی تأثیر ضریب خمش آنتن تغذیه بر روی ویژگیهای آن

علیرضا شریفی

استادیار - دانشکده مهندسی - دانشگاه زنجان - زنجان - ایران

[arsharifi@znu.ac.ir](mailto:arsharifi@znu.ac.ir)

**چکیده:** در این مقاله روشی برای طراحی بهینه ابعاد آنتن کاسگرینی و آنتن تغذیه آن ارائه شده است بنحوی که راندمان انسداد بهینه‌سازی شود. حالتی بررسی شده است که آنتن تغذیه در پشت منعکس کننده اصلی قرار گرفته باشد و از آنتن شیپوری شیار داد مخروطی به عنوان آنتن تغذیه استفاده شده باشد. یک معادله ریاضی برای محاسبه زاویه بهینه روشن شدن منعکس کننده جانبی توسط آنتن تغذیه به دست آمده است، سپس این معادله به صورت یک تابع خطا بازنویسی شده و برای بهینه‌سازی آن از توابع موجود در نرم افزار MATLAB استفاده شده است. پس از حل این معادله بقیه ابعاد آنتن با توجه به روابط موجود محاسبه شده و یک مثال طراحی در فرکانس 20 GHz در باند K برای روشن شدن مطلب ارائه شده و با نرم افزار FEKO نیز شبیه‌سازی شده است تا نتایج آن تایید شود. در این مثال ضریب خمش آنتن شیپوری مخروطی به صورت اختیاری برابر با 0.32 فرض شده و ابعاد بهینه آنتن محاسبه شده‌اند. سپس این مثال طراحی به ازای ضرایب خمش متفاوت حل شده و پارامترهای مختلف آنتن از جمله قطر منعکس کننده جانبی، ضریب بزرگنمایی آنتن و شعاع خمش آنتن تغذیه به صورت بهینه به دست آمده و بر حسب ضریب خمش رسم شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** راندمان انسداد روزنه، آنتن شیپوری شیاردار مخروطی، آنتن کاسگرینی، بهینه‌سازی.

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.29252/jiaeee.18.3.742

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۲۲

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر علیرضا شریفی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - زنجان - دانشگاه زنجان - دانشکده مهندسی اتاق ۱۱۳

شیردار<sup>۸</sup> استفاده می‌شود [۱۳]. در دیواره مخروطی این آنتن شیبوری با ایجاد شکاف‌های متوالی، قسمت از انرژی مود غالب TE<sub>11</sub> در گذار از دیواره صاف به دیواره شکافدار به مود TM<sub>11</sub> تبدیل می‌شود و در صورتی که عمق شکافها در حدود یک چهارم طول موج باشد، نسبت مودهای TE<sub>11</sub> , TM<sub>11</sub> با هم برابر می‌شوند و از ترکیب این مودها، مود هیبرید<sup>۹</sup> HE<sub>11</sub> ایجاد می‌شود که مولفه‌های پلاریزاسیون متقاطع خیلی کمتری نسبت به مود TE<sub>11</sub> در موج‌پر استوانه‌ای دارد [۱۴]، [۱۵] و [۱۶]. همچنین دیگر مشکلات ذکر شده در مورد آنتن شیبوری مخروطی با دیواره صاف با بکار گیری این نوع آنتن شیبوری برطرف می‌شوند. در صورتی که از این نوع آنتن تغذیه در ساختمان آنتن کاسگرین استفاده شده باشد لازم است که ابعاد آنتن تغذیه بنحو مناسب طراحی شوند که راندمان آنتن بهینه باشد. در بیشتر کاربردها مناسب‌تر است که آنتن تغذیه در پشت منعکس کننده سهموی واقع شود [۱۷].

تا جایی که نویسنده می‌داند تاکنون روشی ساده و سریع برای طراحی دقیق و بهینه ابعاد آنتن تغذیه و آنتن کاسگرین در حالتی که آنتن تغذیه در پشت منعکس کننده سهموی واقع شده باشد ارائه نشده‌است و این مسئله تاکنون بطور جدی بررسی نشده و به چالش کشیده نشده‌است. در این مقاله در قسمت دوم ابتدا در مورد ساختار هندسی آنتن کاسگرین توضیحاتی ارائه شده سپس در قسمت سوم، ساختار هندسی آنتن شیبوری مخروطی شیردار توصیف شده‌است. در قسمت چهارم مراحل طراحی ابعاد آنتن ذکر شده‌است و یک رابطه ریاضی به دست آورده‌ایم که شرایط ایجاد کمترین میزان انسداد روزنه در این آنتن را محقق می‌سازد. در قسمت پنجم برای روشن شدن بیشتر روش طراحی، از یک مثال طراحی استفاده کرده‌ایم و روش حل معادله غیرخطی به دست آمده در قسمت چهارم توضیح داده شده‌است. در این مثال میزان ضریب خمش آنتن شیبوری مخروطی به صورت اختیاری برابر با 0.32 فرض شده. در قسمت ششم، مثال طراحی ارائه شده در قسمت پنجم به ازای مقادیر مختلف از ضریب خمش آنتن شیبوری حل شده و ابعاد بهینه آنتن به دست آمده‌اند و برخی از پارامترها و ابعاد آنتن که به صورت بهینه محاسبه شده‌اند بر حسب متغیر میزان خمش آنتن شیبوری رسم شده و به صورت نمودار آمده‌است.

## ۲- ساختار هندسی آنتن کاسگرین

در شکل (۱) ساختار هندسی آنتن کاسگرین در حالت کلی آمده‌است. همانطوری که ملاحظه می‌شود، این آنتن از یک منعکس کننده سهموی اصلی تشکیل شده که در سمت چپ شکل ملاحظه می‌شود و یک منعکس کننده هذلولوی که در وسط شکل دیده می‌شود. قطر منعکس کننده اصلی سهموی با  $D$  نشان داده شده‌است و فاصله کانونی آن با  $F_m$  مشخص شده‌است. نقطه کانونی سهمی با  $F_2$  نشان داده شده‌است. قطر منعکس کننده فرعی با  $D_s$  نشان داده شده

آنتنها نقش حیاتی در سامانه های مخابراتی ایفا میکنند [۱] و [۲]. آنتن های منعکس کننده در مخابرات فضایی، مخابرات زمینی، مخابرات ماهواره‌ای، تصویربرداری تراهرتزی، سنجش از دور و بسیاری کاربردهای دیگر استفاده می‌شوند. آنتن کاسگرین<sup>۱</sup> یک آنتن منعکس کننده دوگانه است که ایده اصلی ساخت آن از تلسکوپ ساخته شده توسط کاسگرین در قرن ۱۷ ام گرفته شده‌است. این آنتن از یک منعکس کننده اصلی<sup>۲</sup> سهموی و یک منعکس کننده هذلولوی که در مقابل منعکس کننده اصلی قرار می‌گیرد و منعکس کننده فرعی<sup>۳</sup> نامیده می‌شود ساخته شده‌است. آنتن تغذیه در نزدیکی منعکس کننده اصلی قرار می‌گیرد [۳]. این آنتنها به دلیل پهن باند بودن و دارا بودن بهره بالا، در ایستگاههای گیرنده زمینی برای دریافت سیگنالهای ماهواره‌ای کاربرد دارند و همچنین قابلیت تبدیل شدن به رادیوتلسکوپ را دارند [۴]. در [۵] آنتن کاسگرین در محدوده فرکانسی تراهرتز طراحی شده‌است. این آنتنها همچنین در سیستمهای ردگیری تک پالس استفاده می‌شوند [۶]. در سفینه فضایی کاسینی<sup>۴</sup> از آنتن کاسگرین چندباندی برای مقاصد مختلف ارتباطات و رادیومتری برای اندازه گیری رطوبت و حرارت سطح سیاره استفاده شده‌است [۷] و [۸].

در برخی کاربردها لازم است که گیرنده در کنار آنتن تغذیه باشد تا نیازی به استفاده از کابل هم محور یا موج بر برای انتقال سیگنال از آنتن تغذیه به گیرنده نداشته باشیم و بدین ترتیب تلفات سیگنال مخصوصاً در فرکانس های بالا کاهش می‌یابد. در این کاربردها بهتر است از آنتن کاسگرین استفاده شود. همچنین در آنتن کاسگرین آنتن تغذیه به سمت آسمان جهت گیری می‌کند نه به سمت زمین بنابراین گلبرگ های فرعی آنتن تغذیه، نویز کمتری را دریافت می‌کند و برای سیستمهای حساس مناسب تر است [۹].

تاکنون مقالات مختلفی در زمینه طراحی ابعاد آنتن کاسگرین به چاپ رسیده‌اند از جمله در [۱۰] و [۱۱] روابطی ارائه شده‌است که پارامترهای آنتن کاسگرین معمولی و آنتن کاسگرین باز محاسبه شده‌اند. اما در این مقالات به طراحی آنتن تغذیه اشاره نشده‌است و فرض شده‌است که آنتن تغذیه در فضای بین منعکس کننده اصلی و منعکس کننده فرعی قرار داشته باشد. در [۱۲]، با توجه به تقارن استوانه ای، از آنتن های شیبوری<sup>۵</sup> مخروطی به عنوان تغذیه در آنتن کاسگرین استفاده شده‌است. اما آنتن شیبوری مخروطی این مشکل را دارد که الگوی میدان صفحات میدانهای الکتریکی و مغناطیسی<sup>۶</sup> در آن باهم متقارن نیستند و مرکز فازهای آن‌ها بر روی هم منطبق نمی‌شود و همچنین میدان الکتریکی آن‌ها مولفه های پلاریزاسیون متقاطع<sup>۷</sup> دارند. پلاریزاسیون متقاطع عبارتی است که در مورد مولفه های ناخواسته میدان الکتریکی که عمود بر مولفه اصلی هستند بکار برده می‌شود. برای برطرف کردن این مشکلات از آنتن شیبوری مخروطی

$$\frac{D}{F} = 4 \tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) \quad (3)$$

بنابراین در آنتن کاسگرین با توجه به شکل (۱) داریم ( [۱۴] و [۱۸] )

$$\frac{D}{F_m} = 4 \tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) \quad (4)$$

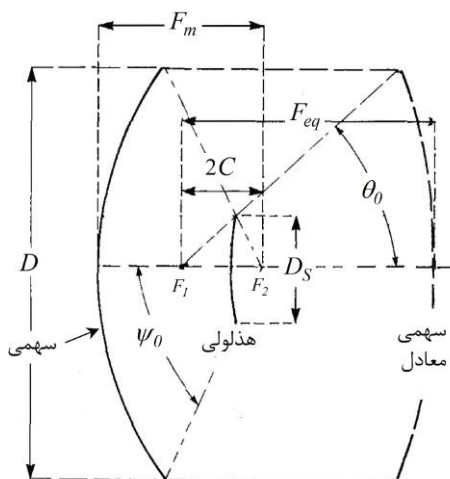
$$\frac{D}{F_{eq}} = 4 \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right) \quad (5)$$

با توجه به روابط (۴) و (۵) رابطه بین  $M$  و  $\psi_0$  و  $\theta_0$  به صورت زیر به دست می آید ( [۱۴] و [۱۸] )

$$M = \frac{F_{eq}}{F_m} = \frac{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)} \quad (6)$$

در شکل (۳) یک منحنی هذلولوی نشان داده شده که نسبت به محور z متقارن است. این منحنی توسط نقاط کانونی  $F_1$ ,  $F_2$  و پارامترهای  $A$ ,  $C$  مشخص می شود. هذلولی مکان هندسی نقاطی است که اختلاف فاصله شان از دو نقطه کانونی مقدار ثابتی باشد. این مقدار ثابت برابر با  $2A$  است. بنابراین در شکل (۳) داریم

$$F_1 A - F_2 A = 2A \quad (7)$$



شکل (۱): نمایش دوبعدی آنتن کاسگرین که پارامترهای طراحی آن و سهمی معادل آن در شکل مشخص شده اند.

و نقاط کانونی آن با  $F_1$  و  $F_2$  مشخص شده اند که نقطه کانونی  $F_2$  همانطور که از شکل ملاحظه می شود بر نقطه کانونی سهمی منطبق است. فاصله بین نقاط کانونی  $F_1$  و  $F_2$  با  $2C$  نشان داده شده و مرکز فاز آنتن تغذیه بر روی نقطه  $F_1$  واقع است. هذلولی یک فاکتور طراحی<sup>۱۱</sup> بنام ضریب خروج از مرکز<sup>۱۱</sup> دارد و با  $e$  مشخص می شود. اشعه های منتشر شده از آنتن تغذیه که از لبه منعکس کننده هذلولوی عبور می کنند با محور تقارن آنتن زاویه  $\theta_0$  می سازند و اشعه هایی که پس از انعکاس از منعکس کننده فرعی به لبه های منعکس کننده اصلی برخورد می کنند نسبت به محور تقارن آنتن زاویه  $\psi_0$  می سازند.  $\theta_0$  را زاویه رؤیت منعکس کننده فرعی و  $\psi_0$  را زاویه رؤیت منعکس کننده اصلی می نامیم. در سمت راست شکل یک سهمی معادل دیده می شود.

فاصله کانونی این سهمی  $F_{eq}$  بوده و نسبت  $\frac{F_{eq}}{F_m}$  به عنوان بزرگنمایی آنتن<sup>۱۲</sup> نامیده شده و با  $M$  نشان داده می شود و اندازه  $M$  به ضریب خروج از مرکز  $e$  بستگی دارد. برای طراحی آنتن کاسگرین ابتدا لازم است مختصری در مورد ساختارهای منعکس کننده سهموی و هذلولوی و روابط حاکم بر آنها در دستگاه مختصات قطبی توضیحاتی ارائه شود.

شکل (۲) یک منحنی سهموی را نشان می دهد که حالت دوبعدی از یک سطح سهموی است که محور تقارن آن بر روی محور z ها واقع می باشد. نقطه  $A$  نقطه کانونی این منحنی بوده و فاصله کانونی آن  $F$  است. در این شکل  $\psi$  زاویه اشعه خارج شونده از نقطه کانونی نسبت به محور z ها است و  $\psi_0$  زاویه اشعه ای است که به لبه آنتن برخورد کرده است. در یک آنتن سهموی، صفحه کانونی صفحه ایست که عمود بر محور تقارن سهمی بوده و از نقطه کانونی بگذرد. همه اشعه هایی که از نقطه کانونی خارج می شوند پس از انعکاس از سطح سهموی به صورت موازی با محور تقارن حرکت کرده و مسافت برابری را تا صفحه کانونی طی می کنند. این مسافت برای کلیه اشعه ها  $2F$  می باشد. بنابراین با توجه به شکل (۲) داریم ( [۱۴] و [۱۷] )

$$AB + BC = 2F \Rightarrow \rho + \rho \cos \psi = 2F \Rightarrow \rho = \frac{F}{\cos^2(\psi/2)} \Rightarrow \rho_0 = \frac{F}{\cos^2(\psi_0/2)} \quad (1)$$

قطر منعکس کننده سهموی در شکل (۲) با  $D$  نشان داده شده است و داریم ( [۱۴] و [۱۸] )

$$D = 2\rho_0 \sin(\psi_0) \quad (2)$$

با ترکیب روابط (۱) و (۲) داریم ( [۱۴] و [۱۸] )

با توجه به رابطه (۹) و شکل (۱) می توان رابطه بین قطر منعکس کننده فرعی و پارامترهای این منعکس کننده را به صورت زیر به دست آورد ( [۱۴] و [۱۸] )

$$D_s = 2\rho \sin(\psi_0) \Rightarrow$$

$$D_s = 2 \sin(\psi_0) \frac{A(e^2 - 1)}{1 + e \cos(\psi_0)} \quad (10)$$

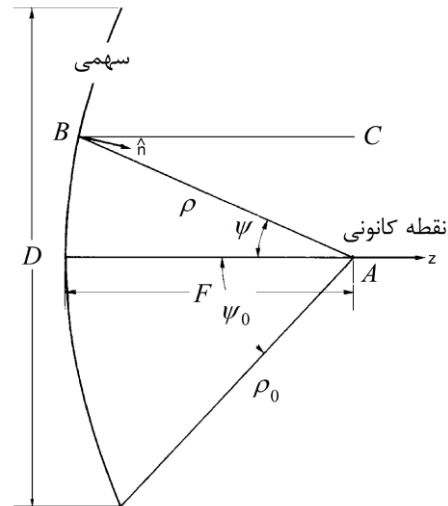
هدف از این مقاله محاسبه ابعاد بهینه منعکس کننده های اصلی و فرعی در آنتن کاسگرین برای بهینه سازی راندمان تشعشی است. بنابراین در ادامه در مورد راندمان تشعشی آنتن های روزنه ای و منعکس کننده توضیحاتی ارائه می شود. بهره آنتن های منعکس کننده از رابطه زیر به دست می آید ( [۱۴] و [۱۸] )

$$G = \varepsilon \frac{4\pi}{\lambda^2} A_p \quad (11)$$

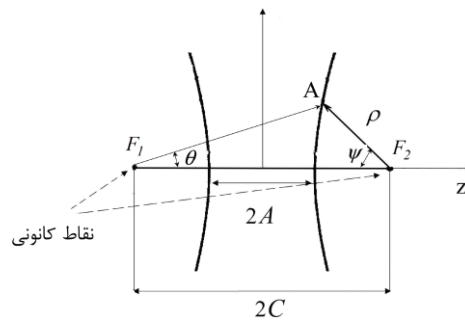
که در این رابطه  $A_p$  مساحت فیزیکی روزنه بوده و  $\lambda$  طول موج فضای آزاد است و  $\varepsilon$  راندمان تشعشی آنتن می باشد. سطح روزنه آنتن در آنتن های سهموی، یک سطح دایره ای است که عمود بر محور تقارن آنتن بوده و از نقطه کانونی آنتن عبور می کند. همانطور که اشاره شد در این سطح جبهه موج همفاز<sup>۱۳</sup> است.  $\varepsilon$  بستگی به عوامل مختلفی دارد از جمله توزیع میدان بر روی سطح روزنه و مولفه های پلاریزاسیون متقاطع میدان روی این سطح و موافقی که در آنتن در مقابل این سطح قرار گرفته اند. در حالت کلی در صورتی که از اثرات ناهمواریهای سطوح منعکس کننده و تلفات اهمی و اثرات پلاریزاسیون متقاطع و از اثرات انسداد ناشی از وجود پایه های نگهدارنده منعکس کننده فرعی در مقابل منعکس کننده اصلی صرف نظر شود، راندمان تشعشی از حاصل ضرب راندمان های انسداد روزنه  $\varepsilon_{blk}$ ، ناشی از حضور منعکس کننده فرعی در برابر منعکس کننده اصلی، راندمان سرریز<sup>۱۴</sup> میدان به خارج از آنتن  $\varepsilon_s$  و راندمان باریک شونده<sup>۱۵</sup> شدت میدان در لبه های آنتن نسبت به مرکز  $\varepsilon_t$  به صورت زیر به دست می آید

$$\varepsilon = \varepsilon_{blk} \varepsilon_t \varepsilon_s \quad (12)$$

راندمان های  $\varepsilon_t$  و  $\varepsilon_s$  بستگی به توزیع میدان الکتریکی بر روی صفحه روزنه دارند و در [۱۸] نشان داده شده است که حاصل ضرب  $\varepsilon_t \varepsilon_s$  زمانی به حداکثر مقدار خود می رسد که شدت میدان الکتریکی در لبه های آنتن تقریباً به اندازه 11 dB نسبت به مرکز آنتن کمتر باشد. در این وضعیت حاصل ضرب  $\varepsilon_t \varepsilon_s$  برابر با 0.82 شده و  $\varepsilon_t$  تقریباً برابر با 0.9 می شود. راندمان انسداد  $\varepsilon_{blk}$  از رابطه زیر به دست می آید ( [۱۸] )



شکل (۲): یک منحنی سهموی که نسبت به محور z ها متقارن است [۱۴].



شکل (۳): یک منحنی هذلولی که نسبت به محور z متقارن است

در هذلولی نسبت  $C/A=e$  بنام ضریب خروج از مرکز نامیده می شود. در آنتن کاسگرین، مرکز فاز آنتن تغذیه بر روی یکی از نقاط کانونی واقع شده (نقطه  $F_1$ ) و از منحنی سمت راست شکل (۳) به عنوان سطح منعکس کننده فرعی استفاده می شود. امواجی که از نقطه  $F_1$  خارج می شوند پس از برخورد به منعکس کننده بنحوی منعکس می شوند که گویی از نقطه  $F_2$  خارج شده اند. رابطه بین بزرگنمایی آنتن کاسگرین و ضریب خروج از مرکز  $e$  به صورت زیر است ( [۱۴] و [۱۸] )

$$M = \frac{e+1}{e-1} \text{ و } e = \frac{M+1}{M-1} \quad (8)$$

در صورتی که  $\rho$  طول بردار  $F_2A$  باشد و  $\psi$  زاویه بین این بردار با محور z ها باشد با استفاده از روابط موجود در مورد سطوح مقاطع مخروطی داریم ( [۱۴] و [۱۸] )

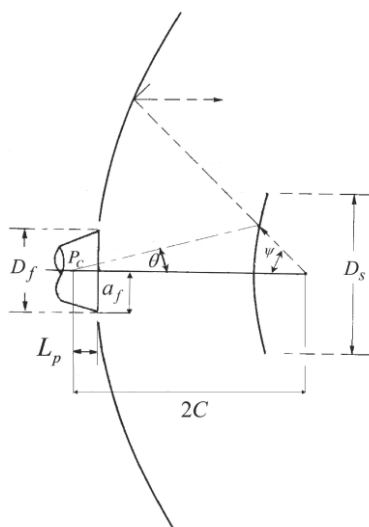
$$\rho = \frac{A(e^2 - 1)}{1 + e \cos(\psi)} \quad (9)$$



در ستون پنجم جدول (۱)، پارامتر  $H_2$  به ازای مقادیر مختلف  $S$  آمده است [۱۴].

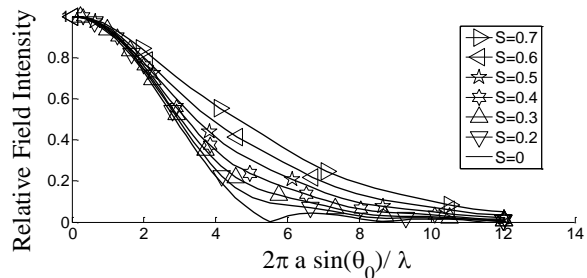
#### ۴- به دست آوردن ابعاد بهینه آنتن کاسگرین و آنتن تغذیه برای حصول راندمان روزنه بهینه

پس از معرفی ساختار هندسی آنتن کاسگرین و آنتن تغذیه از نوع شیپوری شیاردار، در این قسمت روشی برای محاسبه ابعاد بهینه این آنتن‌ها بنحویکه راندمان روزنه بهینه باشد ارائه می‌کنیم. در این مقاله فرض شده است که آنتن تغذیه دقیقاً در پشت منعکس کننده اصلی واقع شده باشد. بنابراین همانطوریکه در شکل (۶) ملاحظه می‌شود، مرکز دهانه خروجی دایره‌ای آنتن تغذیه بر روی رأس سهمی واقع شده است.



شکل (۶): ساختار هندسی آنتن کاسگرین به همراه آنتن تغذیه زمانی که آنتن تغذیه دقیقاً در پشت منعکس کننده سهموی واقع شده باشد. با توجه به شکل (۶) ملاحظه می‌شود که در صورتی که قطر منعکس کننده فرعی از قطر آنتن تغذیه بزرگ‌تر باشد، قسمتی از امواجی که از تغذیه ساطع شده و توسط منعکس کننده اصلی و منعکس کننده فرعی به طور موازی با محور آنتن هدایت می‌شوند توسط منعکس کننده فرعی مسدود می‌شوند. همچنین در صورتی که قطر آنتن تغذیه بزرگ‌تر از قطر منعکس کننده فرعی باشد، آن قسمت از امواج که پس از انعکاس از سطح هذلولوی به آنتن تغذیه برخورد می‌کنند نمی‌توانند به طور موازی با محور آنتن منتشر شوند و لذا قطر انسداد در این حالت با قطر آنتن تغذیه برابر خواهد شد. در بهترین حالت، قطر آنتن تغذیه باید با قطر منعکس کننده فرعی برابر باشد. در شکل (۶) شعاع آنتن تغذیه با  $a_f$  نشان داده شده که مجموع شعاع دهانه شیپور و ضخامت اولین شکاف می‌باشد. با توجه به رابطه (۱۰) داریم

$$2(a+d) = 2a_f = D_s = 2 \sin(\psi_0) \frac{A(e^2 - 1)}{1 + e \cos(\psi_0)} \quad (18)$$



شکل (۵): الگوی تشعشعی میدان الکتریکی نسبی برای آنتن هورن مخروطی چین دار به ازای مقادیر مختلف پارامتر خمش [۱۴]

جدول (۱): اندازه پارامترهای  $H_1$  و  $H_2$  به ازای مقادیر مختلف پارامتر  $S$ .

S	مقادیر $H_1$ به ازای اندازه‌های مختلف شدت میدان نسبی در لبه‌های آنتن			$H_2$
	-3 (dB) (0.7079)	-10 (dB) (0.3162)	-11 (dB) (0.2818)	
0.04	2.0791	3.6020	3.7357	0.005
0.08	2.0827	3.6150	3.7496	0.020
0.12	2.0887	3.6371	3.7731	0.045
0.16	2.0974	3.6692	3.8072	0.080
0.20	2.1088	3.7129	3.8538	0.124
0.24	2.1234	3.7699	3.9145	0.178
0.28	2.1415	3.8433	3.9928	0.240
0.32	2.1637	3.9372	4.0930	0.310
0.36	2.1906	4.0572	4.2211	0.386
0.40	2.2231	4.2112	4.3858	0.464
0.44	2.2624	4.4090	4.5975	0.542
0.48	2.3103	4.6578	4.8640	0.614
0.52	2.3688	4.9532	5.1802	0.673
0.56	2.4411	5.2720	5.5206	0.718
0.60	2.5317	5.5878	5.8562	0.753
0.64	2.6469	5.8913	6.1762	0.783
0.68	2.7966	6.1877	6.4855	0.811

همانطوریکه در ابتدای مقاله ذکر شد، مرکز فاز آنتن تغذیه باید در نقطه کانونی سطح هذلولوی یعنی  $F_1$  قرار گیرد. در آنتن‌های تغذیه شیپوری شیاردار، مرکز فاز آنتن همواره نسبت به دهانه مخروط به مقدار  $L_p$  به سمت رأس مخروط جابجا می‌شود. که  $L_p$  به  $R$  و  $S$  بستگی دارد. در این مقاله پارامتر  $H_2$  که متناسب با  $L_p$  است به صورت زیر تعریف شده

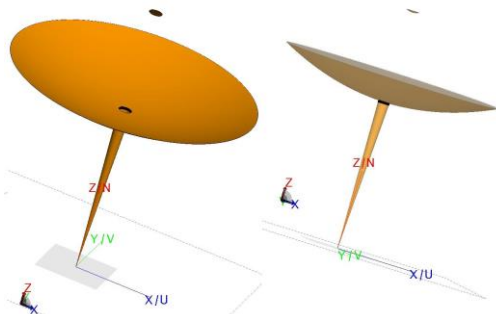
$$H_2 = \frac{L_p}{R} \quad (17)$$

می توان از روشهای مختلف عددی استفاده کرد [۱۹]. در اینجا فرض شده است که  $err(\theta_0) = g(\theta_0) - h(\theta_0)$  باشد و با کمینه سازی این تابع به پاسخ مطلوب دست می یابیم. بنابراین

$$err(\theta_0) = a_f - \sin(\psi_0) \frac{A(e^2 - 1)}{1 + e \cos(\psi_0)} \quad (24)$$

با مینیمم سازی این تابع می توان  $\theta_0$  بهینه را پیدا کرد. برای مینیمم سازی این تابع می توان از توابع موجود در جعبه ابزار بهینه سازی نرم افزار MATLAB استفاده کرد [۲۰].

در این مقاله از تابع `fmincon.m` استفاده شده است که در این تابع می توان مقدار اولیه برای آغاز بهینه سازی و دقت بهینه سازی و بازه مربوط که ریشه تابع لازم است در آن بازه جستجو شود را تنظیم نمود. بهینه سازی تابع خطا بر روی یک لپتاپ با مشخصات فرکانس CPU برابر با 2.13 GHz و حافظه RAM برابر با 6 GB در کسری از یک ثانیه انجام شده است. پس از انجام بهینه سازی معادله (۲۴) به ازای  $\theta_0 = 2.16^\circ$  تا  $4 \times 10^{-6}$  کاهش می یابد که به اندازه کافی کوچک است. سپس از (۲۰) ضریب خروج از مرکز  $e = 1.0784$  و از (۸)  $M = 26.5$  به دست می آید. از (۱۶)  $a = 0.2592$  (m) و از (۱۵)  $R = 7.0004$  (m) می شود. از (۱۷)  $L_p = 2.1701$  (m) و از (۱۴)  $d = 0.0038$  (m) و بنابراین از (۱۸)  $a_f = 0.2630$  (m) و  $D_s = 0.5260$  (m) می شود.  $C = F_m + L_p = 7.1701$  (m) و  $A = C/e = 6.6488$  (m) به دست می آید. در جدول (۲) ابعاد و پارامترهای طراحی منعکس کننده اصلی و منعکس کننده فرعی و آنتن تغذیه با توجه به شکل های (۴) و (۶) به طور خلاصه آورده شده اند. در شکل (۷) نما از بالا و پهلوئی ساختار آنتن کاسگرین طراحی شده در مثال طراحی که در نرم افزار FEKO [۲۱] شبیه سازی شده است مشاهده می شود.



شکل (۷): نما از بالا و پهلوئی ساختار آنتن کاسگرین بررسی شده در مثال طراحی که در نرم افزار FEKO شبیه سازی شده است.

با توجه به اینکه  $C = Ae$  همچنین با استفاده از (۱۴) رابطه فوق به شکل (۱۹) در می آید

$$\left(a + \frac{\lambda}{4} \exp\left(\frac{1}{2.5ka}\right)\right) = \sin(\psi_0) \frac{C(e^2 - 1)}{e(1 + e \cos(\psi_0))} \quad (19)$$

با توجه به شکل (۶)،  $C$  برحسب  $L_p$  و  $F_m$  به دست می آید همچنین با توجه به (۶) و (۸)، داریم

$$e = \frac{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) + \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) - \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)} \quad (20)$$

با توجه به (۱۶) می توان  $a$  را برحسب  $H_1$  در (۱۹) جایگذاری کرد، همچنین با توجه به (۱۷) می توان  $L_p$  را برحسب  $H_2$  در (۱۹) جایگذاری کرد. با در نظر گرفتن این ملاحظات رابطه (۱۹) به شکل رابطه (۲۱) در می آید. همچنین با توجه به (۱۵) و (۱۶)،  $R$  برحسب  $S$  و  $H_1$  به صورت زیر به دست می آید

$$R = \frac{a^2}{2\lambda S} = \left(\frac{H_1}{k \sin(\theta_0)}\right)^2 \frac{1}{2\lambda S} \quad (22)$$

با جایگذاری  $R$  در (۲۱) به رابطه (۲۳) می رسیم. همانطوریکه گفته شد قطر منعکس کننده اصلی بر اساس بودجه لینک محاسبه می شود و نسبت فاصله کانونی به قطر آنتن نیز معمولاً مشخص است پس در رابطه فوق  $F_m$  معلوم است و از (۴)  $\psi_0$  نیز مشخص می شود همچنین با دانستن فرکانس طراحی، مقادیر  $k$ ،  $\lambda$  محاسبه می شوند. از جدول (۲) ملاحظه می شود که  $H_1$  و  $H_2$  تابعی از  $S$  هستند، بنابراین در صورتی که در رابطه (۲۳)،  $S$  مشخص باشد تنها متغیر مجهول  $\theta_0$  خواهد بود که با محاسبه این متغیر می توان بقیه ابعاد هندسی ساختار را نیز به دست آورد. این معادله یک معادله غیرخطی است که به روش های مختلف می تواند حل شود. در ادامه با بیان یک مثال طراحی، روش حل این معادله و طراحی ابعاد دیگر ساختار توضیح داده شده است.

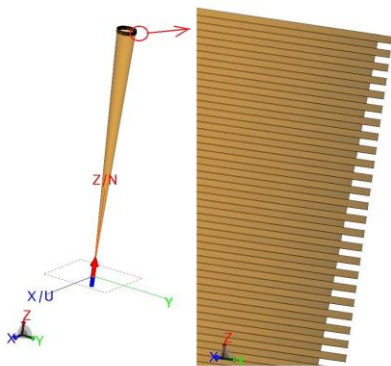
## ۵- مثال طراحی

در این قسمت می خواهیم ابعاد آنتن کاسگرین و آنتن تغذیه هورن چین دار را در فرکانس مرکزی 20 Ghz برای دریافت سیگنال از فرستنده ماهواره ای محاسبه کنیم. در ابتدا فرض بر این است که قطر آنتن با احتساب بودجه لینک و حساسیت گیرنده و توان فرستنده برابر با 10 (m) محاسبه شده باشد و نسبت  $F_m / D = 0.5$  در نظر گرفته شده باشد. با توجه به (۴)  $\psi_0 = 53.1^\circ$  می شود. همچنین فرض شده است که مقدار  $S$  به طور اختیاری برابر با 0.32 در نظر گرفته شود. در این صورت با توجه به جدول (۱)،  $H_1 = 4.093$  و  $H_2 = 0.31$ . برای حل معادله (۲۳)، با توجه به اینکه این رابطه یک معادله غیر خطی تک متغیره به صورت  $g(\theta_0) = h(\theta_0)$  میباشد،

$$\left(\frac{H_1}{k \sin(\theta_0)} + \frac{\lambda}{4} \exp\left(\frac{\sin(\theta_0)}{2.5H_1}\right)\right) = \sin(\psi_0) \frac{(F_m + RH_2) \left( \frac{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) + \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) - \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)} \right)^2 - 1}{2 \left( \frac{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) + \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) - \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)} \right) \left( 1 + \frac{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) + \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) - \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)} \cos(\psi_0) \right)} \quad (21)$$

$$\left(\frac{H_1}{k \sin(\theta_0)} + \frac{\lambda}{4} \exp\left(\frac{\sin(\theta_0)}{2.5H_1}\right)\right) = \sin(\psi_0) \frac{\left( F_m + \left( \frac{H_1}{k \sin(\theta_0)} \right)^2 \frac{1}{2\lambda S} H_2 \right) \left( \frac{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) + \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) - \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)} \right)^2 - 1}{2 \left( \frac{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) + \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) - \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)} \right) \left( 1 + \frac{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) + \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\psi_0}{2}\right) - \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)} \cos(\psi_0) \right)} \quad (23)$$

با توجه به اینکه ابعاد این ساختار بزرگ بوده و حدود ۱۲ متر در ۱۰ متر میباشد، شبیه‌سازی کل سیستم معمولاً با پیغام خطای مربوط به عدم وجود حافظه کافی مواجه می‌شود و برای رفع این مشکل و صرفه جویی در زمان محاسبات و میزان حافظه مورد نیاز میتوان از تکنیکهای مختلفی استفاده کرد. در اینجا ابتدا آنتن تغذیه را با استفاده از روش چندسطحی سریع چند قطبی<sup>۱۷</sup> ( که در کنار روش ممان<sup>۱۸</sup> برای تحلیل ساختارهایی که از لحاظ الکتریکی بزرگ میباشند مناسب است) شبیه‌سازی کرده‌ایم. این روش میتواند با حفظ دقت و سرعت محاسبات، در شبیه‌سازی آنتنهای منعکس‌کننده با ابعاد بزرگ بکار گرفته شود. ساختار آنتن تغذیه در شکل (۸) ملاحظه می‌شود. ابعاد این آنتن مطابق با ابعاد ذکر شده در جدول (۲) بوده و شعاع موجبر استوانه‌ای در ورودی هورن برابر با شعاع موجبر استاندارد در باند K در نظر گرفته شده، یعنی  $a_w = 5.5 (mm)$ . طول موجبر ورودی و فاصله عبور از موجبر ورودی تا قسمت چین‌خورده آنتن تغذیه به ترتیب برابر با  $L_t = 6750 (mm)$  و  $L_w = 100 (mm)$  بوده که پارامترهای  $a_w$  و  $L_t$  و  $L_w$  در شکل (۴) مشخص شده‌اند. تعداد چینها برابر با ۲۶ در نظر گرفته شده‌است و فاصله بین نقاط در شبکه مشبندی برای بدنه آنتن به اندازه  $\lambda/2.8$  در نظر گرفته شده که  $\lambda$  طول موج در فرکانس مرکزی 20 GHz میباشد. تعداد چینها و اندازه مشبندی بنحوی انتخاب شده‌است که با مشکل کمبود حافظه مواجه نشویم. شبیه‌سازی این آنتن بر روی یک کامپیوتر دستکتاب با مشخصات Core(TM) i3-3.4 GHz و 16MB (RAM) بیش از دو هفته به طول انجامید و الگوی تشعشعی آنتن تغذیه در صفحات  $\varphi = 0, 90^\circ$  در محدوده  $-180^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  در شکل (۹) ملاحظه می‌شود. الگوی تشعشعی سه بعدی میدان دور برای این ساختار در دستگاه مختصات کروی در محدوده  $0 \leq \theta \leq 180^\circ$



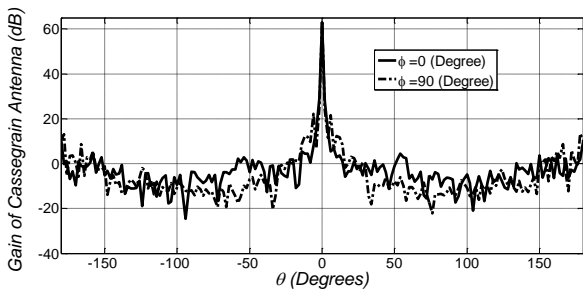
شکل (۸): ساختار آنتن هورن مخروطی در مثال طراحی که در محیط نرم افزار FEKO رسم شده‌است.

همانطوری که از محاسبات تئوری مورد انتظار است میزان روشنایی لبه به اندازه 11dB کمتر از مرکز که توسط آنتن هورن ایجاد شده‌است در صفحات  $\varphi = 0, 90^\circ$  به ازای زاویه‌های  $\theta$  محدوده ۳ تا ۲ درجه اتفاق می‌افتد.

با توجه به اینکه ابعاد این ساختار بزرگ بوده و حدود ۱۲ متر در ۱۰ متر میباشد، شبیه‌سازی کل سیستم معمولاً با پیغام خطای مربوط به عدم وجود حافظه کافی مواجه می‌شود و برای رفع این مشکل و صرفه جویی در زمان محاسبات و میزان حافظه مورد نیاز میتوان از تکنیکهای مختلفی استفاده کرد. در اینجا ابتدا آنتن تغذیه را با استفاده از روش چندسطحی سریع چند قطبی<sup>۱۷</sup> ( که در کنار روش ممان<sup>۱۸</sup> برای تحلیل ساختارهایی که از لحاظ الکتریکی بزرگ میباشند مناسب است) شبیه‌سازی کرده‌ایم. این روش میتواند با حفظ دقت و سرعت محاسبات، در شبیه‌سازی آنتنهای منعکس‌کننده با ابعاد بزرگ بکار گرفته شود. ساختار آنتن تغذیه در شکل (۸) ملاحظه می‌شود. ابعاد این آنتن مطابق با ابعاد ذکر شده در جدول (۲) بوده و شعاع موجبر استوانه‌ای در ورودی هورن برابر با شعاع موجبر استاندارد در باند K در نظر گرفته شده، یعنی  $a_w = 5.5 (mm)$ . طول موجبر ورودی و فاصله عبور از موجبر ورودی تا قسمت چین‌خورده آنتن تغذیه به ترتیب برابر با  $L_t = 6750 (mm)$  و  $L_w = 100 (mm)$  بوده که پارامترهای  $a_w$  و  $L_t$  و  $L_w$  در شکل (۴) مشخص شده‌اند. تعداد چینها برابر با ۲۶ در نظر گرفته شده‌است و فاصله بین نقاط در شبکه مشبندی برای بدنه آنتن به اندازه  $\lambda/2.8$  در نظر گرفته شده که  $\lambda$  طول موج در فرکانس مرکزی 20 GHz میباشد. تعداد چینها و اندازه مشبندی بنحوی انتخاب شده‌است که با مشکل کمبود حافظه مواجه نشویم. شبیه‌سازی این آنتن بر روی یک کامپیوتر دستکتاب با مشخصات Core(TM) i3-3.4 GHz و 16MB (RAM) بیش از دو هفته به طول انجامید و الگوی تشعشعی آنتن تغذیه در صفحات  $\varphi = 0, 90^\circ$  در محدوده  $-180^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  در شکل (۹) ملاحظه می‌شود. الگوی تشعشعی سه بعدی میدان دور برای این ساختار در دستگاه مختصات کروی در محدوده  $0 \leq \theta \leq 180^\circ$



ارائه شده در جدول (۲) بهره از نظر تئوری برابر با همان ۶۳ دسیبل می‌شود که نشان از صحت محاسبات و بهینه بودن راندمان آنتن دارد و نتایج روش تئوری را تایید میکند. راندمان به دست آمده از شبیه‌سازی ساختار، به راندمان بهینه  $\epsilon_t \epsilon_s = 0.82$  که در بخش ۲ (با صرف نظر کردن از اثر انسداد روزنه) بررسی شد، بسیار نزدیک است و اختلافات جزئی ممکن است به دلیل تلفات پاشندگی امواج از لبه‌های آنتن، اثرات انسداد روزنه و اثرات بزرگ انتخاب کردن سایز مش بندی در هنگام تحلیل ساختار و غیره باشد.



شکل (۹): الگوی میدان دور برای آنتن تغذیه شبیه‌سازی شده در

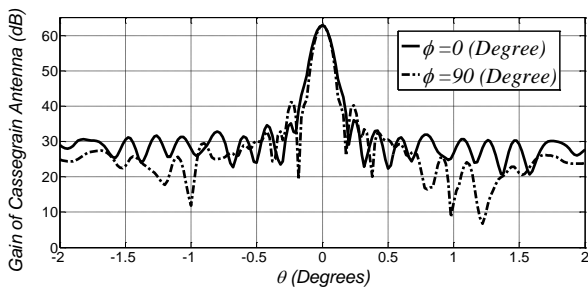
شکل (۸) در محدوده  $-180^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  در صفحات

$$\varphi = 0, 90^\circ$$

در مرحله بعد در شبیه‌سازی از ساختار شکل (۱۰) استفاده شده است که از الگوی میدان دور محاسبه شده آنتن تغذیه برای روشن کردن آنتن کاسگرین در غیاب آنتن تغذیه استفاده شده و الگوی تشعشعی که در مرحله قبل با استفاده از شبیه‌سازی برای آنتن تغذیه به دست آمده بود در این مرحله به صورت یک منبع نقطه‌ای در موقعیت نقطه کانونی سطح هذلولوی قرار داده شده است. با این روش اثرات انسداد روزنه ناشی از وجود منعکس‌کننده ثانویه در مقابل منعکس‌کننده اولیه هم در شبیه‌سازی در نظر گرفته می‌شوند. در اینجا با توجه به بزرگ بودن ابعاد آنتن، برای حفظ سرعت و میزان مصرف حافظه در هنگام محاسبات، از ترکیب روشهای ممان و فیزیک نوری<sup>۱۱</sup> به ترتیب برای تحلیل میدان در سطوح هذلولوی و سهموی استفاده شده است. شبیه‌سازی این آنتن بر روی همان سیستم کامپیوتر معمولاً بیش از دو روز طول می‌کشد. الگوی تشعشعی میدان دور آنتن در صفحات  $\varphi = 0, 90^\circ$  در محدوده‌های  $-180^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  و  $-2^\circ \leq \theta \leq 2^\circ$  به ترتیب در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) ملاحظه می‌شوند.

شکل (۱۱): الگوی میدان دور آنتن کاسگرین شبیه‌سازی شده در شکل

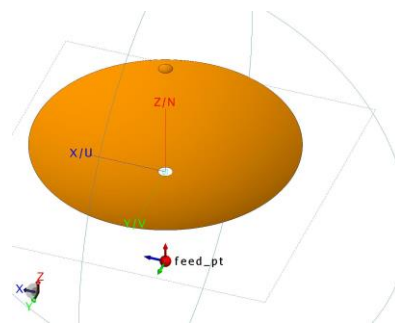
(۱۰) در محدوده  $-180^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$



شکل (۱۲): الگوی میدان دور آنتن کاسگرین شبیه‌سازی شده در

شکل (۱۰) در محدوده  $-2^\circ \leq \theta \leq 2^\circ$

از لحاظ پیاده سازی عملی، با توجه به اینکه آنتن تغذیه و سطوح منعکس‌کننده از یکدیگر جدا هستند می‌توانند به صورت جداگانه ساخته شده و با استفاده از سازه‌های فلزی نگهدارنده در کنار هم مطابق شکل (۷) نصب شوند. ابعاد آنتن در شکل (۷) با توجه به ارقام ذکر شده در جدول (۲) مشخص می‌شود و قطر آنتن سهموی ۶۷۰ برابر طول موج است و فاصله بین ورودی آنتن تغذیه تا منعکس‌کننده ثانویه هم تقریباً ۸۷۰ برابر طول موج است. از لحاظ میزان حساسیت نسبت به خطاهای ساخت هم می‌توان تاثیر تغییرات پارامترهای مختلف آنتن را با شبیه‌سازی و نیز از لحاظ تئوری بررسی نمود. بعنوان نمونه با جابجا کردن محوری مرکز فاز آنتن تغذیه به اندازه  $\pm 2000$  (mm) نسبت به موقعیت فعلی، پس از شبیه‌سازی ملاحظه می‌شود که بهره آنتن تنها ۱ dB کاهش یافته و به 62 dB میرسد. این مسئله از لحاظ تئوری بدلیل بزرگ بودن فاصله کانونی معادل در این ساختار بوده که طبق جدول (۲) برابر با 132.5 (m) میباشد و عدم حساسیت زیاد نسبت به جابجایی محوری آنتن تغذیه، یکی از مزایای این سیستم آنتن میباشد.



شکل (۱۰): ساختار آنتن کاسگرین که از الگوی تشعشعی میدان دور محاسبه شده برای آنتن تغذیه برای روشن کردن آنتن استفاده شده است

همانطوریکه ملاحظه می‌شود در محدوده  $-91^\circ \leq \theta \leq 91^\circ$

الگوی تشعشعی در  $\varphi = 0, 90^\circ$  تقریباً متقارن بوده، حداکثر بهره شبیه‌سازی شده در شکل فوق برابر با ۶۳ دسیبل محاسبه شده و با توجه به رابطه (۱۱) در حالتی که  $\epsilon_{ap} \approx 0.7$  باشد به ازای ابعاد

جدول (۲): خلاصه ابعاد و مشخصات فیزیکی و الکتریکی منعکس کننده اصلی و منعکس کننده فرعی و آنتن تغذیه.

آنتن تغذیه	منعکس کننده فرعی	منعکس کننده اصلی
$S=0.32$	$2A=6.6488$ (m)	$D=10$ (m)
$L_p=2.1701$ (m)	$2C=7.1701$ (m)	$F_m=5$ (m)
$R=7.0004$ (m)	$e=1.0784$	$\psi_0=53.1^\circ$
$a=0.2592$ (m)	$D_s=0.5260$ (m)	
$d=0.0038$ (m)	$\theta_0=2.16^\circ$	
$p=0.0037$ (m)	$M=26.5$	
$t=w=0.0019$ (m)	$F_{eq}=132.5$ (m)	

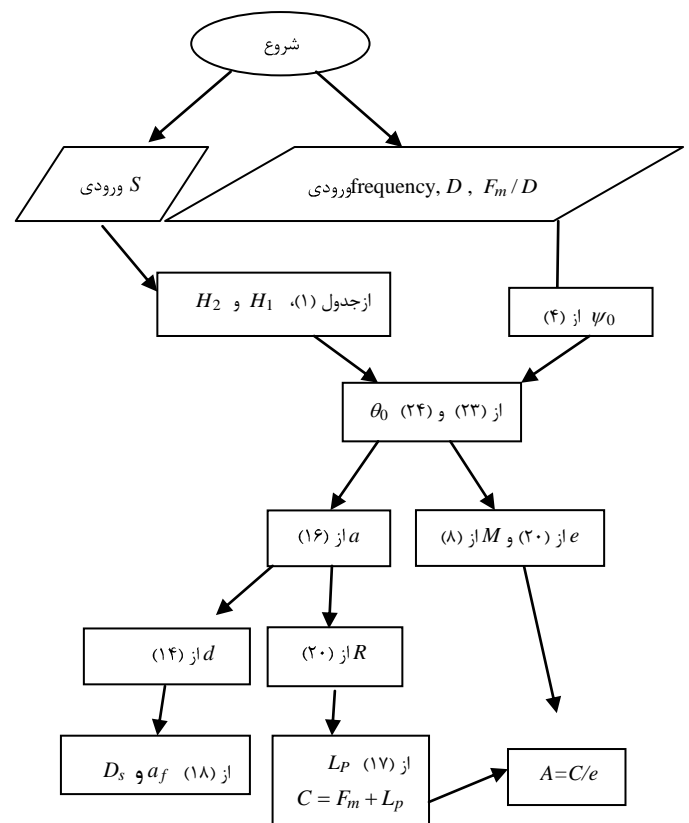
جدول (۳): مقایسه نتایج تحلیل تئوری و نتایج شبیه سازی برای آنتن طراحی شده.

نتایج شبیه سازی	نتایج تئوری	
20 GHz	20 GHz	فرکانس تحلیل
63 dB	65.7 dB	بهره آنتن
0.7	0.8	راندمان روزنه
42dB	$\approx 43.4$ dB	SLL
$0.1^\circ$	$\approx 0.098^\circ$	HPBW
بیش از دو هفته	کمتر از یک ثانیه	زمان محاسبات

## ۶- بررسی تغییرات پارامتر S بر روی ویژگی های آنتن کاسگرین و تغذیه در مثال طراحی بخش ۵

در قسمت قبل در مثال طراحی برای حل معادله (۲۳) مقدار پارامتر S را به طور اختیاری برابر با 0.32 در نظر گرفتیم. اما در این قسمت می خواهیم با تغییر این پارامتر در محدوده 0.04-0.68 همانطوریکه در جدول (۱) آمده است، به ازای مقادیر عددی ارائه شده در مثال طراحی، پس از حل معادله (۲۳) و محاسبه ابعاد بهینه، تغییرات مشخصات و ابعاد آنتن کاسگرین و آنتن تغذیه را بررسی کنیم. ویژگی هایی که می توانند مورد بررسی واقع شوند عبارت اند از تغییرات قطر بهینه منعکس کننده فرعی، تغییرات ابعاد آنتن تغذیه از جمله شعاع خمش آن، تغییرات ضریب بزرگنمایی آنتن و غیره نسبت به تغییرات پارامتر S. در ابتدا با توجه به تأثیر مستقیم قطر منعکس کننده فرعی بر روی راندمان آنتن، تأثیر پارامتر S را بر روی این ویژگی مطالعه کرده ایم. پس از حل معادله (۲۳) به ازای مقادیر مختلف S و محاسبه قطر بهینه منعکس کننده فرعی که روش آن در مثال طراحی ذکر شد، این فاکتور در نمودار شکل (۱۴) آمده است که روند صعودی را نشان می دهد.

شکل (۱۳) مراحل طراحی را به صورت فلوجارت برای این مثال طراحی نشان داده است. جدول (۳) مقایسه بین نتایج تحلیل تئوری و نتایج شبیه سازی را برای برخی مشخصات آنتن طراحی شده نشان میدهد. با توجه به جدول ۲ فصل ۹ در مرجع [۱۸]، در صورتی که توزیع میدان بر روی صفحه روزنه در یک آنتن سهموی به صورت مجموع یک عدد ثابت و یک تابع باریک شونده سهموی از درجه ۱ در نظر گرفته شود و شدت میدان الکتریکی در لبه های آنتن به اندازه 10 dB نسبت به مرکز آنتن کمتر باشد، از لحاظ تئوری سطح گلبرگ فرعی<sup>۲۰</sup> (SLL) به اندازه 22.3 dB کمتر از گلبرگ اصلی محاسبه شده است و همچنین از لحاظ تئوری، میزان پهنای بیم نصف توان<sup>۲۱</sup> (HPBW) بر حسب رادیان برابر با  $1.14(\lambda/D)$  محاسبه شده است. با توجه به تشابه تقریبی توزیع میدان در این مرجع با توزیع میدان در صفحه روزنه آنتن در مقاله کنونی میتوانیم به صورت تقریبی میزان SLL و HPBW را از لحاظ تئوری محاسبه کنیم که نتایج آن در جدول (۳) آمده است. مقایسه نتایج تئوری و شبیه سازی در این جدول صحت محاسبات را تایید میکنند. در ادامه تأثیر انتخاب پارامتر S بر روی ویژگی های مختلف آنتن را بررسی می کنیم.



شکل (۱۳): مراحل طراحی به صورت فلوجارت برای مثال طراحی مطرح شده در مقاله

گرفتن منحنی‌های شکل‌های (۱۴) الی (۱۶) برای این مثال طراحی، می‌توان یک مقدار مناسب برای پارامتر  $S$  انتخاب نمود.

### ۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روشی برای طراحی بهینه ابعاد آنتن کاسگرین ارائه شده‌است، در حالیکه آنتن تغذیه از نوع آنتن شیپوری مخروطی باشد و دقیقاً در پشت منعکس‌کننده سهموی واقع شده باشد. ابتدا ساختار هندسی آنتن کاسگرین ارائه شده و معادلات طراحی آن بررسی شده‌اند. این معادلات در حالتی نوشته می‌شوند که راندمان انسداد روزنه بهینه باشد. برای روشن شدن این روش، یک مثال طراحی ارائه شده‌است که ابعاد بهینه یک آنتن گیرنده ماهواره‌ای را در باند فرکانسی  $K$  در حالتی که ضریب خمش آنتن مخروطی به صورت اختیاری برابر با  $0.32$  باشد محاسبه میکند. برای بررسی صحت نتایج ارائه شده در این مثال، این مسئله با نرم افزار تحلیل الکترومغناطیسی FEKO هم بررسی شده و نتایج آن تایید شده‌است. سپس در قسمت بعد برای مطالعه تاثیر انتخاب ضریب خمش آنتن تغذیه بر ابعاد و ویژگیهای الکتریکی کل آنتن کاسگرین، این مثال طراحی به ازای ضرایب خمش متفاوت در محدوده  $0.04$  تا  $0.68$  بررسی شده و مشخصاتی از قبیل قطر منعکس‌کننده فرعی، ضریب بزرگنمایی آنتن، شعاع خمش آنتن تغذیه بر حسب ضریب خمش آنتن رسم شده‌اند که با مصالحه بین ویژگیهای مکانیکی و الکتریکی آنتن می‌توان مقدار مناسبی را برای ضریب خمش آنتن تغذیه برگزید.

### مراجع

[۱] جعفرزاد حسین، زهفروش یاشار، "طراحی آنتن مایکرو استریپی مسطح چند ورودی، چند خروجی برای کاربردهای باند LTE"، مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران، ۱۳۹۸؛ ۱۶ (۴): ۳۵-۴۲.

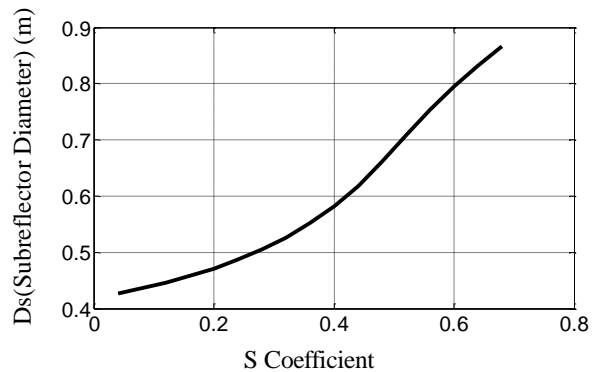
[۲] امیری شروین، شریفی مقدم الهام، "طراحی، تحلیل و ساخت آنتن دوبانده برای یک ماهواره LEO کوچک"، مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران، ۱۳۸۵؛ ۳ (۲): ۳-۱۳.

[3] M. Richharia, L. D. Westbrook, "Satellite systems for personal applications", John Wiley & Sons, 2010.

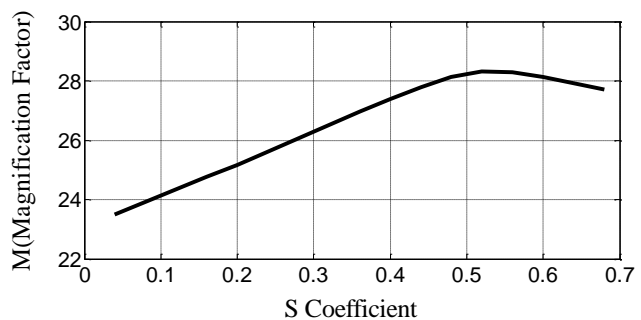
[4] L. Woodburn, T. Natusch, S. Weston, P. Thomasson, M. Goodwin, C. Granet, S. Gulyaev, "Conversion of a New Zealand 30-metre Telecommunications Antenna into a Radio telescope", Publications of the Astronomical Society of Australia (PASA), Vol. 32, e017, 14 pages (2015).

[5] Xu Xiaofei, et al, "Terahertz Cassegrain reflector antenna," International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP). Vol. 2, pp. 969-971, 2013.

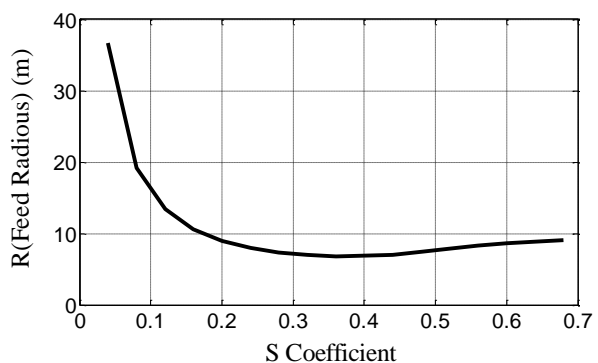
[6] C. Kumar, V. S. Kumar, and V. V. Srinivasan, "Design aspects of a compact dual band feed using dielectric rod antennas with multiple element monopulse tracking," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 61, pp. 4926-4932, 2013.



شکل (۱۴): نمودار تغییرات قطر منعکس‌کننده فرعی بر حسب تغییرات پارامتر  $S$  به ازای مقادیر طراحی در مثال بخش قبل



شکل (۱۵): نمودار تغییرات ضریب بزرگنمایی آنتن بر حسب تغییرات پارامتر  $S$  به ازای مقادیر عددی ارائه شده در مثال طراحی بخش قبل



شکل (۱۶): منحنی تغییرات شعاع خمش آنتن تغذیه مخروطی چین‌دار بر حسب تغییرات ضریب  $S$  به ازای مقادیر عددی در مثال بخش قبل

با توجه به تأثیر مستقیم ضریب بزرگنمایی آنتن،  $M$ ، بر روی کاهش مولفه‌های پلاریزاسیون متقاطع، در نمودار شکل (۱۵) تغییرات این پارامتر نسبت به تغییرات  $S$  به ازای مقادیر عددی ارائه شده در مثال طراحی بخش قبل نیز مطالعه شده است. چنانچه از شکل ملاحظه می‌شود تقریباً به ازای  $S=0.52$  ضریب بزرگنمایی بهینه به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در شکل (۱۶) نمودار تغییرات شعاع خمش آنتن تغذیه بر حسب  $S$  آمده است که همانطوریکه نشان داده شده تقریباً به ازای  $S=0.36$  شعاع خمش به حداقل مقدار خود می‌رسد. در انتخاب مقدار مناسب برای پارامتر  $S$  همواره یک مصالحه بین مشخصات الکتریکی و مکانیکی سیستم موردنیاز است و با در نظر

- <sup>16</sup> Slant Factor  
<sup>17</sup> Multilevel Fast Multipole Method (MLFMM)  
<sup>18</sup> Method of Moments (MOM)  
<sup>19</sup> Physical Optics  
<sup>20</sup> Side Lobe Level  
<sup>21</sup> Half Power Beam Width

- [7] R. Mizzoni, "The Cassini High Gain Antenna (HGA): A Survey on Electrical Requirements, Design and Performance", IEE Seminar on Spacecraft Antennas, London, 1994.
- [8] Sudhakar Rao, Lotfollah Shafai, Satish K. Sharma," Handbook of Reflector Antennas and Feed Systems, Volume3: Applications of Reflectors" , Norwood, MA, Artech House, 2013, p. 247.
- [9] John. S. Seybold, " Introduction to RF propagation", John Wiley & Sons, 2005, p. 53.
- [10] C. Granet, "Designing Axially Symmetric Cassegrain or Gregorian Dual-Reflector Antennas from Combinations of Prescribed Geometric Parameters", IEEE Antennas and Propagation, vol.40, no.2, pp.76-82, Apr. 1998.
- [11] C. Granet. "Designing classical open-Cassegrain dual-reflector antennas from combinations of prescribed geometric parameters", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 54, No. 2, April 2012, pp 136-147.
- [12] Sang Heun Lee, Woo Sang Lee, Byoung Moo Lee, Young Joong Yoon , Joon-ho So," A Design Method of Cassegrain Reflector Antenna for Spillover Suppression", Proceedings of ISAP2005, Seoul, Korea, pp. 729-732.
- [13] C. Dragone, "Reflection, Transmission and Mode Conversion in a Corrugated Feed," Bell Systems Technical Journal, Vol. 56, pp. 835–867, July 1977.
- [14] T. Milligan, "Modern Antenna Design "(McGraw-Hill, New York, 1985).
- [15] B. M. Thomas," Design of corrugated conical horns", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP-26, no. 2, March 1978, pp. 367–372.
- [16] T. S. Chu and W. E. Legg, "Gain of corrugated conical horn" , IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP-30, no. 4, July 1982, pp. 698–703.
- [17] M. Richharia , L. D. Westbrook, "Satellite systems for personal applications" , John Wiley & Sons, 2010, p. 103.
- [18] W.L. Stutzman and G.A Thiele, "Antenna Theory and Design" , 3<sup>rd</sup> ed., Wiley, 2010.
- [19] S.C. Chapra, "Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineers and Scientists", 3rd Edition, McGraw-Hill, New York, 2012.
- [20] "Optimization Toolbox of MATLAB 7.4.0.347 (R2009a) Software", The MathWorks, Inc. , February ,12, 2009.
- [21] Altair Engineering, Inc. , Altair Feko2018.2 user manual, <https://altairhyperworks.com>

## زیر نویس ها

- <sup>1</sup> Cassegrain Antenna  
<sup>2</sup> Main Reflector  
<sup>3</sup> Subreflector  
<sup>4</sup> Cassini  
<sup>5</sup> Horn  
<sup>6</sup> H-Plane and E-Plane  
<sup>7</sup> Cross polarization  
<sup>8</sup> Conical Corrugated Horn  
<sup>9</sup> Hybrid mode  
<sup>10</sup> Design Factor  
<sup>11</sup> Eccentricity  
<sup>12</sup> Antenna Magnification  
<sup>13</sup> Equiphase  
<sup>14</sup> Spill over  
<sup>15</sup> Taper