

طراحی آنتن رفلکتور دوگانه شکل داده شده با استفاده از روش بهینه

سازی کمین بیش

سلماسادات میرهادی^۱ ایمان آریانیان^۲ علی حسنی^۳

۱- استادیار- دانشکده فنی و حرفه ای شریعتی- دانشگاه فنی و حرفه ای- تهران- ایران

s.mirhadi@shariaty.ac.ir

۲- استادیار- مرکز تحقیقات مخابرات ایران، تهران- ایران

Aryanian@itrc.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران، ایران

Ali.hasani@ut.ac.ir

چکیده: در این مقاله، روش بهینه سازی کمین بیش^۱ به منظور طراحی آنتن رفلکتور دوگانه شکل داده شده برای کاربرد در ماهواره مدار زمین ثابت^۲ پیشنهاد شده است. بدین منظور اختلال بر روی سطح رفلکتور با بسطی از توابع بی اسپلاین^۳ در نظر گرفته شده است و ضرایب بسط با استفاده از روش بهینه سازی کمین بیش به دست آمده است. در مقایسه با روشهای دیگر بهینه سازی که مبتنی بر الگوریتمهای تکاملی هستند و طراحی آنتن را بسیار طولانی می کنند، این روش مبتنی بر گرادیان است و به طور چشم-گیری افزایش سرعت طراحی آنتن را در پی دارد. در روش بهینه سازی کمین بیش نیاز است که مشتقهای تابع شایستگی بهینه سازی نسبت به متغیرهای مسئله محاسبه شود. از این رو، در این مقاله مشتق میدانهای محاسبه شده به روش نور فیزیکی نسبت به متغیرهای سطح رفلکتور به صورت تحلیلی محاسبه شده است. مقایسه نتایج شبیه سازی و زمان اجرای دو روش کمین بیش با الگوریتم ژنتیک نشان از کارایی بالا و سرعت روش کمین بیش دارد.

واژه های کلیدی: آنتن رفلکتور دوگانه، پترن شکل داده شده، روش بهینه سازی کمین بیش، روش نور فیزیکی، الگوریتم ژنتیک.

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.29252/jiaeee.18.3.993

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۱

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۰۶

نام نویسنده ی مسئول: سلماسادات میرهادی

نشانی نویسنده ی مسئول: ایران، تهران، بزرگراه شهید تندگویان، میدان بهمن، خیابان میثاق جنوبی، خیابان ۶۱ شرقی، دانشکده فنی و حرفه ای

دکتر شریعتی

۱- مقدمه

آنتن‌های رفلکتور شکل داده شده برای استفاده در ماهواره در مدار زمین ثابت و به منظور پوشش‌دهی یک منطقه‌ی جغرافیایی خاص بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱-۱۰]. در این میان آنتن‌های رفلکتور دوگانه به دلیل کاهش تلفات سرریز، افزایش بازده، کاهش پلاریزاسیون متعامد و کاهش وابستگی مشخصات تشعشعی به جای دهی تغذیه اهمیت خاصی دارد [۲،۷]. برای طراحی اینگونه آنتن با اهداف ذکر شده، سطح رفلکتور اصلی را ترکیبی از یک سطح پایه (سهمی‌گون) و یک سطح اختلال در نظر می‌گیرند. سطح اختلال به صورت بسطی از توابع متعامد (توابع زرنیک و یا اسپلین) با ضرایب مجهول است که با استفاده از بهینه‌سازی ضرایب بسط برای رسیدن به اهداف طراحی تعیین می‌شود [۳-۵، ۱۵-۳]. تابع بهینه‌سازی این مسئله غیرخطی است و روش‌های بهینه‌سازی مورد استفاده عمدتاً روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های تکاملی هستند. در مراجع [۶] تا [۱۱] از روش الگوریتم ژنتیک برای طراحی آنتن رفلکتور شکل داده شده استفاده شده است. در مرجع [۸] از روش الگوریتم ژنتیک چند هدفه^۴ برای طراحی یک آنتن رفلکتوری شکل داده شده با قابلیت پیکربندی مجدد استفاده شده است. روش ازدحام ذرات^۵ و علف هرز مزاحم^۶ در طراحی یک آنتن رفلکتوری با پترن شکل داده شده در مرجع [۱۲] پیشنهاد شده است. همه‌ی روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های تکاملی روند طراحی و زمان اجرای طولانی دارند [۱۲-۶]. یک روش تکاملی دیفرانسیلی به منظور بهبود عملکرد روش‌های تکاملی در مرجع [۱۳] پیشنهاد شده است اما در این مرجع هیچگونه مقایسه‌ای میان روش پیشنهاد شده با روش‌های تکاملی صورت نگرفته است. همچنین تلاشی نیز برای حل این مسئله با روش تندترین شیب^۷ صورت گرفته که در صورت افزایش قطر رفلکتور نیاز به حافظه‌ی بالایی دارد [۱۶].

در این مقاله روش بهینه‌سازی کمین بیش برای طراحی اینگونه آنتن‌ها پیشنهاد شده است. روش کمین بیش از دسته روش‌های مبتنی بر گرادیان است، از این رو در این روش نیاز به محاسبه‌ی مشتق میدان‌های ناحیه دور و نزدیک نسبت به متغیرهای مسئله (ضرایب بسط سطح اختلال) است. در این مقاله به صورت تحلیلی مشتق‌های مورد نیاز این روش محاسبه شده است که کلید اصلی افزایش سرعت طراحی توسط این روش نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی است. دو آنتن رفلکتور دوگانه با استفاده از این روش برای پوشش دهی کشور هند طراحی و شکل دهی شده‌اند و نشان داده شده است که این روش به سرعت به جواب مطلوب همگرا می‌شود. علاوه بر موارد ذکر شده، در این مقاله جزئیاتی در مورد تحلیل دقیق آنتن‌های رفلکتوری با روش نورفیزیکی بیان شده است که در مراجع موجود کمتر به آن پرداخته شده است.

۲- هندسه‌ی آنتن رفلکتوری دوگانه به همراه

اختلال بر روی سطح رفلکتور اصلی

در آنتن رفلکتور دوگانه، رفلکتور اصلی یک سهمی‌گون است و رفلکتور فرعی در حالت کسگرین^۸ یک هذلولی‌گون و در حالت گرگورین^۹ یک بیضی‌گون است. اگر آنتن رفلکتور دوگانه تقارن محوری داشته باشد تعداد پارامترهای هندسی برای توصیف ساختار ۸ تاست که ۴ پارامتر از هم مستقل هستند [۱۷]. اگر بخواهیم شرط حداقل انسداد توسط فید را هم در نظر بگیریم با انتخاب قطر و فاصله‌ی کانونی رفلکتور اصلی و همچنین خروج از مرکز و فاصله‌ی کانونی رفلکتور فرعی ساختار آنتن دوگانه مشخص می‌شود [۱۸].

اگر آنتن آفست دار باشد تعداد پارامترهای هندسی برای توصیف ساختار ۲۱ تاست که با انتخاب ۵ تا از آنها، مابقی از روی روابط هندسی به دست‌آید. سناریوهای مختلف طراحی آنتن رفلکتور در مراجع [۱۹] آورده شده است. در این مقاله همچنین با توجه به شرط عدم انسداد توسط فید و برقراری شرط Mizugutch برای حذف مولفه‌ی متعامد نامطلوب در مرجع [۲۰]، با انتخاب قطر و فاصله‌ی کانونی رفلکتور اصلی، خروج از مرکز و فاصله‌ی کانونی رفلکتور فرعی و همچنین زاویه‌ی بین محور رفلکتور فرعی و محور رفلکتور اصلی ساختار آنتن رفلکتور دوگانه آفست دار به طور کامل مشخص می‌شود. همچنین برای دستیابی به یک پترن مشخص، بر روی سطح رفلکتور اصلی اختلالی با استفاده از توابع بی اسپلین با معادله‌ی زیر در نظر می‌گیریم:

$$z(x, y) = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N \alpha_{ij} B_i(x) B_j(y), \quad (1)$$

که در آن $B_i(x)$ و $B_j(y)$ ، به ترتیب، i -امین و j -امین توابع بی اسپلین از مرتبه‌ی سوم در جهت x و y هستند. ضرایب α_{ij} با استفاده از بهینه‌سازی تعیین می‌شوند.

۳- تحلیل آنتن رفلکتور دوگانه با استفاده از

روش نورفیزیکی

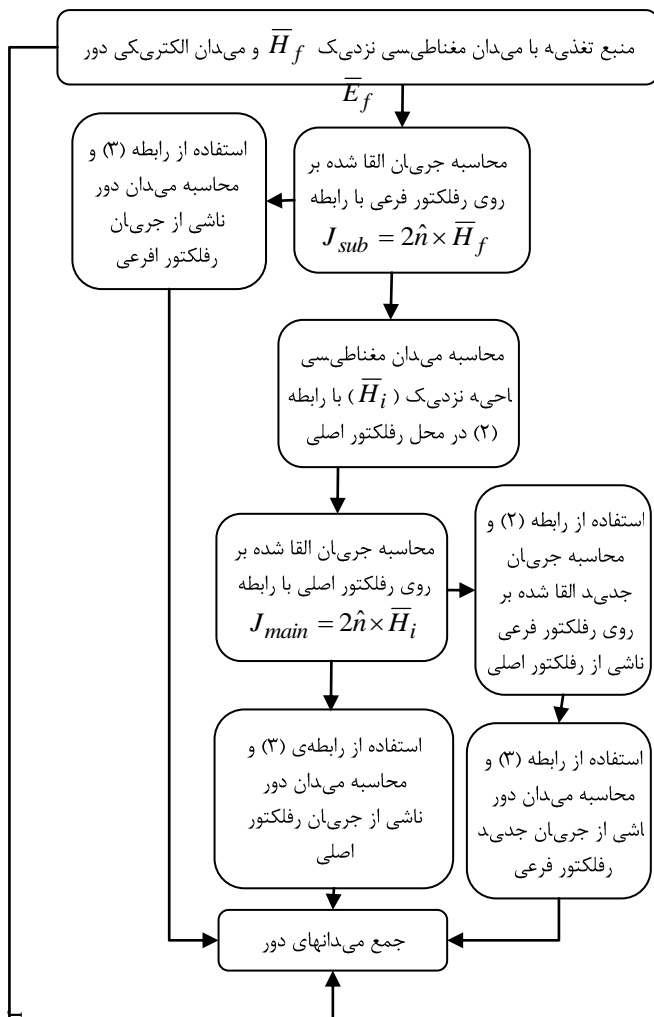
تقریب روش نور فیزیکی برای محاسبه‌ی میدان مغناطیسی در ناحیه‌ی نزدیک توسط یک سطح با جریان سطحی \vec{J} از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\vec{H}(r) = \frac{1}{4\pi} \iint \vec{J} \times \frac{\vec{R}}{R^3} (1 + jkR) e^{-jkR} dS', \quad (2)$$

k عدد موج است و بردار فاصله برابر است با $\vec{R} = \vec{R}' - \vec{R}$ و $R = |\vec{R} - \vec{R}'|$. همچنین میدان الکتریکی تولید شده در ناحیه‌ی دور با روش نور فیزیکی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\vec{E}(r) = -\frac{j\eta k}{4\pi} \iint (\vec{J} - (\vec{J} \cdot \hat{r})\hat{r}) \times e^{jk\vec{r} \cdot \hat{r}} dS', \quad (3)$$

بایست تابع باقی‌مانده را به ازای هر ایستگاه به صورت زیر محاسبه نماییم:



شکل (۱): فلوچارت نحوه تحلیل آنتن رفلکتور دوگانه با روش نور فیزیکی

$$r_i(\alpha) = w_i \frac{(g_i - f_i(\alpha))}{g_i}, i = 1, \dots, N_s \quad (4)$$

که w_i وزن در نظر گرفته شده برای هر ایستگاه است. α نیز متغیرهای بهینه سازی است که همان ضرایب بسط در رابطه‌ی (۱) است. سپس مسئله‌ی کمین بیش به صورت زیر تعریف می‌شود [21]:

$$\text{minimize } \max_i r_i(\alpha) \quad (5)$$

برای حل مسئله‌ی کمین بیش (۵)، تابع جدیدی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$y = \max_i r_i(\alpha) \quad (6)$$

هدف مسئله مینیمم کردن تابع y است که از روش ناحیه اعتماد^{۱۰} استفاده می‌شود. در این روش همانند روش نیوتن ابتدا یک تقریب

به منظور تحلیل رفلکتور دوگانه، از رابطه‌ی (۲) و (۳) به صورت متوالی برای رفلکتور اصلی و فرعی استفاده می‌شود. این روند در فلوچارت شکل (۱) نشان داده شده است و شامل گامهای زیر است:

۱- ابتدا جریان تولید شده توسط منبع تغذیه در محل رفلکتور فرعی با رابطه‌ی $\bar{J}_{sub} = 2\hat{n} \times \bar{H}_f$ محاسبه می‌شود که \bar{H}_f میدان مغناطیسی منبع تغذیه است و \hat{n} بردار عمود بر سطح رفلکتور فرعی است. به دلیل اینکه رفلکتور فرعی در میدان نزدیک منبع تغذیه، که غالباً آنتن هورن می‌باشد، قرار گرفته است، لذا برای تقریب درست، از مدل منبع گوسی میدان نزدیک استفاده می‌شود.

۲- میدان نزدیک مغناطیسی تولید شده توسط رفلکتور فرعی با رابطه‌ی (۲) و جریان گام (۱) محاسبه می‌شود.

۳- جریان القا شده در رفلکتور اصلی توسط رفلکتور فرعی از رابطه‌ی $\bar{J}_{main} = 2\hat{n} \times \bar{H}_i$ محاسبه می‌شود که \bar{H}_i از گام دوم و در محل رفلکتور اصلی به دست آمده است. در اینجا \hat{n} بردار عمود بر سطح رفلکتور اصلی است.

۴- میدان دور کل مجموع میدان دور تولید شده توسط رفلکتور اصلی و فرعی با رابطه‌ی (۳) و جریانهای مربوطه به دست می‌آید همچنین میدان دور منبع تغذیه نیز به این مجموع اضافه می‌شود.

۵- به منظور لحاظ کردن اثر متقابل دو رفلکتور می‌بایست جریان القا شده توسط رفلکتور اصلی در محل رفلکتور فرعی نیز محاسبه شود. از این رو ابتدا توسط رابطه‌ی (۲) میدان مغناطیسی نزدیک رفلکتور اصلی با جریان موجود در این رفلکتور که همان جریان گام سوم است به دست می‌آید. این میدان مغناطیسی در محل رفلکتور فرعی محاسبه شده و جریان جدیدی بر روی آن ایجاد می‌کند.

۶- میدان الکتریکی دور تولید شده توسط جریان القا شده جدید بر روی رفلکتور فرعی از رابطه‌ی (۳) محاسبه شده و به مجموع میدانهای دور گام ۴ اضافه می‌شود.

برای تقریب دقیق‌تر بهتر است که گام ۲ تا ۶، الی ۳ مرتبه تکرار شود. در این مقاله به یکبار تکرار بسنده شده است.

۴- روش کمین بیش

به منظور طراحی آنتن رفلکتور شکل داده شده برای پوشش یک منطقه جغرافیایی خاص، ابتدا تعدادی نقطه در داخل منطقه جغرافیایی به منظور سنجش عملکرد آنتن انتخاب می‌کنیم. این نقاط را تحت عنوان ایستگاه می‌نامیم. بهره‌ی آنتن در هر ایستگاه را با f_i نشان داده که $i = 1, 2, \dots, N_s$ و N_s تعداد کل ایستگاههای انتخابی در محدوده مورد نظر است. بهره‌ی مطلوب را نیز در هر ایستگاه با g_i نشان می‌دهیم. به منظور پیاده سازی روش کمین بیش ابتدا می-

$$\frac{\partial E_p}{\partial \alpha_l} = -\frac{j\eta k}{2\pi} \iint \left(\frac{\partial \bar{N}}{\partial \alpha_l} + jk \cos \theta \frac{\partial Z'}{\partial \alpha_l} \bar{N} \right) (\bar{H}_i \times \hat{p}) e^{jk\vec{r} \cdot \hat{p}} d_{s'} d_{s''} \quad (11)$$

که $p = \theta, \varphi$ است. $(l = 0, \dots, (M+1)(N+1))$ با استفاده از رابطه‌ی (۱) بر حسب توابع بی اسپلاین به دست می‌آید. همچنین \bar{N} بردار عمود بر سطح رفلکتور اصلی است که مشتق آن بر حسب ضرایب $\left(\frac{\partial \bar{N}}{\partial \alpha_l} \right)$ نیز با استفاده از تعریف بردار عمود بر سطح به دست می‌آید.

۲-۴- محاسبه‌ی مشتق میدان نزدیک

به منظور بررسی اثر دوم، می‌بایست مشتق میدان دور ناشی از جریان القا شده بر روی رفلکتور فرعی توسط رفلکتور اصلی نسبت به تغییرات سطح رفلکتور اصلی محاسبه شود. با توجه به اینکه سطح رفلکتور فرعی ثابت در نظر گرفته شده است مشتق میدان دور ناشی از رفلکتور فرعی تنها وابسته به مشتق جریان بر روی رفلکتور فرعی است که آن نیز به نوبه‌ی خود وابسته به مشتق میدان مغناطیسی نزدیک رفلکتور اصلی در محل رفلکتور فرعی است. از این رو نیاز است که مشتق میدان مغناطیسی نزدیک تولید شده توسط رفلکتور اصلی در گام پنجم بخش ۳ محاسبه شود. در این بخش نیز فرض می‌شود جریان بر روی رفلکتور اصلی تقریباً ثابت است و در گام سوم بخش ۳ به صورت $\bar{J}_{main} = 2\hat{n} \times \bar{H}_i$ محاسبه شده است. با جایگزینی آن در رابطه‌ی (۲) و استفاده از قانون bac-cab معادله‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\bar{H}(r) = \frac{1}{2\pi} \iint \left(\bar{H}_i (\bar{N} \cdot \bar{R}) - \bar{R} (\bar{N} \cdot \bar{H}_i) \right) f(R) d_{s'} \quad (12)$$

که $f(R) = \frac{1+jkR}{R^3} e^{-jkR}$ است. مشتق رابطه‌ی (۱۲) بر حسب ضرایب سطح به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\partial \bar{H}(r)}{\partial \alpha_l} = \frac{1}{2\pi} \iint \left\{ \bar{H}_i \left(\frac{\partial \bar{N}}{\partial \alpha_l} \cdot \bar{R} + \bar{N} \cdot \frac{\partial \bar{R}}{\partial \alpha_l} \right) - \frac{\partial \bar{R}}{\partial \alpha_l} (\bar{N} \cdot \bar{H}_i) \right. \quad (13)$$

$$\left. - \bar{R} \left(\frac{\partial \bar{N}}{\partial \alpha_l} \cdot \bar{H}_i \right) \right\} f(R) + \left\{ \bar{H}_i (\bar{N} \cdot \bar{R}) - \bar{R} (\bar{N} \cdot \bar{H}_i) \right\} \frac{\partial f(R)}{\partial \alpha_l} \Bigg| d_{s'}$$

که

$$\frac{\partial \bar{R}}{\partial \alpha_l} = -\frac{\partial z'}{\partial \alpha_l} \hat{z} \quad (14)$$

$$\frac{\partial f(R)}{\partial \alpha_l} = \left\{ -\frac{3}{R^4} - j\frac{3k}{R^3} + \frac{k^2}{R^2} \right\} e^{-jkR} \frac{\partial R}{\partial \alpha_l} \quad (15)$$

$$\frac{\partial R}{\partial \alpha_l} = \frac{(z-z')}{R} \frac{\partial z'}{\partial \alpha_l} \quad (16)$$

خطی از تابع حول یک جواب تخمینی اولیه مانند α^k با این قید که میزان تغییرات جواب $\Delta \alpha \leq \lambda^k$ باشد در نظر گرفته

$$y = \max_i \left\{ r_i^k + J^k \Delta \alpha \right\} \quad (7)$$

که J^k ماتریس گرادیان باقی‌مانده‌ها نسبت به متغیرهای بهینه سازی است و λ^k شعاع ناحیه اعتماد است و به صورتی در مسئله تعیین می‌شود که همگرایی تضمین شود [21]. سپس مسئله به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && y \\ & \text{subject to} && r^k + J^k \Delta \alpha < y \\ & && \Delta \alpha \leq \lambda^k \end{aligned} \quad (8)$$

که با الگوریتمهای خطی موجود قابل حل است. همانگونه که از رابطه-ی (۸) مشخص است می‌بایست گرادیان باقی‌مانده‌ها از رابطه‌ی (۴) نسبت به متغیرهای بهینه سازی (α) محاسبه شود. از آنجایی که در رابطه‌ی (۴) تنها f_i وابسته به α است در واقع باید گرادیان بهره هر ایستگاه نسبت به متغیرها محاسبه شود.

در بهینه سازی آنتن رفلکتور دوگانه اختلال را تنها بر روی رفلکتور اصلی در نظر می‌گیریم. بر اساس فلوجارت شکل ۱ می‌توان نتیجه گرفت که وجود اختلال بر روی رفلکتور اصلی دو اثر بر روی بهره‌ی آنتن رفلکتور دوگانه دارد. اولین اثر آن اثر مستقیمی است که تغییرات سطح رفلکتور اصلی بر میدان راه دور ایجاد می‌کند در این حالت باید مشتق میدان راه دور آنتن را نسبت به ضرایب سطح حساب کرد. اثر دوم به صورت غیر مستقیم است و بدینگونه است که تغییرات بر روی سطح رفلکتور اصلی باعث تغییر در میدان نزدیک آن نیز شده که آن نیز به نوبه‌ی خود جریانی را که رفلکتور اصلی بر روی رفلکتور فرعی ایجاد می‌کند دچار تغییر می‌کند. این تغییر جریان بر روی رفلکتور فرعی باعث تغییر در میدان دور ایجاد شده توسط رفلکتور فرعی می‌شود.

۱-۴- محاسبه‌ی مشتق میدان دور

به منظور بررسی اثر اول و محاسبه‌ی مشتق میدان دور ناشی از رفلکتور اصلی، جریان گام سوم تحلیل رفلکتور در بخش ۳ را در نظر می‌گیریم. این جریان حاصل میدان مغناطیسی نزدیک رفلکتور فرعی در محل رفلکتور اصلی است. میدان دور به صورت زیر به دست می‌آید:

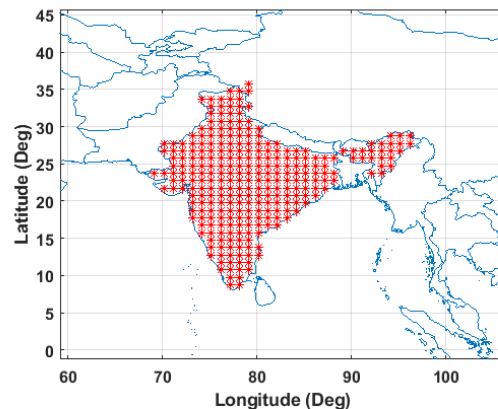
$$E_\theta(r) = -\frac{j\eta k}{2\pi} \iint n (\bar{H}_i \times \hat{\theta}) e^{jk\vec{r} \cdot \hat{p}} d_{s'} \quad (9)$$

$$E_\varphi(r) = -\frac{j\eta k}{2\pi} \iint n (\bar{H}_i \times \hat{\varphi}) e^{jk\vec{r} \cdot \hat{p}} d_{s'} \quad (10)$$

با توجه به اینکه بازه‌ی تغییرات سطح زیاد نیست با تقریب خوبی می‌توان گفت که جریان بر روی رفلکتور اصلی تقریباً ثابت است و مشتق روابط (۹) و (۱۰) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

۵- نتایج طراحی به منظور پوشش دهی کشور هند

به منظور بررسی صحت روابط به دست آمده، پوشش دهی کشور هند توسط ماهواره که در مدار زمین ثابت و 34° شرقی واقع شده است در نظر گرفته شده است. تعداد ایستگاههای مورد بررسی در این کشور با تفکیک پذیری یک درجه برابر ۲۷۷ است که در شکل (۲) نشان داده شده است.



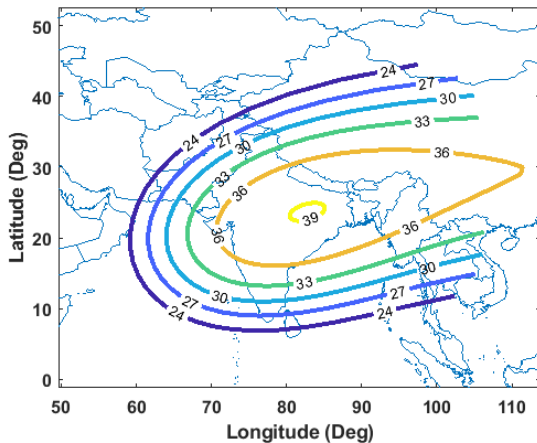
شکل (۲): ایستگاههای در نظر گرفته شده در داخل کشور هند

بهره‌ی مطلوب برای هر ایستگاه (g_i) برابر ۳۳ dB و وزن هر ایستگاه (w_i) نیز یک در نظر گرفته شده است. همچنین فرکانس طراحی ۱۰ GHz است.

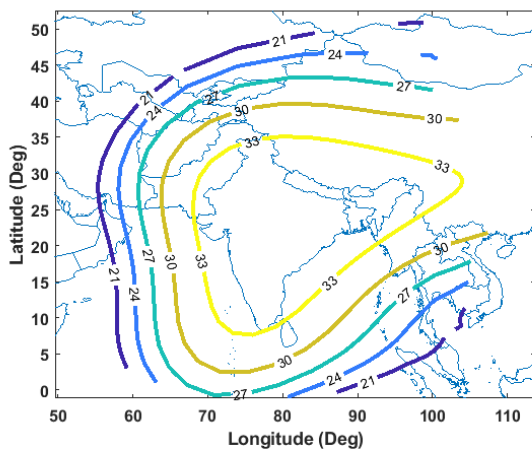
۵-۱- طراحی آنتن رفلکتور دوگانه با تقارن محوری

در این بخش سطح آنتن رفلکتور دوگانه کسگرین با تقارن محوری را شکل دهی می‌کنیم. قطر رفلکتور اصلی و فاصله‌ی کانونی آن برابر ۱ m و فاصله‌ی کانونی رفلکتور فرعی ۰٫۲۵ m و خروج از مرکز آن برابر ۳ لحاظ شده است. پترن این رفلکتور بر روی زمین در شکل (۳) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود هدف طراحی که رسیدن به ماکزیمم بهره ۳۳ dB بر روی کشور هند است محقق نشده است و در کشورهای همسایه نیز این آنتن ماهواره بهره بالایی دارد لذا باید بهینه سازی صورت گیرد. به منظور بهینه سازی تعداد توابع پایه در رابطه‌ی (۱) برابر با $M=N=11$ در نظر گرفته شده است. پترن بهینه شده در شکل (۴) نشان داده شده است و واضح است که هدف طراحی که دستیابی به بهره‌ی ۳۳ dB در داخل کشور هند بود فراهم شده است.

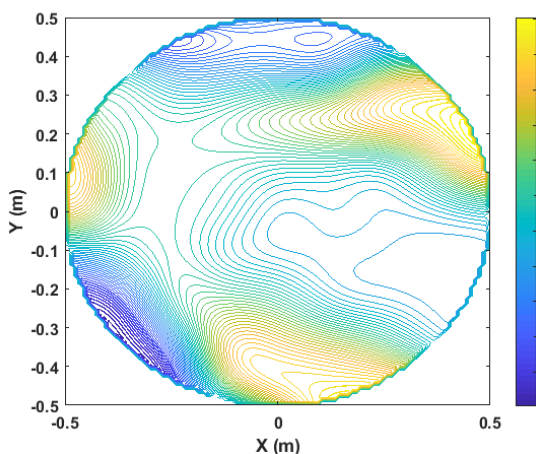
اختلال به دست آمده بر روی سطح رفلکتور اصلی نیز در شکل (۵) نشان داده شده است. نواربازار رنگی در کنار شکل (۵) میزان تغییرات سطح را نشان می‌دهد که کمتر از ۰٫۳۸ به دست آمده است



شکل (۳): پترن آنتن رفلکتور دوگانه کسگرین با تقارن محوری و بدون شکل دهی بر روی زمین



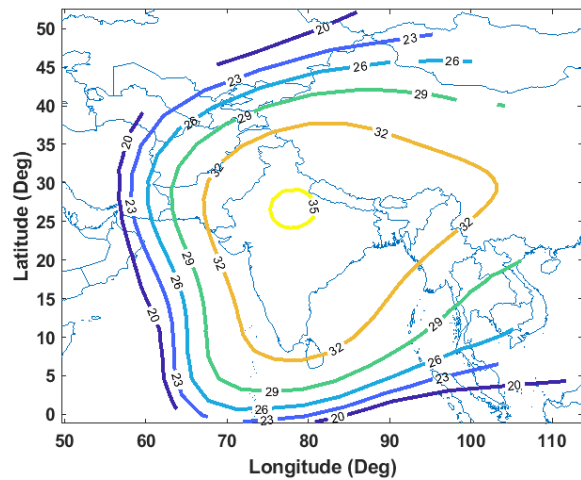
شکل (۴): پترن آنتن رفلکتور دوگانه کسگرین با تقارن محوری و شکل داده شده بر روی زمین



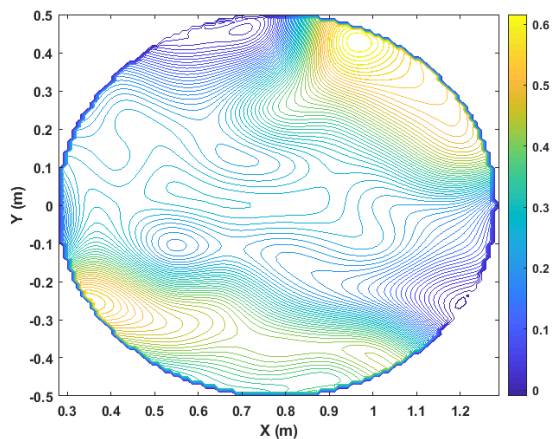
شکل (۵): اختلال ایجاد شده بر روی سطح رفلکتور اصلی بعد از بهینه سازی، این اختلال نسبت به طول موج رسم شده است. تغییرات سطح رفلکتور از -0.38 تا $+0.38$ به دست آمده است

۲- طراحی آنتن رفلکتور دوگانه‌ی آفست دار

در طراحی بعدی یک آنتن رفلکتور گریگورین آفست دار را در نظر میگیریم. قطر رفلکتور اصلی و فاصله‌ی کانونی آن برابر ۱ m و فاصله‌ی کانونی رفلکتور فرعی ۰.۲۵ m و خروج از مرکز آن برابر ۰.۳ و زاویه‌ی بین محور رفلکتور اصلی و محور رفلکتور فرعی 20° در نظر گرفته شده است. همانند قبل اختلالی جزئی با توابع پایه بی اسپلین با تعداد $M=N=11$ در رابطه‌ی (۱) بر روی رفلکتور اصلی در نظر می‌گیریم. نتیجه‌ی پترن شکل داده شده بر روی زمین در شکل (۶) و اختلال به دست آمده بر روی سطح رفلکتور در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل (۶): پترن آنتن رفلکتور دوگانه گریگورین آفست دار و شکل داده شده بر روی زمین

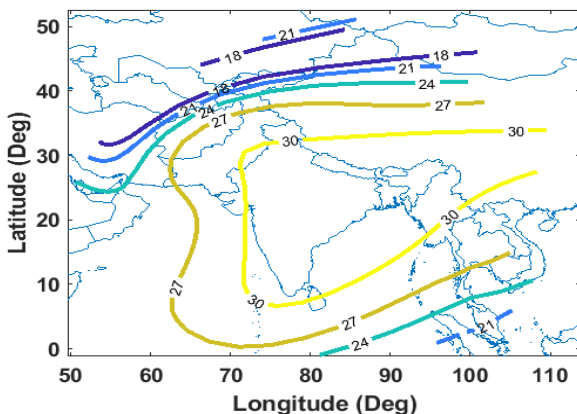


شکل (۷): اختلال بر روی سطح رفلکتور اصلی بعد از بهینه سازی، این اختلال نسبت به طول موج رسم شده است. ماکزیمم تغییرات سطح رفلکتور ۰.۶۸ است

۳- مقایسه‌ی روش بهینه سازی کمین بیش با الگوریتم ژنتیک

به منظور بررسی کارایی و سرعت روش پیشنهاد شده در طراحی آنتن رفلکتور شکل داده شده، طراحی آنتن بخش ۵-۱ با روش الگوریتم ژنتیک نیز انجام شده است. شکل (۸) نتایج پترن شکل داده شده بر روی زمین توسط الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد. دو الگوریتم بهینه سازی با استفاده از نرم افزار متلب کدنویسی شده است و بر روی سیستم با پردازنده‌ی Core i7-2700 K و حافظه‌ی 32 GRAM اجرا شده است. جدول (۱)، دو روش الگوریتم ژنتیک و کمین بیش را در طراحی آنتن رفلکتور دوگانه شکل داده شده مقایسه می‌کند. در روش کمین بیش تابع شایستگی از معادله‌ی (۵) بعد از ۳۰ گام تکرار تقریباً به مقدار صفر می‌رسد. در روش ژنتیک نیز میزان تلورانس متوسط تغییرات نسبی تابع شایستگی در هر تکرار برابر ۰.۰۰۰۱ در نظر گرفته شده است. زمان اجرای برنامه‌ی الگوریتم ژنتیک نسبت به روش بهینه سازی کمین بیش تقریباً ۱۰ برابر طولانی تر است. همچنین میزان تابع شایستگی نهایی با استفاده از روش کمین بیش مطلوبتر است با وجود اینکه دو روش حافظه‌ی تقریباً یکسانی برای اجرا نیاز دارند. در روش ژنتیک می‌توان با کاهش تلورانس، تابع شایستگی نهایی را به صفر رساند و بهره‌ی ۳۳ dB را در همه‌ی نقاط فراهم کرد اما زمان اجرای برنامه بسیار طولانی‌تر از زمان درج شده در جدول ۱ خواهد بود.

در آخر نیز ذکر این نکته ضروری است که بیشترین زمان اجرای برنامه‌ی کمین بیش به محاسبات مربوط به مشتق میدان نزدیک که در بخش ۴-۲ آمده، اختصاص دارد. در طراحی آنتن دوگانه آفست دار به دلیل اینکه رفلکتور اصلی اثر کمتری بر روی رفلکتور فرعی دارد میتوان از تغییرات جریان ناشی از تغییرات سطح رفلکتور اصلی بر روی رفلکتور فرعی صرف نظر نمود و با تقریب بسیار خوبی تنها مشتق میدان دور را در محاسبات در نظر گرفت. از اینرو سرعت اجرای برنامه-ی کمین بیش نسبت به قبل با این تقریب بسیار کاهش می‌یابد.



شکل (۸): پترن آنتن رفلکتور دوگانه‌ی کسگرین با تقارن محوری و شکل داده شده بر روی زمین با استفاده از روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک

Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 26, pp. 445-454, 2015.

- [9] Avila, S. L., Carpes Jr, W. P., Bergmann, J. R., "Satellite Reconfigurable Contour Beam Reflector Antennas by Multi-objective Evolutionary Optimization" Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetics Applications, Vol. 7, No. 2, 2008.
- [10] Avila, S. L., Carpes Jr, W. P., Bergmann, J. R., Krahenbuhl, L., "Conception and Comprehension of the Contour Beam Antenna in a Satellite System by Multi-objective Genetic Algorithm with Sensitivity Analysis", 6th World Congresses of Structural and Multidisciplinary Optimization, Brazil, 2005.
- [11] Vall-Ilossera, M., Rinus, J. M., Duffo, N., Cardama, A., "Design of single-shaped reflector antennas for the synthesis of shaped contour beams using genetic algorithms," Microwave Optical Tech. Lett. Vol. 27, No. 5, pp.358-361, 2000.
- [12] Dastranj, A., Abiri, H., Mallahzadeh, A. "Two-dimensional Synthesis and Optimization of a Broadband Shaped Beam Reflector Antenna Using IWO and PSO Algorithms," International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 129-140, 2015.
- [13] Zhang, T. L., Chen, L., Yan, Z. H., and Li, B., "Design of dual shaped reflector antenna based on DEGL algorithm," J. of Electromagnetic Waves and Appl., Vol.25, pp. 723-732, 2011.
- [14] Haddadi, A., Ghorbani, A., "Distorted Reflector Antennas: Radiation Pattern Sensitivity to the Surface Distortions," AUT Journal of Electrical Engineering, Vo. 50, No. 1, pp. 101-106, 2018.
- [15] A. Haddadi, A. Ghorbani, "Distorted reflector antennas: analysis of radiation pattern and polarization performance," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 64, No.10, pp. 4159-4167, 2016.
- [16] Chou, H. H., "Fast SDM for shaped reflector antenna synthesis via patch decompositions in PO integrals," Progress in electromagnetics research, PIER 92, pp. 361-375, 2009.
- [17] Granet, C., "Designing Axially Symmetric Cassegrain or Gregorian Dual-Reflector Antennas from Combinations of Prescribed Geometric Parameters", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 40, No. 2, pp. 76-82, 1998.
- [18] Granet, C., "Designing Axially Symmetric Cassegrain or Gregorian Dual-Reflector Antennas from Combinations of Prescribed Geometric Parameters, Part 2: Minimum Blockage Condition While Taking into Account the Phase-Center of the Feed", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 40, No.3, pp. 82-87, 1998.
- [19] Granet, C., "Designing Classical Offset Cassegrain or Gregorian Dual-Reflector Antennas from Combinations of Prescribed Geometric Parameters", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 44, No.3, pp. 114-123, 2002.
- [20] Granet, C., "Designing Classical Offset Cassegrain or Gregorian Dual-Reflector Antennas from Combinations of Prescribed Geometric Parameters, Part 2: Feed-Horn Blockage Conditions", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 45, No. 6, pp. 86-89, 2003.
- [21] Madsen, K., "An Algorithm for Minimax Solution of Overdetermined Systems of Non-linear Equations", J. Inst, Maths Applies, Vol. 16, pp. 321-328, 1975.

جدول (۱): مقایسه‌ی دو روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک و کمین

بیش در طراحی آنتن رفلکتور دوگانه شکل داده شده

روش	زمان اجرا	حافظه مورد استفاده	مقدار نهایی تابع شایستگی
کمین بیش	۱۲ دقیقه	1.145 Gbyte	9.97×10^{-6}
الگوریتم ژنتیک	۱۱۶ دقیقه	1.012 Gbyte	۰.۰۵

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، روش بهینه سازی کمین بیش برای طراحی آنتن رفلکتور دوگانه با پترن شکل داده شده به منظور استفاده در ماهواره‌ی GEO پیشنهاد شد. از آنجایی که این روش جز روشهای گرایان مبنا است، مشتقهای تابع بهینه سازی نسبت به متغیرهای بهینه سازی به صورت تحلیلی به دست آمد. مقایسه روش کمین بیش با روش الگوریتم ژنتیک که جز روشهای بهینه سازی تکاملی است نشان می‌دهد که سرعت همگرایی آن بسیار سریعتر بوده و نتایج به دست آمده نیز دقیق تر است.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از حمایت‌های مادی و معنوی مرکز تحقیقات مخابرات ایران کمال سپاسگزاری را دارند.

مراجع

- [1] Landeros, S., Neri, R., Samano, R. "A Tutorial on the Synthesis of Single Shaped Reflectors in C, Ku and Ka Bands", Electromagnetics, Vol. 26, pp.131-154, 2006.
- [2] Bergmann, J. R., Palma Pereira, L. C., "Radiation Pattern Control By Subreflector Shaping in a Dual-Reflector Antenna", Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 35, No.5, pp. 408-412, 2002.
- [3] Duan, D. W., Rahmat-Samii, Y., "A generalized diffraction synthesis technique for high performance reflector antennas," IEEE Transaction Antennas and Propagation, Vol. 43, No. 1, pp. 27-39, 1995.
- [4] Pinsard, B., Renaud, D., Diez, H., "New surface expansion for fast PO synthesis of shaped reflector antennas," 10th Int. Conf. on Antenna and Propag., UK, 1997.
- [5] Ban, Y., Wang, C. S., Feng, S. F., Wang W., Duan, B. Y. "B-spline Surface Fitting and Simplified GO/PO Analysis of Subreflector Correction for Large Cassegrain Antenna Distortion Compensation", Research in Astronomy and Astrophysics, Vol. 18, No. 7, 2018.
- [6] هادی سعیدی منش، طراحی و شبیه سازی آنتن رفلکتور دوگانه شکل داده شده برای کاربرد ماهواره GEO، کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ۱۳۹۱.
- [7] Avila, S.L., Crapes, Jr. Vasconcelos, J.A., "Optimization of an Offset Reflector Antenna Using Genetic Algorithms," IEEE Transactions on Magnetics, Vol.40, No.2, pp. 1256-1259, 2004.
- [8] Park, J. G., Chung, Y.S., Kang, W.J, Shin J. W., So, J. H., Cheon, C., "Optimal Shape Design of Dual Reflector Antenna Based on Genetic Algorithm", Journal of

زیر نویس ها

- ¹ Minimax
- ² Geostationary Satellite
- ³ B-spline
- ⁴ Multiobjective
- ⁵ Particle Swarm Optimization (PSO)
- ⁶ Invasive Weed Optimization (IWO)
- ⁷ Steepest Decent Method
- ⁸ Cassegrain
- ⁹ Gregorian
- ¹⁰ Trust Region method

