

## **The Flat-Topped Pattern Synthesis of the Multi-Feed Reflector Antenna**

**I. Aryanian<sup>\*</sup> , M. H. Amini**

\* Communications Technology (CT) Institute, Iran Telecommunication Research Center, Tehran, Iran

(Received:04/04/2021, Accepted:05/12/2021 )

### **Abstract**

Numerous researches have been performed on the reflector antenna for realizing beam-shaping using level-shaping. However, little study has been done for realizing the shaped beam through the multi-feed approach. The main goal of this paper is to provide a synthesis procedure for realizing the flat-topped pattern in reflector antennas using the multi-feed approach. In this way, based on the genetic algorithm (GA) and utilizing the physical optic (PO) method, the excitation coefficient of the feeding array is synthesized to achieve the desired pattern. Furthermore, in this paper, an efficient method for reducing the computational time of PO integrals is introduced. In this way, the 3D PO integrals are mapped to 2D integrals; which results in about 30% computational time reduction. The proposed procedure is employed to realize a flat-topped pattern in the angular scope of  $-20^\circ$  to  $+20^\circ$  and the radiation characteristics are compared with those presented through the shaped reflector method in the literature. Results show that the multi-feed approach obtains the desired beam more accurately.

**Keywords:** Multi-Feed Reflector Antenna, Flat-Topped Pattern, Physical Optic

## سنتر پرتو مسطح در آنتن بازتابنده چند تغذیه‌ای

ایمان آریانیان<sup>۱\*</sup>، محمدحسین امینی<sup>۲</sup>

۱- استادیار، ۲- پژوهشگر، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، مرکز تحقیقات مخابرات تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۵، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۴)

## چکیده

تحقیقات بسیاری بر روی آنتن‌های بازتابنده با هدف شکل‌دهی پرتو با استفاده از شکل‌دهی سطح انجام گرفته است. با این وجود مطالعات اندکی بر روی رهیافت چند تغذیه‌ای انجام گرفته است. هدف این مقاله تحقق پرتو مسطح در آنتن‌های بازتابنده با استفاده از رهیافت چند تغذیه‌ای است. در این راستا بر پایه الگوریتم ژنتیک و به‌کارگیری روش نور فیزیکی (PO)، ضرایب تحریک عناصر تغذیه آنتن بازتابنده در جهت تحقق پرتو مورد نظر سنتز می‌گردند. در این مقاله همچنین، روشی جهت کاهش زمان محاسبه انتگرال‌های تشعشعی PO پیشنهاد شده است. در روش حاضر انتگرال‌های تشعشعی PO طی نگاشتی به فضای دو بعدی تصویر می‌گردد و در نتیجه زمان محاسبات به میزان ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. روند ارائه شده در جهت تحقق پرتو مسطح در بازه زاویه‌ای ۲۰- تا ۲۰+ مورد استفاده قرار گرفت و خصوصیات پرتو به‌دست آمده با آنچه از طریق روش شکل‌دهی به سطح بازتابنده انجام گرفته، مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که رهیافت چند تغذیه‌ای می‌تواند پرتو مورد نظر را با دقت بهتری حاصل کند.

## کلید واژه‌ها: آنتن بازتابنده چند تغذیه‌ای، پرتو مسطح، نور فیزیکی

## ۱- مقدمه

جهت سنتز پرتو مورد بررسی قرار گرفته‌اند. روش‌های مذکور در جهت حصول پرتو کانتوری ارائه شده است و در مورد بسیاری از پرتوهای شکل داده قابل استفاده نیستند. در سال‌های اخیر استفاده از تکنیک چندتغذیه در راستای حصول پرتو مورد نیاز مرسوم شده است. از تلاش‌هایی که در این زمینه انجام گرفته است، می‌توان به سنتز پرتو مجذور کسکانت اشاره کرد [۱۶]. در این راستا با به‌کارگیری آرایه خطی از عناصر به‌عنوان تغذیه آنتن و تنظیم مناسب ضرایب تغذیه پرتو مورد نظر حاصل می‌شود. یکی از پرتوهای پرکاربرد در مخابرات بی‌سیم، پرتو مسطح است. آنتن‌های بازتابنده پرتو مسطح دارای بهره زیاد در محدوده زاویه‌ای مشخص هستند که کیفیت سیگنال یکسانی را برای مشترکین واقع در ناحیه مدنظر به‌وجود می‌آورد. این آنتن‌ها در کاربردهایی چون مخابرات ماهواره، شبکه‌های محلی بی‌سیم (WIFI) و شناسایی فرکانس رادیویی (RFID) به‌کار گرفته می‌شوند [۱۷، ۱۹]. این مقاله به سنتز پرتو مسطح<sup>۵</sup> در آنتن‌های بازتابنده با رهیافت چندتغذیه می‌پردازد.

مقاله حاضر به این صورت، تدوین شده است: در بخش دوم مختصراً روش نور فیزیکی<sup>۶</sup> (PO) بیان می‌شود. در این مقاله جهت کاهش زمان محاسبات، انتگرال‌های تشعشعی PO طی

آنتن‌های بازتابنده با پرتو شکل داده شده<sup>۱</sup> نقش مهمی در کاربردهای مخابراتی دارند [۳-۱]. در این میان تحقق آنتن بازتابنده با پرتو شکل داده شده توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است [۴-۱۵]. این کار هم از طریق شکل‌دهی به سطح آنتن<sup>۲</sup> [۴، ۹] و هم از رهیافت استفاده از چند تغذیه<sup>۳</sup> امکان‌پذیر است [۱۰، ۱۵]. اگرچه روش اول در کاربردهایی که نیاز به داشتن آنتن با وزن پایین است، انتخاب خوبی می‌باشد، با این وجود روش دوم از نظر سادگی ساختار، سهولت ساخت و داشتن پلاریزاسیون متعام پایین بسیار جذاب است [۱۱] و از این رو، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. بسته به پیچیدگی پرتو و سرعت در انجام تجزیه و تحلیل، روش‌های متفاوتی جهت سنتز آنتن‌های بازتابنده با چند تغذیه ارائه شده است [۱۱، ۱۵].

در [۱۱] با بسط موجک<sup>۴</sup> میدان دور، به سنتز پرتو مورد نظر پرداخته شده است. در [۱۲] روش تبدیل فوریه گسسته جهت سنتز پرتو مورد نظر به‌کار گرفته شده است. روش‌هایی چون همبستگی میدانی [۱۳] و یا صفر تطبیقی [۱۴] و [۱۵] نیز

\* رایانامه نویسنده مسئول: aryanian@itrc.ac.ir

<sup>۱</sup> Shaped-beam antennas<sup>۲</sup> Shaped reflector<sup>۳</sup> Multi-feed approach<sup>۴</sup> Wavelet<sup>۵</sup> Flat-topped pattern<sup>۶</sup> Physical optic

صورت زیر به دست می‌آید [۱۹] و [۲۰]:

$$\mathbf{J} = \frac{2\mathbf{N}}{|\mathbf{N}|} \times \mathbf{H}^{inc} \quad (۱-الف)$$

$$\mathbf{H}^{inc} = \hat{\phi} e^{jk \cdot \mathbf{R}} \quad (۱-ب)$$

$$\mathbf{k} = k(-\cos \varphi_i \sin \theta_i \hat{x} - \sin \varphi_i \sin \theta_i \hat{y} - \cos \theta_i \hat{z}) \quad (۱-ج)$$

$$\mathbf{k} \cdot \mathbf{R} = k(-\cos \varphi_i \sin \theta_i x - \sin \varphi_i \sin \theta_i y - \cos \theta_i z) \quad (۱-د)$$

که  $\varphi_i$  و  $\theta_i$  زوایای موج تابشی به سطح هادی و  $N$  بردار نرمال بر سطح هادی هستند. میدان راه دور از جریان به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\mathbf{E}_{far} = -\frac{j\eta k^2}{4\pi} \iint_S (\mathbf{J} - (\mathbf{J} \cdot \hat{r}) \hat{r}) e^{jk\mathbf{x}' \cdot \hat{r}} ds' \quad (۲)$$

که  $\hat{r}$  جهت موج پراکنده شده از سطح هادی است. در حالت کلی محاسبه انتگرال فوق زمان بر است. جهت کم کردن زمان محاسبات، انتگرال فوق را طی نگاشتی به فضای دوبعدی تصویر می‌کنیم [۲۳]. به این صورت، که اصولاً جریان روی سطحی که  $Z$  آن تابعی از  $x$  و  $y$  است ( $Z = g(x, y)$ ) به دست می‌آید؛ در نتیجه مسئله را می‌توان با تصویر بر صفحه  $xy$  ساده‌تر کرد:

$$\mathbf{E}_{far} = -\frac{j\eta k^2}{4\pi} \iint_{S_{proj}} \frac{1}{|\mathbf{N}|} \{2\mathbf{N} \times \mathbf{H}^{inc} - ((2\mathbf{N} \times \mathbf{H}^{inc}) \cdot \hat{r}) \hat{r}\} e^{jk\mathbf{x}' \cdot \hat{r}} |\mathbf{N}| dx' dy' \quad (۳)$$

که بردار نرمال بر سطح ( $N$ ) و اندازه آن به صورت زیر می‌شود:

$$\mathbf{N} = \left( -\frac{\partial g}{\partial x}, \frac{\partial g}{\partial y}, 1 \right) \quad (۴-الف)$$

$$|\mathbf{N}| = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2 + 1} \quad (۴-ب)$$

که با ساده کردن  $|\mathbf{N}|$  از صورت و مخرج، مسئله به صورت زیر می‌گردد:

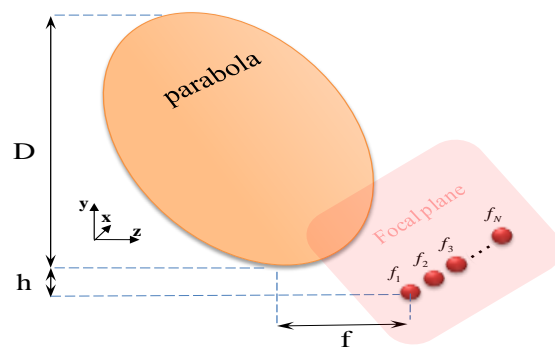
$$\mathbf{E}_{far} = -\frac{j\eta k^2}{4\pi} \iint_{S_{proj}} \mathbf{N} \times \mathbf{H}^{inc} - ((\mathbf{N} \times \mathbf{H}^{inc}) \cdot \hat{r}) \hat{r} \} e^{jk\mathbf{x}' \cdot \hat{r}} dx' dy' \quad (۵)$$

رابطه (۵)، مبنای انجام محاسبات در تحقق پرتو طی بهینه‌سازی خواهد بود. محاسبه عددی انتگرال با استفاده از روش گاوس-لژاندر می‌باشد که در [۲۴] آورده شده است. در ادامه روند بهینه‌سازی بیان می‌گردد.

نگاشتی به فضای دوبعدی تصویر می‌گردد؛ لذا تحلیل در زمان کمتری انجام می‌گیرد. سپس روند سنتز بیان می‌گردد که طی آن با به‌کارگیری روش نور فیزیکی و استفاده از الگوریتم ژنتیک<sup>۱</sup> ضرایب تغذیه جهت حصول پرتو مدنظر سنتز می‌شوند. در بخش سوم با ذکر مثال روند سنتز ارائه شده جهت حصول پرتو مورد نظر به‌کار گرفته می‌شود. نشان داده می‌شود که پرتو حاصل شده با رهیافت چندتغذیه‌ای کیفیت قابل ملاحظه‌ای نسبت به روش شکل‌دهی سطح [۲۰] دارد. نهایتاً در بخش چهارم، مقاله با بیان نتیجه‌گیری به اتمام می‌رسد.

## ۲- سنتز آنتن بازتابنده چندتغذیه‌ای با پرتو مسطح

شکل (۱) آنتن بازتابنده چند تغذیه‌ای را نشان می‌دهد. قطر آنتن  $d$ ، ارتفاع آفست آن  $h$  و کانون آن با  $f$  نشان داده شده است. آرایه تغذیه - که متشکل از آنتن‌های بوقی<sup>۲</sup> می‌باشد- در صفحه کانون آنتن واقع است و در حالت کلی با داشتن  $N$  تغذیه، دامنه و فاز تحریک عناصر  $\psi_n$  و  $A_n$  ( $n=1, \dots, N$ ) فرض می‌شود. با فرض معلوم بودن آرایه تغذیه، دامنه و فاز عناصر جهت حصول پرتو مطلوب بهینه می‌شود. در این بخش ابتدا روش نور فیزیکی (PO) به‌کار رفته در این مقاله جهت تحلیل آنتن بازتابنده بیان می‌شود. سپس روند بهینه‌سازی جهت یافتن دامنه و فاز عناصر تغذیه عنوان می‌گردد. لازم به ذکر است که تئوری ارائه شده برای حالتی که تزویج متقابل بین تغذیه‌ها کم باشد، قابل اعمال است.



شکل (۱): آنتن بازتابنده چندتغذیه‌ای جهت حصول پرتو مطلوب

### ۲-۱- روش PO

روش نور فیزیکی از جمله روش‌های مجانبی پرکاربرد برای تحلیل مسائل پراکنده‌گی از ساختارهای بزرگ است. طبق این روش، جریان PO بر روی سطح هادی برای پلاریزاسیون افقی به

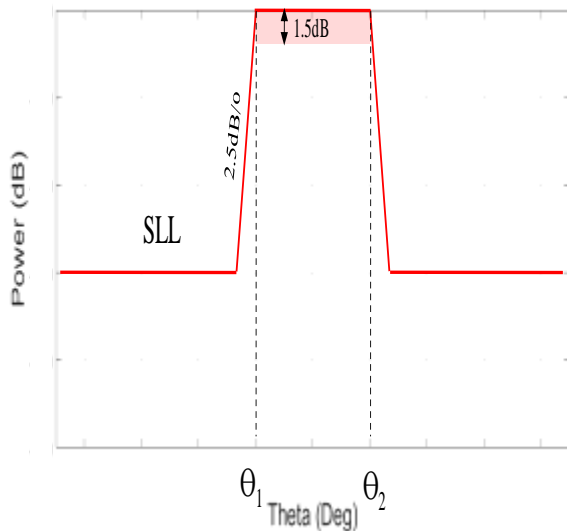
<sup>1</sup> Genetic algorithm

<sup>2</sup> Horn

متغیرهای بهینه‌سازی را به صورت ماتریس زیر تعریف می‌کنیم:

$$X = [A_1, A_2, \dots, A_N, \psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N] \quad (12)$$

تعریف تابع هزینه مطابق با شکل (۲) صورت می‌گیرد. پرتو هدف به سه ناحیه تقسیم می‌شود. برای هر ناحیه مرز منحصر به فرد آن تعریف می‌شود و زمانی که توان نقاط واقع در آن ناحیه، مرز تعیین شده را اقلان کند خطای مربوط به آن ناحیه - که اختلاف مقدار توان حاصل شده با مقدار مورد نظر است - صفر می‌گردد؛ ناحیه (۱)، ناحیه زاویه‌ای مسطح بین زوایای  $\theta_1$  و  $\theta_2$  با تغییرات مجاز  $1/5$  dB است. ناحیه دوم، ناحیه‌ای است که سطح گلبرگ‌های کناری را مشخص می‌کند که بایستی کمتر از حد تعریف شده‌ی SLL باشد. ناحیه سوم، ناحیه گذار از ناحیه اول به ناحیه دوم است که طبق شکل ناحیه‌ای با شیب  $2/5$  dB است.



شکل (۲): مرزهای مطلوب پرتو مسطح

تابع هزینه به صورت مجموع خطا در نواحی مذکور تعریف می‌شود:

$$F(X) = \sum_{i=1}^3 \Delta_{Ri} \quad (13)$$

ماتریس (۱۲) با استفاده از الگوریتم‌های جستجوی هدایت شده تصادفی<sup>۲</sup> چون بهینه‌سازی گروه ذرات<sup>۳</sup> [۲۵] و یا الگوریتم قدرتمند ژنتیک<sup>۴</sup> [۲۶، ۲۷] جهت رسیدن به پرتو مطلوب بهینه می‌گردد. در بخش بعد با ذکر مثالی سنتر پرتو مسطح بیان می‌شود.

## ۲-۲- سنتر پرتو مسطح

مطابق شکل (۱) چنانچه  $N$  تغذیه و  $M$  نمونه از ناحیه مطلوب داشته باشیم، میدان حاصل از تغذیه  $n$  ام در نقطه  $m$  ام را به صورت  $E_n^m = E_{p,n}^m + E_{q,n}^m$  می‌توان نوشت که در آن  $E_{p,n}^m$  و  $E_{q,n}^m$  به ترتیب مولفه‌های هم‌راستا و متعامد ناشی از تغذیه  $n$  ام در نقطه  $m$  ام است و داریم:

$$E_{p,n}^m = \cos \phi \bar{E}_{\theta,n}^m + \sin \phi \bar{E}_{\phi,n}^m \quad (6-الف)$$

$$E_{q,n}^m = \sin \phi \bar{E}_{\theta,n}^m + \cos \phi \bar{E}_{\phi,n}^m \quad (7-ب)$$

میدان‌های  $\bar{E}_{\phi,n}^m$  و  $\bar{E}_{\theta,n}^m$  هر کدام دارای دامنه  $\delta$  و فاز  $\varphi$  هستند. به عبارتی:

$$\bar{E}_{\theta,n}^m = \alpha_{\theta,n}^m e^{j\varphi_{\theta,n}^m} \quad (7-الف)$$

$$\bar{E}_{\phi,n}^m = \alpha_{\phi,n}^m e^{j\varphi_{\phi,n}^m} \quad (7-ب)$$

حال چنانچه دامنه و فاز تغذیه  $n$  ام به صورت  $A_n e^{j\psi_n}$  در نظر گرفته شود، آنگاه:

$$\bar{E}_{\theta,n}^m = A_n \alpha_{\theta,n}^m e^{j(\varphi_{\theta,n}^m + \psi_n)} \quad (8-الف)$$

$$\bar{E}_{\phi,n}^m = A_n \alpha_{\phi,n}^m e^{j(\varphi_{\phi,n}^m + \psi_n)} \quad (8-ب)$$

و میدان کل در نمونه  $m$  ام به صورت زیر به دست می‌آید:

$$|E^m|^2 = |E_p^m|^2 + |E_q^m|^2 \quad (9)$$

که در آن:

$$E_p^m = \sum_{n=1}^N E_{p,n}^m \quad (10-الف)$$

$$E_q^m = \sum_{n=1}^N E_{q,n}^m \quad (10-ب)$$

کمیت مورد قیاس در بهینه‌سازی به صورت زیر است:

$$P_m = 10 \log |E_m|^2 \quad (11)$$

$P_m$  تابعی است که در راستای رسیدن به مقدار مطلوب - تحت تعریف تابع هزینه<sup>۱</sup> - بهینه‌سازی می‌شود. در حالت کلی

<sup>۲</sup> Random-guided search algorithm

<sup>۳</sup> Particle swarm optimization

<sup>۴</sup> Genetic algorithm

<sup>۱</sup> Cost function

## ۳- نتایج و بحث

در شکل (۳) پرتو حاصل شده در نسل اول، پنجاهم و صدم آورده شده است. لازم به ذکر است که در نسل صدم همگرایی حاصل شده است. روند همگرایی در شکل (۴) نشان داده شده است. زمان انجام بهینه‌سازی که با استفاده از رایانه‌ای با پردازنده Corei5 @ 3.1GHz انجام گرفته، برابر ۱۹ ثانیه است. لازم به ذکر است که این زمان برای تحلیل به روش PO مرسوم برابر ۲۷ ثانیه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پرتو هدف به خوبی سنتز شده است. تغییرات در ناحیه شکل داده شده کمتر از ۱/۵dB است. مقادیر نهایی دامنه و فاز عناصر در شکل (۵) آورده شده است. حال به بررسی صحت روند ارائه شده می‌پردازیم. در این راستا آنتن با ضرائب تغذیه به دست آمده در شکل (۵) توسط نرم‌افزار FEKO شبیه‌سازی می‌شود و پرتو حاصل با پرتو سنتز شده مورد مقایسه قرار می‌گیرد. تغذیه‌ای که در شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل (۶-آ) نشان داده شده است. ابعاد تغذیه نیز در جدول (۳) آورده شده است. در شکل (۶-ب) پرتو شبیه‌سازی شده برای تغذیه به همراه پرتو در نظر گرفته شده در تحلیل نشان داده شده است. بر پایه تغذیه ذکر شده، آنتن با ضرائب تغذیه به دست آمده مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد. نتایج در شکل (۶-ج) آورده شده است. همان‌طور که از شکل واضح است، پرتو حاصل از شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار FEKO با پرتو به دست آمده در تطابق است که این موضوع صحت روند سنتز را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که مطابق نتایج به دست آمده، بهره آنتن ۲۲٫۷ dB است. همچنین پهنای پرتو آنتن در صفحه  $\phi=0$ ،  $\phi=42$  درجه و در صفحه  $\phi=90$ ،  $\phi=4$  درجه می‌باشد.

جدول (۳): مقایسه مشخصات تشعشی پرتو سنتز شده با

مطالعات پیشین

شیب نزول dB/°	تغییرات در ناحیه شکل داده شده	کمیت / مرجع
۱/۸	< ۲/۱ dB	[۱۷]
۱	< ۳ dB	[۱۸]
۲	< ۲dB	[۱۹]
۱/۳۵	< ۲/۵ dB	[۲۰]
۲/۳۲	< ۱/۵ dB	مقاله حاضر

براساس روند ارائه شده در بخش قبل، هدف ما این است که آنتن بازتابنده با پرتو مسطح در بازه ۲۰- تا ۲۰+ درجه طراحی کنیم. مطابق شکل (۲)،  $\Theta_2 = -\Theta_1 = 20$  و مقدار SLL نیز برابر ۲۰dB- تعریف می‌شود. قطر بازتابنده برابر ۱۶λ در نظر گرفته شده است. برای کانون و ارتفاع آنتن نیز مقادیر ۱۴λ و ۲λ انتخاب می‌گردد. در فرکانس طراحی ۱۰ گیگاهرتز، مؤلفه‌های طراحی در جدول (۱) آورده شده است. همچنین آنتن‌های تغذیه، آنتن بوقی با قطر ۱/۶λ انتخاب می‌شود. الگوی تشعشی آنتن‌های تغذیه بصورت  $\cos^5(\Theta)$  در نظر گرفته شده است. جهت سنتز پرتو مذکور، تعداد ۷ تغذیه انتخاب می‌گردد. گام بعدی، تعیین دامنه و فاز عناصر تغذیه است. مطابق نتایج شبیه‌سازی، ایزولاسیون بین تغذیه‌ها بیش از ۲۵dB است؛ از این‌رو، تئوری ارائه شده با دقت خوبی قابل اعمال است. جهت انجام بهینه‌سازی، با استفاده از روش PO ذکر شده در بخش قبل بردار میدان الکتریکی در تمامی نمونه‌ها محاسبه می‌گردد. این کار برای تمامی عناصر تغذیه انجام می‌شود و نتایج در فایلی ذخیره می‌گردد. به عبارتی فایل حاصل شامل بردار  $E_n^m$  برای  $n=1,2,\dots,N$  و  $m=1,2,\dots,M$  است. اکنون فرایند بهینه‌سازی قابل انجام است. در این مقاله از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی استفاده شده است. با در نظر گرفتن کروموزوم تعریف شده در (۱۲)- که در آن  $N=7$  است توان بهنجار شده<sup>۴</sup> براساس رابطه (۱۱) محاسبه شده و متعاقباً تابع هزینه ارزیابی می‌شود. این فرایند مادامی که خطای از پیش تعیین شده<sup>۵</sup> ۱e-۶ حاصل شود ادامه می‌یابد. تنظیمات الگوریتم در جدول (۳) آورده شده است.

جدول (۱): مؤلفه‌های هندسی آنتن بازتابنده

h (cm)	f (cm)	D (cm)
۶	۴۲	۴۸

جدول (۲): تنظیمات الگوریتم ژنتیک پیاده‌سازی شده جهت سنتز پرتو مسطح.

تعداد نسل <sup>۱</sup>	اندازه جمعیت <sup>۲</sup>	حد هزینه <sup>۳</sup>	دقت تکرار <sup>۴</sup>
۵۰۰	۱۰۰	۱e-۶	۱e-۶

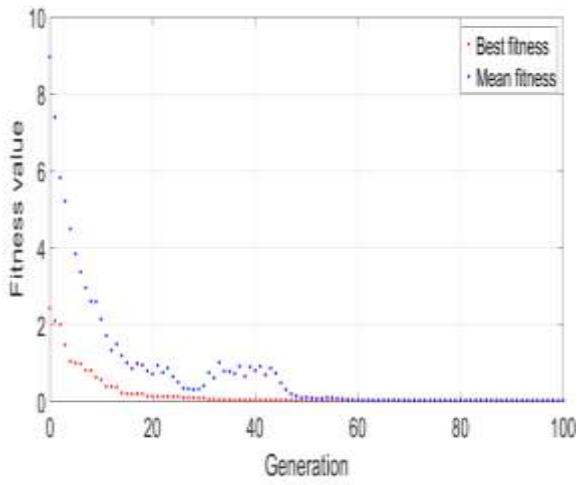
<sup>۱</sup> Generation

<sup>۲</sup> Population size

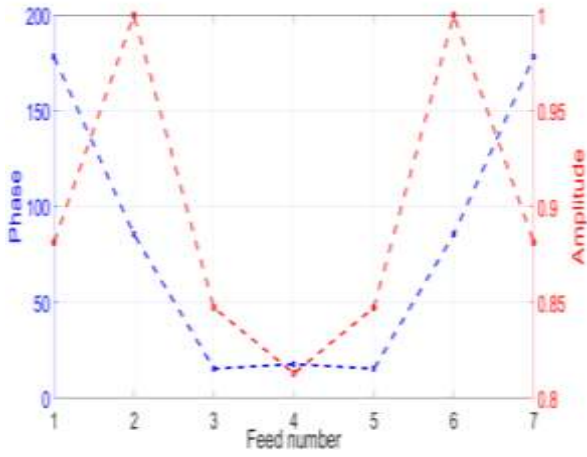
<sup>۳</sup> Fitness limit

<sup>۴</sup> Tolerance function

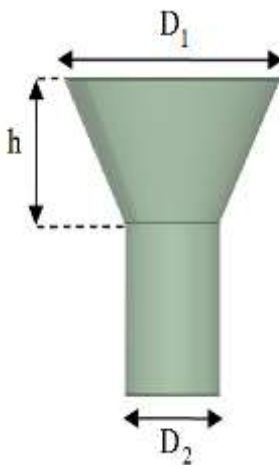
<sup>۵</sup> Normalized



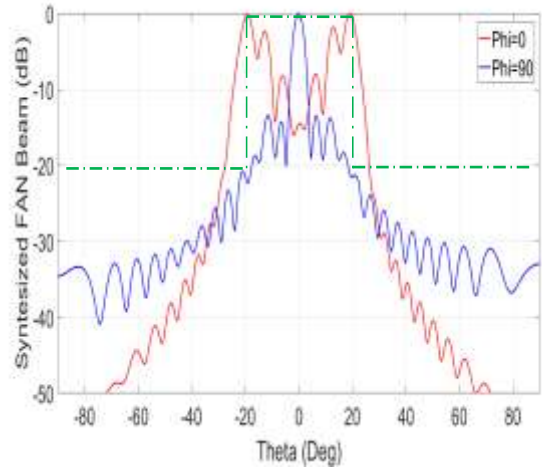
شکل (۴): همگرایی الگوریتم ژنتیک پیاده‌سازی شده در سنتر پرتو مسطح



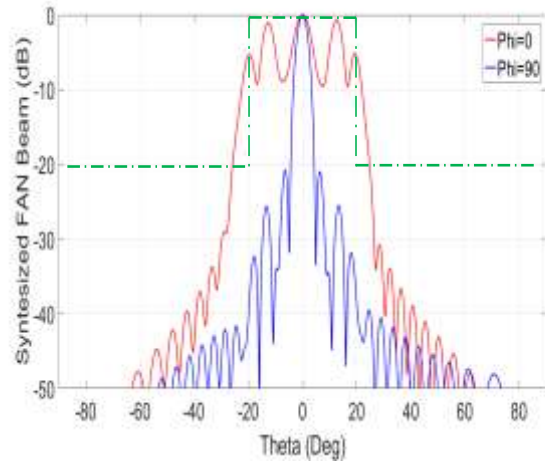
شکل (۵): دامنه و فاز سنتر شده‌ی عناصر تغذیه جهت حصول پرتو مسطح



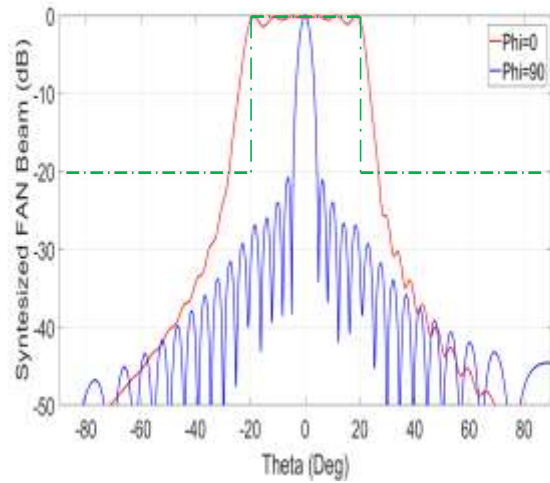
(۱)



(۱)



(ب)



(ج)

شکل (۳): پرتو آنتن بازتابنده چندتغذیه‌ای (۱) اولین نسل (ب) نسل پنجاهم (ج) نسل صدم

شکل‌دهی به سطح بازتابنده است که بیانگر آن است که پرتو به حالت ایده‌آل بسیار نزدیک‌تر است. در این مقاله، پرتو مسطح سنتز شده با پرتو حاصل شده از سنتز آنتن‌های مدار چاپی [۱۷] و [۱۸] و دو قطبی [۱۹] که در مطالعات پیشین حاصل شده مورد قیاس قرار گرفته است. نتایج در جدول (۴) آورده شده است. چنانچه واضح است کیفیت پرتو سنتز شده در مقاله حاضر بیشتر از بررسی‌های پیشین است.

جدول (۴): مؤلفه‌های هندسی آنتن تغذیه

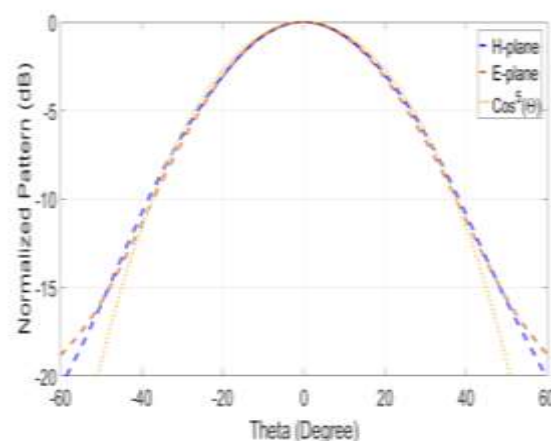
h	D <sub>2</sub> (mm)	D <sub>1</sub> (mm)
۲۵	۲۲	۴۸

#### ۴- نتیجه‌گیری

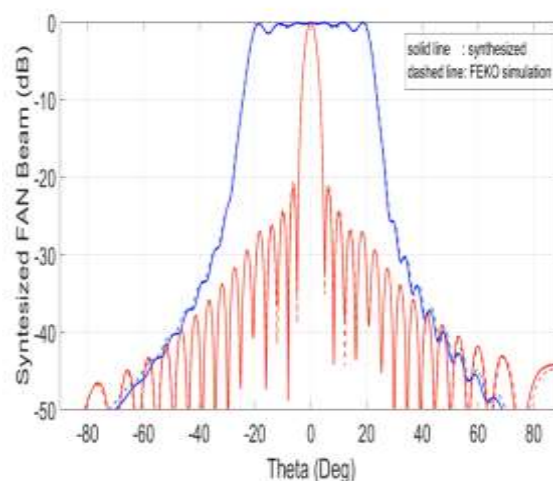
در این مقاله تحقق پرتو مسطح در آنتن‌های بازتابنده با استفاده از رهیافت چند تغذیه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا بر پایه الگوریتم ژنتیک و به‌کارگیری روش نور فیزیکی (PO)، ضرایب تحریک عناصر تغذیه آنتن بازتابنده در جهت تحقق پرتو مورد نظر سنتز می‌گردند. در این مقاله همچنین جهت کاهش زمان محاسبات ناشی از تحلیل PO، روشی ارائه شده است که طی آن زمان انجام تحلیل کوتاه می‌گردد. در روش حاضر انتگرال‌های تشعشعی PO طی نگاشتی به فضای دو بعدی تصویر می‌گردد و در نتیجه زمان محاسبات کاهش می‌یابد. روند مذکور در جهت تحقق پرتو مسطح در بازه زاویه‌ای ۲۰- تا ۲۰+ به‌کار گرفته شد و خصوصیات تشعشعی پرتو به‌دست آمده با آنچه از طریق روش شکل‌دهی به سطح بازتابنده انجام گرفته، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی از این نکته است که طراحی چند تغذیه‌ای تغییرات کمتری را در ناحیه شکل پرتو حاصل می‌کند. همچنین شیب نزول در طراحی چند تغذیه‌ای بیشتر از روش شکل‌دهی به سطح بازتابنده است که بیانگر آن است که پرتو به حالت ایده‌آل بسیار نزدیک‌تر است. روش ارائه شده در این مقاله پرتو هدف را در زمان کم و با دقت مطلوب تحقق می‌دهد و از این‌رو، مناسب جهت کاربردهای راداری است.

#### ۵- مراجع

- [1] S. R. Samareh Hashemi and S. A. Seyedin, "Fast Imaging in Ground-Based Circular Strip-Map Synthetic Aperture Radar," Journal of Radar, vol. 3, no. 1, pp. 57-72, 2015. (In Persian)
- [2] N. Montaseri and Y. Qane Qarebagh, "Design and Synthesis of Cosecant-Squared Pattern in Microstrip Array Antenna using Genetic Algorithm Optimization," Journal of Radar, vol. 5, no. 3, pp. 27-36, 2017. (In Persian)
- [3] A. Pirhadi, M. H. Rahmani, and A. Mallahzadeh, "Shaped beam array synthesis using particle swarm optimisation



(ب)



(ج)

شکل (۶): (آ) آنتن تغذیه مورد استفاده در شبیه‌سازی (ب) مقایسه پرتو در نظر گرفته شده در تحلیل با پرتو شبیه‌سازی شده برای تغذیه (ب) مقایسه پرتو حاصل شده از روند سنتز و شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار FEKO

جهت مقایسه پرتو حاصل شده با آنچه در [۲۰] از طریق شکل‌دهی به سطح بازتابنده حاصل شده است، خصوصیات تشعشعی پرتوها شامل تغییرات<sup>۱</sup> در ناحیه شکل داده شده و شیب نزول<sup>۲</sup> مورد مقایسه قرار می‌گیرد. محاسبه شیب نزول در [۳۰] بیان شده است. شایان ذکر است که کم بودن تغییرات در ناحیه شکل پرتو و زیاد بودن شیب نزول ملاک تشابه ریاضی پرتو نسبت به پرتو ایده‌آل است. در جدول (۴)، نتیجه مقایسه آورده شده است. چنانچه از جدول مشخص است، طراحی چند تغذیه‌ای تغییرات کمتری را در ناحیه شکل پرتو حاصل می‌کند. همچنین شیب نزول در طراحی چند تغذیه‌ای تقریباً دو برابر روش

<sup>۱</sup> Ripple

<sup>۲</sup> Rejection slope

- [17] R. Marija Milijić, D. Aleksandar. Nešić, D. Bratislav Milovanović, and A. Nešić, Dušan "Printed Antenna Array with Flat-Top Radiation Pattern," *Frequenz*, vol. 72, pp. 173–180, 2017.
- [18] X. Cai and W. Geyi, "An Optimization Method for the Synthesis of Flat-Top Radiation Patterns in the Near- and Far-Field Regions," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 67, no. 2, pp. 980-987, Feb. 2019.
- [19] H. Patidar, G. K. Mahanti, and R. Muralidharan, "Synthesis of flat-top beam pattern of linear antenna arrays with restricted side lobe level, VSWR and independent nulls using Flower Pollination algorithm," *International Journal of Electronics*, vol. 106, pp. 1964-1977, 2019.
- [20] A. R. Mallahzadeh and P. Taghikhani, "Shaped elevation pattern synthesis for reflector antenna," *Electromagnetics*, vol. 33, no. 1, pp. 40–50, 2013.
- [21] W. A. Imbriale, P. G. Ingerson, and W. C. Wong, "Large lateral feed displacements in a parabolic reflector," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-22, pp. 742–745, Nov. 1974.
- [22] J. Ruze, "Lateral-feed displacement in a paraboloid," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 13, pp. 660–665, Sep. 1965.
- [23] I. Aryanian and M. H. Amini, "Synthesis of contoured beam multifeed reflector antenna for optimum coverage," *Microw Opt Technol Lett.* pp. 1–7, Sep. 2020.
- [24] A. Hasani, M. Hajiahmadi, and I. Aryanian, "An Efficient Method for Calculation of Physical Optics Integral for Large Reflector Antennas," *Electrical Engineering (ICEE), Iranian Conference on, Mashhad*, pp. 558-561, 2018.
- [25] N. Jin, and Y. Rahmat-Samii, "Advances in particle swarm optimization for antenna designs real-number, binary, single-objective and multiobjective implementations," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 3, pp. 556–567, 2007.
- [26] Y. Rahmat-Samii and E. Michielssen, "Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithm," New York: Wiley, 1999.
- [27] J. M. Johnson and Y. Rahmat-Samii, "Genetic algorithms in engineering electromagnetics," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 39, pp. 7–21, Aug. 1997.
- [28] D. S. Weile and E. Michielssen, "Genetic algorithm optimization applied to electromagnetics: A review," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 45, pp. 343–353, Mar. 1997.
- [29] M. R. Amini, M. Mahdavi, and M. J. Omid, "Maximizing Dynamic Access Energy Efficiency in Multiuser CRNs With Primary User Return," *IEEE Systems Journal*, vol. 13, no. 2, pp. 1702-1713, June 2019.
- [30] A. J. Martinez-Ros, J. L. Gómez-Tornero and G. Goussetis, "Multifunctional Angular Bandpass Filter SIW Leaky-Wave Antenna," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 936-939, 2017.
- method with mutual coupling compensation and wideband feeding network," *IET, Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 8, pp. 549-555, 2014.
- [4] T. Carberry, "Analysis theory for the shaped-beam doubly curved reflector antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 17, no. 2, pp. 131-138, March 1969.
- [5] S. Junhao, "On the Improvement of Shaped-Beam Doubly Curved Reflector Antenna," 2006 7th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory, Guilin, pp. 1-3. 2006.
- [6] S. Junhao, L. Hongmei and W. Chao, "IFF antenna sharing the reflector with the C-band radar," *Proceedings of the 9th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory, Guangzhou*, pp. 293-295. 2010.
- [7] V. Schejbal, J. Pidanic, and O. Fiser, "Broadband Approximation of Radiation Patterns for Doubly Curved Reflector Antennas [Antenna Designer's Notebook]," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 53, no. 6, pp. 140-146, Dec. 2011.
- [8] A. Dastranj, H. Abiri, and A. Mallahzadeh, "Design of a Broadband Cosecant Squared Pattern Reflector Antenna Using IWO Algorithm," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 7, pp. 3895-3900, July 2013.
- [9] A. Brunner and E. Kress, "Monopulse Antennas with Doubly Curved Reflectors," 1974 4th European Microwave Conference, Montreux, Switzerland, pp. 357-361. 1974.
- [10] A. I. Zaghoul, Y. Hwang, R. M. Sorbello, and F. T. Assal, "Advances in multibeam communications satellite antennas," *Proc. IEEE*, vol. 78, pp. 1214–1232, July 1990.
- [11] F. Vipiana, G. Vecchi, M. Sabbadini, "A multiresolution approach to contoured-beam antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 3, pp. 684–697, 2007.
- [12] H. T. Chou, Y. T. Hsaio, P. H. Pathak, P. Nepa and P. Janpugdee, "A fast DFT planar array synthesis tool for generating contoured beams," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 3, pp. 287–290, 2004.
- [13] T. S. Bird, "Contoured-beam synthesis for array-fed reflector antennas by field correlation," *IEE Proc. Microw. Opt. Antennas*, vol. 129, no. 6, pp. 293–298, 1982.
- [14] J. W. Marshall, "A nulling algorithm for multi-aperture multiplebeam antennas," in *Proc. IEEE Military Communications Conf. (MILCOM'94)*, vol. 1, 1994, pp. 27–31.
- [15] S. D. Gray, "Nulling performance comparison between a single- and multiple-aperture multiple-beam antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 43, pp. 1319–1324, Nov. 1995.
- [16] A. Foudazi and A. R. Mallahzadeh, "Pattern synthesis for multi-feed reflector antennas using invasive weed optimisation," *IET Microw. An. and Propag.*, vol. 6, no. 14, pp. 1583–1589, 2012.