

فنّاوری اطلاعات و ارتباطات ایران

محاسبه سریع انتگرالهای تشعشعی با روش FFT جهت کاربرد در تحلیل آنتنهای بازتابنده شکلیافته

:

ذاكر حسين فيروزه*`

ابوالقاسم زيدآبادي نژاد*

حميد ميرمحمد صادقي**

*دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان **یژوهشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیدہ

در این مقاله، روشی سریع برای محاسبه پترن تشعشعی میدان دور آنتنهای بازتابنده ٔ با تحریک دلخواه در محل تغذیه ارائه می گردد. آنتن بازتابنده با روش نور هندسی GO" تحلیل شده، سپس میدانهای تشعشعی با روش میدان دریچه AFM^۴ بدسـت آمـده و انتگرالهای تشعشعی با تبدیل فوریه دوبعدی FFT مبتنی بر مشبندی بهینه دریچه محاسبه می شوند. براساس روش ارائه شده، نرمافزاری مبتنی بر MATLAB طراحی و پیادهسازی شده است که قابلیت شبیهسازی آنتنهای بازتابنده شکلیافته با ابعاد بزرگ نسبت به طول مـوج و تغذيـه جابجـا شـده از كـانون را دارد. بـه عنوان نمونه، دو آنتن مورد استفاده در صنایع نظامی از جمله آنـتن رادار مراقبت هوایی و رادار تاکتیکی ۲۳-TPS تحلیل شده و با نتایج شبیه سازی حاصل از نرمافزار FEKO و اندازه گیری مقایسه شده است. این روش در عین سادگی، سرعت و دقت مناسبی در تحلیل آنتنهای بازتابنده شکل یافته دارد. لـذا نـرمافـزار حاصـل در طراحی آنتنهای بازتابنده با تغذیه جابجا شده، میتواند یـک ابـزار مناسب جهت تعیین اولیه کـارآیی آنـتن و مشخصـات تشعشـعی

۱. نویسنده عهدهدار مکاتبات (zhfirouzeh@aut.ac.ir)

موردنیاز باشد و در صورت حصول پارامترهای طراحی موردنظر، شبیهسازی دقیق تر با نرمافزارهایی نظیر FEKO یا NEC انجام شود و بدین صورت زمان موردنیاز در روند طراحی کمتر شود.

کلید واژگان: آنتنهای بازتابنده، انتگرالهای تشعشعی، FFT.

۱ – مقدمه

امروزه انواع آنتنهای بازتابنده در صنایع مخابراتی و نظامی بکار برده می شوند و متناسب با کاربردشان شکل و تغذیه متفاوتی دارند. بویژه آنتنهای بازتابنده شکلیافته با تغذیه جابجاشده^۱ از اهمیت ویژهای برخوردارند زیرا دارای SLL^۲ بسیار پایین و انسداد تغذیه^۳ کم هستند و در نتیجه، آنتنهای مناسبی برای کاربرد در مخابرات ماهوارهای می باشند. همچنین به جای روشهای مکانیکی پرهزینه جهت حرکت کل سیستم آنتنی می توان بازتابنده های با تغذیه جابجاشده و آنتنهای چند پر تو^۴ با تغذیه چندگانه را جهت پویش پر تو اصلی استفاده نمود [۱–۷].

تاکنون مقالات زیادی برای تحلیل آنتنهای بازتابنده جهت محاسبه میدانهای تشعشعی و پارامترهای آنتنی ارائـه شـده اسـت.

Y.Reflector antennas

°.Geometrical Optics

F.Aperture Field Method

^{1.}Deplaced feeds

۲.Side Lobe Level

r.Feed blockage

۴.Multi-beam

این روش می توان جریانهای سطحی روی بازتابنده را سریعتر از روش متداول MoM محاسبه نمود [۱۲–۱۴].

بعد از انتخاب روش تحلیل آنتن بازتابنده، محاسبه دقیق و سریع پترن تشعشعی بسیار اهمیت دارد. روش مستقیم که انتگرالهای تشعشعی را بصورت عددی محاسبه می نماید، بسیار زمانبر است. البته می توان از بسط انتگرالهای تشعشعی به یک سری مانند روش Jacobi-Bessel نیز استفاده کرد [۱۵]. روش تصویر شده دایروی هستند، بسیار مناسب هستند. زیرا چندجملهای Jacobi ، نوع خاصی از رابطه بازگشتی استفاده می کند که برای محاسبه پترن تشعشعی آنتنهای بازتابنده می کند که برای محاسبه پترن تشعشعی آنتنهای بازتابنده

در اینجا یک الگوریتم سریع برای محاسبه انتگرالهای تشعشعی آنتن بازتابنده دلخواه با روش FFT ارائه می گردد. روش پیشنهادی برای تمام آنتنهای بازتابنده شکل یافته با تغذیه جابجاشده از کانون قابل استفاده است. در این روش، ابتدا توسط نور هندسی GO میدانهای انعکاسی از روی سطح بازتابنده حاصل از تغذیه دلخواه بدست آمده، یعنی با ردگیری شعاع⁷ انعکاسی، توزیع میدان روی دریچه^۴ بازتابنده محاسبه شعاع⁷ انعکاسی، توزیع میدان روی دریچه^۴ بازتابنده محاسبه می گردد. انتگرالهای تشعشعی بدست آمده از MAK با روش تشعشعی نظیر بهره، پهنای پرتو نیم توان، LL ونسبت B/⁴ و... حاصل گردد. نرم افزاری مبتنی بر MATLAB ونسبت B/⁴ و... مذکور طراحی و تهیه شده که قابلیت تحلیل و شبیه سازی انتنهای بازتابنده شکل یافته با ابعاد بزرگ نسبت به طول موج را مذکور، عنوان "نرمافزار پیشنهادی" اطلاق می گردد.

در ادامه، روش محاسبه سریع انتگرالهای تشعشعی بـ FFT در بخش دو ارائه می گردد. گسستهسازی بهینه سطح بازتابنده جهت محاسبه انتگرالهای تشعشعی با دقت مطلوب و زمان کم در بخش سه بررسی می شود. برای تایید و اعتبار روش پیشنهادی، آنتنهای

Ray tracing

FFT

بطورکلی روشهای محاسبه میدانهای تشعشی حاصل از آنتن بازتابنده به دو دسته تقسیم میشود؛ میدان دریچه AFM و جريان القايي[']. روش ميدان دريچه AFM حل دقيقي روى محـور و بخش جلوی آنتن و در اطراف پرتـو اصـلی ٔ نسـبت بـه محـور میدهد. در این روش، تقریب نور فیزیکی PO^۳ و نور هندسی GO GO برای محاسبه توزیع میدان روی دریچه[†] سطح بازتابنده بکار رفته و معمولا برای آنتنهای بازتابنده بزرگ نسبت به طول موج، معتبر است. این روش برای ناحیه سایه^۵ آنـتن بازتابنـده مناسب نیست زیرا از جریانهای لبه و پشت بازتابنده صرفنظر میکند. لـذا برای درنظر گرفتن آثار مذکور، از روشهای تفرق لبه استفاده نموده و پاسخ بدست آمده را به حل روش AFM می افزاینـد [۸ و٩]. برای درنظر گرفتن تفرق لبه از روشهایی مانند GTD ۲ یا UTD^ استفاده کرده زیرا نتایج معتبری در ناحیه سایه بازتابنده داشته و جریانهای لبه را درنظر می گیرد ولی پیچیدگی محاسباتی بیشتری به روش AFM میافزاید [۱۰ و ۱۱]. در روش جریان القایی، برای محاسبه توزیع جریان روی سطح بازتابنده از روشهایی نظیر روش ممان MoM ^۹ استفاده می گردد. اگرچه روشهایی دقیق هستند اما محاسبات پیچیـده و زمـانبـری دارنـد. اخیرا، از روشهای ممان- موجکWBMM ' جهت تحلیل آنتنهای بازتابنده بزرگ استفاده شده است. در روش ممان MoM ^{۱۱} متداول با استفاده از توابع بسط و آزمون برای تبدیل معادلات انتگرال EFIE ^{۱۲} به معادلات جبری، ماتریسهای امپدانس متراکم حاصل می شود. درصورتیکه در روش موجک، توابع موجک به عنوان توابع بسط و آزمون استفاده شده و باعث تنک" شدن ماتریسهای امیدانس شده و زمان محاسبات را کاهش می دهد. با

- 1.Induced current
- ۲.Main beam
- **r**.Physical Optics
- F.Aperture
- a.Shadow region
- Edge diffraction
- v.Geometrical Theory of Diffraction
- A.Uniform Theory of Diffraction
- ۹.Method of Moments
- v.Wavelet-Based Moment Method
- 11.Method of Moments
- **NY.Electric Field Integral Equation**
- ۱۳.Sparse

N.Circular projected aperture

Y.Parabolic reflector antenna

۶.Aperture

۵.Front to Back

روش پیشنهادی اگرچه برای آنیتن بازتابنده سهموی توضیح داده میشود اما برای سایر آنتنهای بازتابنده نیز قابل استفاده است. ویژگی مهم این روش، انتگرالگیری سریع روی صفحه دریچه برای هرنوع تغذیه بامحل دلخواه هست درصورتیکه، انتگرالگیری روی سطح بازتابنده زمانیکه تغذیه از کانون افست^۲ داشته باشد یا پترن تشعشعی تغذیه نامتقارن باشد، بسیار زمانبر است. برای محاسبه میدان



شکل ۱: هندسه سهبعدی آنتن بازتابنده سهموی متقارن



شکل۲: (a) صفحه S_0' تصویر سطح رفلکتور روی صفحه کانونی است. (b) یک شبکه مش مستطیلی روی صفحه S_0' ایجاد میشود.

انعکاسی از بازتابنده، صفحه کانونی ⁶⁰ مطابق شکل ۲۵ مشبندی شده است. با استفاده از تقریب نور فیزیکی PO میدانهای انعکاسی در خارج از صفحه ⁶⁰ برابر صفر درنظر گرفته میشود.

تبدیل فوریه دوبعدی ۲۶۲۲ برای محاسبه انتگرالهای ۱۵ و ۱۵ بکار میرود [۱۷]. لذا انتگرالهای P_x و P_y بصورت زیر تعریف میگردند: بسیاری شبیهسازی شدهاند اما در اینجا دو نوع آنتن بازتابنده شکلیافته عملی در صنایع نظامی از جمله رادار مراقبت هوایی و رادار تاکتیکی AN/TPS-۴۳ با نرمافزار پیشنهادی، شبیهسازی شده و در بخشهای چهار و پنج با نتایج حاصل از نرمافزار FEKO و اندازه گیری مقایسه شده است. در بخش ششم، نتیجه گیری و توضیحات پایانی آمده است.

FFT محاسبه انتگرالهای تشعشعی با

در شکل ۱ هندسه سهبعدی یک آنـتن بازتابنـده سـهموی متقـارن^۱ نشان داده شده است. تغذیه در محل کانون قرار گرفتـه و تصـویر سطح بازتابنده روی صفحه دریچـه – دهانـه بازتابنـده- را _۵۵ و روی صفحه کانونی ⁶۵ نامیده میشود. انتگرالهای تشعشعی روی سطح ⁶۵ برای محاسبه میدان دور بصورت زیر هستند [۱۶]:

$$E_{\theta S} = \frac{j\beta e^{-j\beta r}}{4\pi r} (1 - \cos\theta) \iiint_{S'_0} (-E_{ax} \cos\phi - E_{ay} \sin\phi)$$
$$\exp(j\beta (x'\sin\theta \cos\phi + y'\sin\theta \sin\phi)) dx' dy'$$
(\a)

$$E_{\phi S} = \frac{j\beta e^{-j\beta r}}{4\pi r} (1 - \cos\theta) \iiint_{S'_0} (-E_{ax} \sin\phi + E_{ay} \cos\phi)$$
$$\exp(j\beta (x'\sin\theta \cos\phi + y'\sin\theta \sin\phi)) dx' dy'$$
(1b)

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$
, $u = \sin\theta \cos\phi$ $v = \sin\theta \sin\phi$ (1c)

در معادلات (۱) ، $E_{av} e_{av} e_{av}$ مولفه های میدان الکتریکی انعکاسی روی صفحه کانونی S'_0 میباشد. اگر تغذیه در محل کانون آنتن سهموی قرار داشته باشد، اشعه حاصل در امتداد محور اصلی خواهد بود. بنابراین اختلاف بین میدان روی صفحات $S_0 e_0 c_0^2$ تنها اختلاف فاز حاصل از فاصله بین دو صفحه مذکور است و محاسبه انتگرالهای تشعشعی روی هر دو صفحه مذکور معتبر است. درصورتیکه تغذیه ازمحل کانون جابجا شود، یک اختلاف و اغتشاش فازی بین دو صفحه $_0 S_0 e_0^2$ بوجود میآید. بنابراین انتگرالهای تشعشعی تنها روی صفحه دریچه S_0 بایستی محاسبه گردد.

٣٣

^{1.}Paraboloidal reflector antenna

۲.Offset

FFT

$$= Sin^{-1} \left[\left[\left(\frac{k}{-A} \right)^2 + \left(\frac{l}{-B} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]$$
$$= \tan^{-1} \left(\frac{-Al}{-Bk} \right)$$

 θ_{kl}

 φ_{kl}

(**%**b)

(9a)

با استفاده از تبدیل فوریه دوبعدی FFT۲، روابط (۵) بصورت زیر بازنویسی می شود:

$$P_{x} = \exp\left(-j\beta u \frac{d}{2}\right) \exp\left(-j\beta v \frac{d}{2}\right) dx' dy' FFT 2 \left(E_{ax}\right)$$
$$P_{y} = \exp\left(-j\beta u \frac{d}{2}\right) \exp\left(-j\beta v \frac{d}{2}\right) dx' dy' FFT2 \left(E_{ay}\right)$$
(V)

سرانجام میدانهای تشعشعی E₀S و E₀S براساس FFT۲ براساس براساس FFT۲ بصورت زیر محاسبه می گردند:

$$E_{\theta S} = \frac{j\beta e^{-j\beta r}}{4\pi r} (1 - \cos\theta_{kl}) \{-\cos\phi_{kl}P_{x} - \sin\phi_{kl}P_{y}\}$$

$$E_{\phi S} = \frac{j\beta e^{-j\beta r}}{4\pi r} (1 - \cos\theta_{kl}) \{-\sin\phi_{kl}P_{x} + \cos\phi_{kl}P_{y}\}$$
(A)

 $E_{\varphi S} = E_{\theta S}$ براساس معادلات (۷) و (۸) میدانهای دور $E_{\theta S} = E_{\theta S}$ محاسبه می گردد و B_{k} مطابق رابطه (۶) بدست می آید. مقادیر منفی I و K برای یافتن میدانها در سایر نواحی بکار می رود. علاوه FFT براین تعداد نقاط روی پرتو اصلی به دلیل استفاده از FFT محدود است، لذا از درونیابی برای بدست آوردن تمام نقاط فضا استفاده می گردد. پترنهای تشعشعی صفحات E و H به ترتیب به ازای $\frac{\pi}{2} = \phi = 0 = \phi$ قابل محاسبه است. سمتگرایی آنتن بصورت زیر محاسبه می گردد [۸]:

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_A}$$

$$\Omega_A = \iint_{u^2 + v^2 \le 1} \left| F(u, v) \right|^2 \frac{dudv}{\sqrt{1 - u^2 - v^2}}$$
(9)

$$P_{x} = \iint_{S'_{0}} E_{ax} \ e^{j\beta(x'u+y'v)} dx' dy'$$

$$P_{y} = \iint_{S'_{0}} E_{ay} \ e^{j\beta(x'u+y'v)} dx' dy'$$
(Y)

در روابط مذکور E_{ax} و E_{ay} مولفههای میدان انعکاسی روی صفحه S_0' است. با استفاده از روابط (۲) میدانهای تشعشعی E_{0} و E_{0} بصورت زیر محاسبه می گردند:

$$\begin{split} E_{\theta S} &= \frac{j\beta e^{-j\beta r}}{4\pi r} (1 - \cos\theta) \left\{ -P_x \cos\phi - P_y \sin\phi \right\} \\ E_{\theta S} &= \frac{j\beta e^{-j\beta r}}{4\pi r} (1 - \cos\theta) \left\{ -P_x \sin\phi + P_y \cos\phi \right\} \\ & \text{the set } E_{\theta S} = \frac{j\beta e^{-j\beta r}}{4\pi r} (1 - \cos\theta) \left\{ -P_x \sin\phi + P_y \cos\phi \right\} \end{split}$$

$$dx' = \frac{d}{M-1} , x' = -\frac{d}{2} + m \, dx' , m = 0, 1, 2, ..., M - 1$$

$$dy' = \frac{d}{N-1} , y' = -\frac{d}{2} + n \, dy' , n = 0, 1, 2, ..., N - 1$$
(*)

 $M \in N$ و N به ترتیب تعــداد نقـاط توزیـع شــده بطـور یکنواخت در امتداد x و y روی صفحه S'_0 می باشد. قطر دریچه بازتابنده سـهموی برابـر d اسـت. بـا جایگـذاری روابـط (۴) در معـادلات (۲)، $P_x e_y$ و P_y بصـورت زیـر در می آید:

$$P_{x} = \exp\left(-j\beta u \frac{d}{2}\right) \exp\left(-j\beta v \frac{d}{2}\right) dx' dy'$$

$$\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} E_{ax}(m,n) e^{j\beta v \frac{nd}{N-1}} e^{j\beta u \frac{md}{M-1}}$$

$$P_{y} = \exp\left(-j\beta u \frac{d}{2}\right) \exp\left(-j\beta v \frac{d}{2}\right) dx' dy'$$

$$\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} E_{ay}(m,n) e^{j\beta v \frac{nd}{N-1}} e^{j\beta u \frac{md}{M-1}}$$

$$(a)$$

 $E_{ay}(m,n)$ و $E_{ay}(m,n)$ میدانهای الکتریکی در نقاط $E_{ay}(m,n)$ مش (m,n)ام صفحه S'_0 هستند. با مقایسه روابط (۵) با فرمولهای FFT، θ_{kl} و H_{kl} وزوایای مختصات کروی بوده که میدانهای تشعشعی در آن نقاط محاسبه می شوند:

$$\begin{split} &A = \frac{d}{\lambda} \frac{M}{M-1} \quad , \quad k = -A \sin\theta_{kl} \cos\phi_{kl} \quad , \quad k = 0, 1, 2, ..., M-1 \\ &B = \frac{d}{\lambda} \frac{N}{N-1} \quad , \quad l = -B \sin\theta_{kl} \sin\phi_{kl} \quad , \quad l = 0, 1, 2, ..., N-1 \\ &0 \le \theta_{kl} \le \pi \ , \ 0 \le \phi_{kl} \le 2\pi \ or \ -\pi \le \phi_{kl} \le \pi \end{split}$$

^{1.}Interpolation

۲.Directivity

$$\Delta T \le \frac{1}{f_{\max}} \tag{17}$$

مشاهده می شود که انتگرالهای تشعشعی تبدیل فوریه مکانی میدانهای الکتریکی روی دریچه هستند لذا k_x و k فرکانسهای طیفی متناظر با مکانهای x و y می باشند. با استفاده از رابطه (۱۳) و (۶۵) اندازه مش بهینه حاصل می گردد:

$$\Delta x < \frac{1}{k_x}$$
, $k_x = \frac{u}{\lambda} \Rightarrow \Delta x < \frac{\lambda}{u}$, $Max(u) = 1 \Rightarrow \Delta x < \lambda$
(1*)

بطور مشابه میتوان $\Lambda > \Delta y$ را اثبات کرد. بنابراین برای اینکه میدانهای الکتریکی دریچه بطور صحیح نمونهبرداری گردد تا محاسبات حاصل از FFT معتبر باشد، لازم است که اندازه مشها کمتر از طول موج شبیهسازی باشد. اگر تعداد نقاط نمونهبرداری از مقدار مذکور بیشتر گردد، اطلاعات بیشتری از میدان بدست نمی آید و تنها زمان شبیهسازی بدون افزایش کار آیی محاسباتی، زیاد می گردد.

برای مشاهده اثر نمونهبرداری صحیح و اندازه مشها در محاسبه یترن تشعشعی، یک آنتن بازتابنده سهموی با آنــتن هــورن' واقــع در كــانون تحريــک شــده اســت. فركــانس کاری آنـتن ۱.۳GHz و قطـر دهانـه بازتابنـده و فاصـله کـانونی آن به ترتیب ۱۳.۵m و ۵.۳۱m است. نتایج شبیهسازی برای مقادیر مختلف مشبندی با نرمافزار پیشنهادی در جدول ۱ نشان داده شده است. برای اندازه مشهای بزرگتر از λ=۲۳.۰۸cm پارامترهای تشعشعی آنـتن نظیـر بهـره و پهنـای پرتو نیمتوان HP مقادیر قابل قبولی نیستند. ولی برای اندازه مـشهای کمتر از ۶ شرط رابطه (۱۴) محقق می گردد و مشخصات تشعشعی آنتن به درستی محاسبه می شود. وقتی که نقاط مشبندی M=۱۲۸ و N=۱۲۸ انتخاب می گردند، پرتو اصلی در زاویه ۱۸۰[°] قرار داشته و بهره برابر ۳۸.۹۱dB بدست می آید. پهنای پرتو نیم توان در صفحه E برابر ۲.۳۴۰ و در صفحه H برابر ۱۰.۹۰ است و سطح E گلبر گهای کناری SLL در صفحات E و H ، به ترتیب،

1.Horn antenna

(*u*,*v*) پترن تشعشعی آنتن بازتابنده برحسب متغیرهای u و V است. در این بخش، معادلات اصلی برای تحلیل بازتابنده سهموی و محاسبه پارامترهای تشعشعی آنتن بدست آمده است. روش بکار رفته با کمی تغییر با نرمافزار پیشنهادی در محیط MATLAB قابل اعمال به تمام آنتنهای بازتابنده شکلیافته با تغذیه جابجاشده می باشد به شرط آنکه ابعاد دهانه بازتابنده نسبت به طول موج بزرگ باشد.

۳- محاسبه مش بندی بهینه

اگـر (x(t) تـابعی پیوســته از متغیــر t در بــازه [a,b] باشــد، زوج تبدیل فوریه (x(t) بصورت زیر تعریف میگردد [۷۷]:

$$\begin{cases} x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) e^{+j2\pi f t} df \\ X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt \end{cases}$$
(1.)

برای اینکه بتوان انتگرالهای فوریه را بصورت عددی محاسبه کرد بازه [a,b] با N نقطه، به ۱-N جرز مساوی ΔT تقسیم میگردد.

$$\Delta T = \frac{b-a}{N-1}$$

$$t = a + n\Delta T , \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$
(11)

بعد از جایگزینی رابطـه (۱۱) در انتگرالهـای فوریـه و مقایسـه با تبدیل فوریه گسسته'، میتوان نوشت:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \quad k = 0, 1, 2, ..., N-1$$
 (17a)

$$k = N \Delta T f \Rightarrow f_k = \frac{k}{N \Delta T} \Rightarrow f_{\text{max}} = \frac{N - 1}{N \Delta T}$$
 (17b)

رابط ه (۱۲b) نشان می دهد که ΔT بایستی کمتر از $\frac{N-1}{N}$ بایستی کمتر از $\mathbf{x}(t)$ باشد تا ماکزیمم فرکانس موجود در $\mathbf{x}(t)$ با r_{\max} باشد تا ماکزیمم فرکانس موجود در $\mathbf{x}(t)$ مقدار تبدیل فوریه گسسته قابل آشکارسازی باشد. چون N مقدار بزرگی دارد، رابطه (۱۲b) را می توان بصورت زیر ساده کرد:

Y.Half Power beamwidth

^{1.}Discrete Fourier Transform

براب ر Bbr- و Bbr- است. پترن تشعشعی در صفحات E و H در شکل۳ نمایش داده شده است.

آنتن سهموی مذکور با نرمافزار FEKO با ترکیب روش ممان و PO تحلیل شده است و نتایج حاصل از آن درجدول ۲ با نرمافزار تهیه شده در MATLAB مقایسه شده است. اختلافات مشاهده شده به دو دلیل میباشد؛ اختلافات حاصل در گلبرگهای کناری بخاطر صرفنظر کردن از اثرات لبه در نرمافزار پیشنهادی میباشد اما اختلافات در بهره و پهنای پرتو نیمتوان به دلیل خطای درونیابی در پیوسته نمودن پترن تشعشعی است. نکته قابل توجه آن است که زمان شبیهسازی در نرمافزار MEKO سه برابر



شکل۳: (a) پترن تشعشعی در صفحه E و (b) پترن تشعشعی در صفحه H

زمان شبیه سازی در نرم افزار پیشنهادی است. در طراحی آنتنهای بازتابنده بزرگ اگر یک پیش شبیه سازی امکان پذیر باشد تا اعتبار طراحی در پارامترهای حساس و مهم آنتن نظیر بهره، پهنای پرتو نیم توان در صفحات E و H و سطح گلبرگهای کناری تعیین گردد، می توان زمان زیادی را در فرآیند طراحی و شبیه سازی کاهش داد و سپس برای نهایی کردن طراحی از نرم افزارهای دقیق نظیر میس برای نهایی کردن طراحی از نرم افزارهای دقیق نظیر میس برای نهایی کردن طراحی از نرم افزارهای دقیق نظیر میس برای نهایی کردن طراحی و شبیه سازی کاهش داد و میس برای نهایی کردن طراحی و شبیه سازی کاهش داد و میس برای نهایی کردن طراحی و شبیه سازی دو آنین میس برای نهایی کردن طراحی و شبیه سازی دو آنین میس به می کردد.

۴- تحلیل و شبیه سازی آنتن بازتابنده شکل یافته با تغذیه های هورن جابجاشده

یک آنتن بازتابنده شکلیافت که توسط دو هورن جابجاشده تغذیه می گردد در شکل ۴ نمایش داده شده است. فرکانس کاری برابر ۱۳.GHz و طول و عرض دهانه بازتابنده به ترتیب برابر ۱۳.۵۳ و ۷.۰۳ با فاصله کانونی ۵.۳۱۳ است. منحنی پروفایل سمت بازتابنده، سهمی و منحنی پروفایل ارتفاع بازتابنده، از نوع شکل یافته است. تابع سهبعدی توصیف کننده سطح رفلکتور بصورت زیر است:

 $z = -0.0471 x^{2} + 5.3100 \cos^{0.6364} \left(\frac{y}{4.9267}\right) \quad (1a)$



شکل۴: آنتن شکلیافته تغذیه شده با دو هورن

هورنهای تغذیه در امتداد محور y بصورت متقارن نسبت به مبدا مختصات (کانون آنت بازتابنده) قرارگرفتهاند. هورن قرار گرفته در محل (۱۸۵۳.--,۰,۰) ایجاد پرتو بالایی و هورن دیگر واقع در (۱۸۵-,۰+,۰) پرتو پایینی را تولید میکند.

نتایج شبیهسازی با نرمافزار پیشنهادی در جدول ۳ ارائه شده است. تعداد نقاط مش برای M و N برابر ۱۲۸ است. نتایج شبیهسازی نرمافزار FEKO در جدول ۴ آورده شده است. به دلیل ابعاد بزرگ آنتن، پترن تشعشعی و بهره در سایت فضای باز⁽ اندازه گیری شده است. بهره پرتو

^{1.}Azimuth profile

Y.Elevation profile

^{1.}Open site

بالایی برابر ۳۵.۵dB و بهره پرتو پایینی برابر ۳۴.۵dB است. پهنای پرتو نیمتوان صفحه سمت ۱۰۲^۵ برابر ۱.۲[°] و صفحه ارتفاع HP_B[°] برابر 10.5[°] است. نتایج شبیهسازی نرمافزار پیشنهادی با نتایج حاصل از شبیهسازی با و اندازهگیری تطبیق خوبی دارد. اما زمان شبیهسازی با نرمافزار پیشنهادی کمتر از یک-سوم زمان شبیهسازی با FEKO میباشد.

AN/TPS-۴۳ انتن رادار ۸۳-AN/TPS-۴۳

رادار ۲۳–AN/TPS یک رادار تاکتیکی سهبعدی مراقبت هوایی بوده که در باند فرکانسی ۲.۹GHz تا ۳.۱GHz تا برد ۲.۰mile کار میکند [۱]. آنتن بازتابنده از نوع سهموی با دهانه بیضوی است. طول و عرض دهانه، به ترتیب، ۶.۲۰m و ۴.۲۷۳ با فاصله کانونی ۲.۶۳ است.

جدول ۱: نتایج شبیهسازی برای اندازههای مختلف مشبندی

	1				-		
Μ	Ν	dx (cm)	dy (cm)	Main beam θ (deg.)	HP _E °	HP _H °	Gain (dB)
۳۲	۳۲	٤٣ <u>.</u> 00	٤٣ <u>.</u> 00	14.	٦٢.٨٩	۳۲.٤٢	117
٤٨	٤٨	74.47	11.11	14.	٢٤.٦٢	15.17	14.47
٥٦	٥٦	75.00	75.00	14.	0.72	۲۳۲	۳۳ <u>.</u> ۳۰
٦٤	٦٤	۲۱.٤٧	۲۱.٤٧	14.	٢.٣٤	• 9	۳۸.۸۳
۱۲۸	۱۲۸	۱۰٫٦٣	۱۰٫٦٣	۱۸.	٢.٣٤	• .9	۳۸,۹۱

جدول۲: مقایسه نتایج شبیهسازی حاصل از نرمافزارهای پیشنهادی و FEKO

	Main beam θ (deg.)	HP _H °	HP _E °	Gain (dB)	SLL _E (dB)	SLL _H (dB)
Proposed Method	14.	٢.٣٤	• 9	۳۸٬۹۱	-۳۰	-10
FEKO	۱۸.	۲.٥	1.1	۳۹.۲	۳۳_	۲۲_

جدول۳: نتایج شبیهسازی حاصل از نرمافزار پیشنهادی

Beam	Y (m)	Elevation(deg.)	Azimuth(deg.)	Gain (dB)	HP _E °	НР _н ⁰	SLL _E (dB)	SLL _H (dB)
Low	+.140	-1.40	+۹۰	٣٤.١	11.1	١.•	- ź ·	_70
High	140	+1.40	+٩٠	٣٤ ١	11.1	1.•	- ź ·	_٣0

صل از نرمافزار FEKO	شبیهسازی حام	جدول۴: نتايج
---------------------	--------------	--------------

					-			
Beam	Y (m)	Elevation (deg.)	Azimuth(deg.)	Gain (dB)	HP _E °	HP _{xoz} °	SLL _E (dB)	SLL _{XOZ} (dB)
Low	+.110	_۲	+٩٠	٢٣٠٤	17.7	• ^	٢٢ ٤	۲۳_
High	-•.140	7+	+٩٠	٢٣٠٤	17.7	• ^	٢٤_	۳۲_



توسط M. I. Skolnik [۱]



نرمافزار پیشنهادی

و زمان شبیه سازی بدست آمده و با روابط و نتایج شبیهسازی نشان داده شده است که کوچکترین مش بایستی دارای ابعادی کمتر از یک طول موج داشته باشد. بر اساس روش پیشنهادی، نرمافزاری در محیط MATLAB تهیه شده که می تواند تمام آنتنهای بازتابنده شکل یافته با ابعاد بزرگ نسبت به طول موج را در فرکانس موردنظر شبیهسازی نماید. به عنوان نمونه دو آنتن مورد استفاده در صنایع نظامی از جمله آنتن رادار مراقبت هوایی و رادار تاکتیکی TPS-۴۳ تحلیل شده و با نتایج شبیهسازی حاصل از نرمافزار FEKO و اندازه گیری تطبیق خوبی داشته است. روش ارائه شده در عین سادگی، سرعت و دقت مناسبی در تحلیل بازتابنده های شکلیافته - که دارای ابعاد بزرگ نسبت به طول موج هستند- دارد. لـذا نـرمافـزار پیشـنهادی در طراحي أنتنهاي بازتابنده با تغذيه افستدار مي تواند يك ابزار مناسب جهت تعيين اوليه كاراً يي أنتن و مشخصات تشعشعی موردنیاز باشد و در صورت احراز پارامترهای طراحی موردنظر، شبیه سازی دقیق تر با نرمافزارهایی نظیر FEKO یا NEC - که زمان زیادی برای شبیهسازی نیاز دارنـد- انجـام شـود و بـدين صـورت زمـان موردنيـاز در رونـد طراحی کمتر شود. همچنین نرمافزار پیشنهادی، دارای کتابخانهای از آنتنهای بازتابنده رایج بوده و امکان تعریف بازتابنده دلخواه را دارد.

مراجع

- [1] Skolnik, M. I., Radar Handbook, rnd ed, McGraw-Hill, New York, 1990.
- [^r] Chu, T. S. and R. H. Turrin, "Depolarization properties of offset reflector antennas," IEEE Trans. Antennas & Propagation, Vol. r1, May 1979
- [^r]Rudge, A. W., "Offset reflector antennas with offset feeds," Electronic Letters, 911-91^{rr}, Nov. 191^{rr}.
- [1] Janken, J. A., W. J. English and D. F. DiFonzo, "Radiation from multimode reflector antennas," G-AP Symp. Digest, r.9-r.9, 19Vr.
- [°] Ingerson, P.G. and W. C. Wong, "Focal region characteristics of offset fed reflectors," IEEE/AP-S Symp. Program & Digest, 171-177, June 1977.

آنتن بازتابنده با یک آرایه ۱۵تایی از آنتنهای هورن که بر روی یک منحنی از بالا تا پایین قرار گرفتهاند، تغذیه می گردد. هورن دوم (از بالا) در کانون رفلکتور قرار گرفته است. خروجی هورنها وارد یک ماتریس استریپلاین ^۱ شده و شش پرتو جهت ارتفاعیابی بدست می آید. پترن تشعشعی فرستندگی رادار از نوع پرتو بادبزنی^۲ برای عملیات جستجو ولی پترن تشعشعی گیرندگی یک پشته از پرتوها^۳ می باشد که ارتفاع هدف را نیز آشکارسازی می کند.

آنتن ۲۳-AN/TPS با نرمافزار پیشنهادی، شبیهسازی شده و نتایج آن در جدول۵ و شکل۵ نمایش داده شده است. به علت عـدم دسترسی به دفترچه راهنمای رادار مـذکور، نتایج شـبیهسازی با مقادیر اندازهگیری شـده مرجع [۱] -که توسط M. I. Skolnik گزارش شده- در شکل۶ مقایسه شده است. اختلافات بین شکلهای ۵ و ۶ به دلیل یکسان نبودن آنتنها و نیـز درنظر نگرفتن تقـرق لبه بازتابنده میباشد. بخشهای مورد توجه نتایج شبیهسازی محل شـش پرتو در صفحه ارتفاع، پهنای پرتو نیمتوان در صفحه ارتفاع، سطح گلبرگ کناری هر پرتـو و محـلهای تقـاطع اول و دوم^۲ پرتوهای مجاور هم میباشد. زمان شبیهسازی هر پرتو با نرمافزار پیشـنهادی بسیار کمتر از زمان شبیهسازی موردنیاز با نرمافزار SE

	Elevation (deg.)	Azimuth (deg.)	Gain (dB)	HP _E (deg.)	HP _H (deg.)
Beam \	•	•	۳٩ _. ٠٥	۱.۸۰	۰.٩
Beam ^۲	٤.٣٢	٩٠	۳۸.۱۲	1.94	۰.٩
Beam "	٧.١٥	٩.	۳۷.۰٦	۱,۹۸	۰.٩
Beam £	17.77	٩٠	۳٦.١٠	۳.۷۸	• 9
Beam °	14.0.	٩.	۳۰.۰۳	٤.٣٠	• 9
Beam 7	۲۳.٤٠	٩.	۳۱۲۰	0.77	1.11

۶- نتيجه گيري

محاسبه سریع پترن تشعشعی میدان دور آنتنهای بازتابنده با تغذیه دلخواه در محل مطلوب با روش FFT ارائه شده است. بازتابنده با روش نور هندسی GO تحلیل شده، سپس میدانهای تشعشعی با روش میدان دریچه AFM بدست آمده و انتگرالهای تشعشعی با تبدیل فوریه دوبعدی FFT محاسبه شدهاند. اندازه مش بهینه از لحاظ دقت شبیهسازی

- **\.Stripline Matrix**
- ۲.Fan beam
- ۳.Stacked beams
- 1.First cross-over
- Y.Second cross-over

In Electromagnetics Research M, Vol. Y, $1\lambda q - Y \cdots$, Y $\cdots \lambda$.

- [17] Lashab, M., F. Benabdelaziz and C. Zebiri, "Analysis of electromagnetic scattering from reflector and cylindrical antennas using wavelet-based moment method," Progress In Electromagnetics Research, PIER V9, YOV-Y9A, Y-V.
- [12] Herzberg, Thomas, Rodica Ramer and Stuart Hay, "Antenna analysis using wavelet representations," Progress In Electromagnetics Research Symposium Y..., Hangzhou, China, August YY-YJ.
- [16] Galindo-Israel, V. and R. Mittra, "A new series representation for the radiation integral with application to reflector antennas," IEEE Trans. Antennas & Propagation, Vol. Yo, No. o, TTI-TEI, Sept. 1977.
- [19] Balanis, C. A., Antenna Theory, Anlaysis and Design, John Wiley & Sons, 1947.
- [1V] Bracewell, R. N., The Fourier Transform and Its Applications, rnd ed., McGraw-Hill, New York, 1949.
- [1A] Stutzman, W. L. and G. A. Thiele, Antenna Theory and Design, ind ed., John Wiley & Sons, 1999.

- [v] Karimkashi, S. and J. Rashed-Mohassel, "Sidelobe level reduction in symmetric dualreflector antennas using a small lens antenna", J. of Electromagn. Waves and Appl., Vol. Y., No. 1", 1A:Y-1A12, Y...9.
- [Y] Tian, Y., Y. H. Zhang and Y. Fan," The analysis of mutual coupling between paraboloid antennas," J. of Electromagn. Waves and Appl., Vol. 11, No.

9, 1191-17.5, 7....

- [^A] Rusch, W. V. T. and P. D. Potter, Analysis of Reflector Antennas, New York, Academic Press, New York, 1994.
- [9] Kauffman, J. F., W. F. Croswell, and L. J. Jowers, "Analysis of the radiation patterns of reflector antennas," IEEE Trans. Antennas & Propagation, Vol. YF, & Y-F&, Jan. 1989.
- [1] Love, A. W., Reflector Antennas, John Wiley & Sons, 19VA.
- [11] Kouyoumjian, R.G. and P. H. Pathak, "A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface," Proceedings of the IEEE, Vol. 97, No. 11, 197A-1971, Nov. 1975.
- [17] Lashab, M., C. Zebiri and F. Benabdelaziz, "Wavelet-based moment method and physical optics use on large reflector antennas," Progress