

## Smooth Shaping of Reflector Antennas Using Radial Basis Functions for Use in GEO Satellite Orbit

S.Mirhadi<sup>1</sup>, A.Hasani<sup>2</sup>, and E.Koohkan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Technical and Vocational University, Tehran, Iran

(Received:2023 /04/21, Revised: 2023/06/23, Accepted: 2023/08/04, Published: 2023/08/24)

DOR: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23454024.1402.11.1.2.8>

### Abstract

*According to the standards of the International Telecommunication Union, shaping a reflector antenna to cover a specific area of the Earth from a satellite in geostationary orbit (GEO) is essential. In this paper, we propose using radial basis functions to shape the reflector antenna surface. The key feature of the proposed method is that the distortion created on the surface of the antenna using radial basis functions is smoother than that created by other basis functions introduced so far. As a result, this method simplifies the antenna manufacturing process. Additionally, by employing radial basis functions, there is no need for constrained optimization to control the distortion of the antenna surface. To demonstrate the effectiveness of radial basis functions in achieving a smooth shape for the reflector antenna, we simulate coverage of Australia by a reflector antenna mounted on a satellite in GEO orbit and compare the results with those obtained using other basis functions, such as Zernike and B-spline basis functions. This comparison shows that radial basis functions produce a smoother antenna surface, facilitating the realization of the antenna design.*

**Keywords:** Reflector antenna, Basis B-spline functions, Basis functions produce, Basis Zernike functions,

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

**Publisher:** Imam Hussein University

**Authors**



\*Corresponding Author Email: [s.mirhadi@shariaty.ac.ir](mailto:s.mirhadi@shariaty.ac.ir)

علمی - پژوهشی

## شکل دهی هموار آنتن بازتابنده با استفاده از توابع پایه شعاعی به منظور کاربرد در مدار ماهواره GEO

سلماسادات میرهادی<sup>۱\*</sup>، علی حسنی<sup>۲</sup>، احسان کوهکن<sup>۳</sup>

۱- استادیار، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران ۲- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران ۳- پژوهشگر، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۱، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۳، انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۰۲)

DOR: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23454024.1402.11.1.2.8>



\* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

نویسندگان



ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

### چکیده

مطابق با استانداردهای اتحادیه جهانی مخابرات، شکل دهی آنتن بازتابنده به منظور پوشش دهی ناحیه مشخصی از زمین توسط ماهواره در مدار زمین ثابت امری اجتناب ناپذیر است. در این مقاله، استفاده از توابع پایه شعاعی به منظور شکل دهی سطح آنتن بازتابنده پیشنهاد شده است. ویژگی کلیدی روش پیشنهادی این است که اعوجاج ایجاد شده بر روی سطح آنتن توسط توابع پایه شعاعی نسبت به توابع پایه‌ای که تا کنون معرفی شده، هموارتر است. در نتیجه، این روش فرآیند ساخت آنتن را ساده تر می کند. همچنین با استفاده از توابع پایه شعاعی نیاز به بهینه سازی مقید برای کنترل میزان ناهمواری سطح آنتن نیست. به منظور نشان دادن کارایی توابع پایه شعاعی در شکل دهی هموار سطح آنتن بازتابنده، پوشش دهی کشور استرالیا با استفاده از آنتن بازتابنده نصب شده بر روی ماهواره مستقر در مدار زمین ثابت شبیه سازی شده است و نتایج آن با توابع پایه دیگری نظیر توابع زرنیک و بی - اسپلاین مقایسه شده است. این مقایسه نشان می دهد که توابع پایه شعاعی، سطح هموارتری را برای آنتن فراهم کرده به گونه ای که تحقق آنتن را ساده تر می سازد.

**کلیدواژه‌ها:** آنتن بازتابنده، توابع پایه بی اسپلاین، توابع پایه شعاعی، توابع پایه زرنیک، شکل دهی سطح آنتن

### ۱- مقدمه

حجیم تر بوده، لذا رویکرد اول بیشتر مورد توجه واقع شده است. به منظور شکل دهی آنتن CBRA مطابق با رویکرد اول، سطح آنتن بازتابنده را با اختلالاتی که توسط توابع پایه ریاضی مدل شود همراه می کنند. توابع پایه ای که تا کنون مورد استفاده قرار گرفته است توابع زرنیک<sup>۴</sup> و بی - اسپلاین<sup>۵</sup> است که هر یک مزایا و معایب مربوط به خود را دارد [۲-۳]. اما نکته ای که حائز اهمیت است این است که باید میزان اختلال بر روی سطح قابل کنترل باشد تا هم فرآیند ساخت آنتن را با مشکل مواجه نکند و هم تقریب نور فیزیکی<sup>۶</sup> که در تحلیل آنتن بازتابنده مورد استفاده قرار می گیرد همچنان برقرار باشد [۱۱]. از این رو معمولاً در فرآیند بهینه سازی از قیودی بر روی میزان انحنای سطح استفاده شده که این امر فرآیند بهینه سازی را پیچیده می کند. اخیراً در یکی از مقالات برای حل این مشکل، استفاده از توابع بی - اسپلاین تنظیم پذیر پیشنهاد شده است که البته آن روش هم منجر به

آنتن های بازتابنده با پرتوی کانتور شده<sup>۲</sup>، در سیستم های مخابراتی ماهواره های مستقر در مدار زمین ثابت<sup>۳</sup>، نقش مهمی دارند. الگوی تشعشعی این آنتن ها باید به گونه ای باشد که فقط یک کشور و یا یک ناحیه مشخص را با بهره مطلوب تحت پوشش قرار دهد و مزاحمتی برای نواحی مجاور ایجاد نکند. برای رسیدن به این هدف، دو رویکرد مورد استفاده قرار گرفته است [۱-۱۰]. در رویکرد اول سطح آنتن بازتابنده تک تغذیه با استفاده از یکی از روش های بهینه سازی، شکل دهی شده تا به الگوی تشعشعی مطلوب برسد [۱-۵]. اما در رویکرد دوم، سطح آنتن تغییری نکرده و با استفاده از چندین تغذیه و تنظیم نمودن تحریک تغذیه ها این امر تحقق می یابد [۶-۱۰]. بدیهی است که به دلیل استفاده از چندین تغذیه، آنتن طراحی شده در رویکرد دوم

<sup>4</sup> Zernike

<sup>5</sup> B-Spline

<sup>6</sup> Physical Optics (PO)

s.mirhadi@shariaty.ac.ir

\* رایانامه نویسنده مسئول:

<sup>2</sup> Contoured beam reflector antenna (CBRA)

<sup>3</sup> Geostationary Orbit(GEO)

توابع  $c_{mn}$  و  $d_{mn}$  است که در فرآیند بهینه‌سازی به‌منظور رسیدن به پترن مشخص تعیین می‌شود. اگر آنتن بازتابنده بزرگ باشد و همچنین شکل‌دهی شدید برای آنتن نیاز باشد، اختلال با توابع پایه زرنیک، نوسانات زیاد و غیرضروری را در سطح ایجاد می‌کند. در این حالت برای شکل‌دهی سطح استفاده از توابع پایه از نوع بی-اسپلاین پیشنهاد شده، زیرا این توابع به صورت موضعی اختلال در سطح ایجاد می‌کنند [۳].

$$\Delta z(x, y) = \sum_m \sum_n \alpha_{mn} B_m(x) B_n(y) \quad (3)$$

در رابطه (۳)،  $B_m(x)$  و  $B_n(y)$ ، به ترتیب،  $m$ -امین و  $n$ -امین توابع بی-اسپلاین از مرتبه سوم در جهت  $x$  و  $y$  هستند. ضرایب مجهول  $\alpha_{mn}$  با استفاده از بهینه‌سازی برای رسیدن به پترن مشخص تعیین می‌شوند.

به‌منظور نمایش اختلال سطح با استفاده از توابع پایه شعاعی از بسط زیر استفاده می‌شود:

$$\Delta z(x, y) = \sum_j \alpha_j \psi_j \left( \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2} \right) \quad (4)$$

در رابطه (۴)،  $\psi_j(d)$  تابع پایه شعاعی است که در آن

$$d = |r - r_j| = \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2} \quad (5)$$

بر حسب فاصله بین نقطه  $r = (x, y)$  تا نقطه‌ی گره  $r_j = (x_j, y_j)$  تعیین می‌شود. این تابع فرمهای متداولی دارد. در این مقاله دو فرم گوسی و اسپلاین صفحه نازک<sup>۱</sup> به ترتیب با معادلات زیر استفاده شده است:

$$\psi_j(d) = e^{-\epsilon d^2} \quad (6)$$

$$\psi_j(d) = d^2 \log d \quad (7)$$

در رابطه (۶)،  $\epsilon$  به عنوان پارامتر کنترلی طراحی توسط کاربر قابل تعیین است.

## ۲-۲- بررسی همواری سطح

میزان انحنای یک سطح مانند  $s(x, y)$  در هر نقطه را میتوان از انحنای گوسی<sup>۲</sup> و یا انحنای میانگین<sup>۳</sup> به ترتیب از روابط زیر محاسبه نمود

$$K = k_1 k_2 \quad (8)$$

افزایش حجم محاسبات شده است [۱۲].

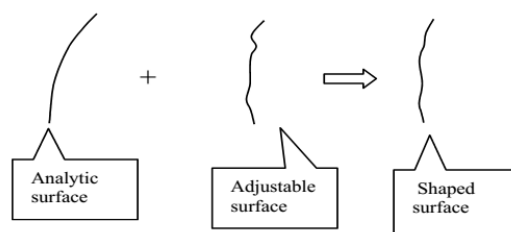
در این مقاله، نشان داده شده که اگر اختلال بر روی سطح آنتن بازتابنده بر اساس توابع پایه شعاعی در نظر گرفته شود، با توجه به اینکه این توابع میزان تابعی مربوط به همواری سطح را کمینه می‌کنند، در نتیجه سطح به دست آمده نسبت به توابع پایه دیگر هموارتر است. بدین منظور، شکل‌دهی آنتن بازتابنده برای پوشش‌دهی کشور استرالیا با استفاده از توابع پایه مختلف شبیه‌سازی شده است و نشان داده شده که سطح اختلال به دست آمده با استفاده از توابع پایه شعاعی نسبت به توابع پایه بی-اسپلاین و یا توابع پایه زرنیک هموارتر است.

## ۲- شکل‌دهی سطح آنتن بازتابنده

به‌منظور شکل‌دهی سطح آنتن بازتابنده برای رسیدن به یک الگوی تشعشعی مشخص، سطح آنتن بازتابنده را همانند شکل (۱) ترکیبی از یک سطح پایه با معادله‌ی تحلیلی مشخص و یک سطح اختلال در نظر می‌گیرند. مثلاً در مورد سطح آنتن بازتابنده با معادله‌ی پایه سهموی داریم:

$$z = \frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{4f} + \Delta z(x, y) \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $\Delta z$ ، اختلال در نظر گرفته شده بر روی سطح است. این اختلال به صورت بسطی از توابع پایه متعامد با ضرایب مجهول فرض می‌شود که با استفاده از بهینه‌سازی، ضرایب بسط برای رسیدن به اهداف طراحی تعیین می‌شود.



شکل (۱). فرآیند شکل‌دهی سطح آنتن بازتابنده به صورت ترکیبی از یک سطح با معادله تحلیلی و یک سطح اختلال

## ۱-۲- تعریف اختلال بر روی سطح با استفاده از توابع

متعامد

برای شکل‌دهی سطح آنتن بازتابنده، اختلال بر روی سطح اولین بار با استفاده از توابع پایه زرنیک با معادله زیر در نظر گرفته شد [۲]:

$$\Delta z(r, \varphi) = \sum_m \sum_n J_{mn}(r) \{c_{mn} \cos(n\varphi) + d_{mn} \sin(n\varphi)\} \quad (2)$$

در این توابع که در مختصات قطبی بیان شده است، عبارت  $J_{mn}(r)$  چند جمله‌ای های ژاکوبی هستند. ضرایب مجهول این

<sup>1</sup> Thin plate Spline (TPS)

<sup>2</sup> Gaussian curvature

<sup>3</sup> Mean curvature

آنتن در این نقاط نسبت به بهره مطلوب در هر نقطه را به دست می‌آوریم. سپس از طریق خطی‌سازی مسئله حول یک تخمین از جواب اولیه، بیشینه این اختلاف‌ها را کمینه می‌کنیم. تابع هزینه بهینه‌سازی در هر تکرار و برای هر نقطه  $i$  در داخل ناحیه موردنظر، به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$cost_i = w_i \frac{g_i - f_i(\alpha)}{g_i} \quad (13)$$

که در رابطه بالا  $w_i$  وزن در نظر گرفته شده برای آن نقطه،  $g_i$  مقدار بهره مطلوب در آن نقطه و  $f_i(\alpha)$  بهره به‌دست‌آمده در هر تکرار برای آن نقطه است که وابسته به ضرایب بسط  $(\alpha)$ ، در هر مرحله از بهینه‌سازی است. تابع هزینه در هر تکرار از بهینه‌سازی،

$$E = \iint \left( \left( \frac{\partial^2 s(x, y)}{\partial x^2} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial^2 s(x, y)}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 s(x, y)}{\partial y^2} \right)^2 \right) dx dy \quad (14)$$

۳- شبیه‌سازی به‌منظور پوشش‌دهی کشور استرالیا

به‌منظور نشان‌دادن کارایی روش ارائه شده، در این بخش شکل-دهی آنتن بازتابنده به‌منظور پوشش‌دهی کشور استرالیا شبیه‌سازی شده است. فرکانس طراحی برابر ۱۰ GHz و طول جغرافیایی نقطه مداری ماهواره GEO برابر ۱۰۰ درجه شرقی در نظر گرفته شده است. تعداد نقاط انتخاب شده به‌منظور بررسی بهره آنتن در این کشور با تفکیک‌پذیری ۲ درجه در طول و عرض جغرافیایی برابر ۱۷۷ نقطه است. آنتن بازتابنده دارای قطر ۱٫۵ متر، فاصله کانونی ۰٫۹ متر و میزان آفست ۰٫۹ متر است. همچنین تغذیه آنتن، پرتوی گوسی شکل با افت لبه برابر dB ۱۸- انتخاب شده است. بهره مطلوب در نقاط داخل کشور استرالیا برابر dB ۳۴ در نظر گرفته شده است.

شکل (۲)، تصویر پرتوی آنتن بدون شکل‌دهی بر روی زمین در محدوده‌ی این کشور را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود بهره مطلوب در همه‌ی نقاط این کشور فراهم نشده و نیاز به شکل‌دهی آنتن وجود دارد.

به‌منظور شکل‌دهی سطح آنتن، اختلال بر روی آن توسط هر یک از بسط‌ها در روابط (۲) تا (۴) با تعداد ۱۰۰ جمله (۱۰۰ ضریب مجهول) در نظر گرفته می‌شود. همچنین برای توابع پایه شعاعی در رابطه (۴) دو فرم گوسی با پارامتر  $\epsilon = 5$  و اسپیلین صفحه نازک به ترتیب از روابط (۶) و (۷) لحاظ شده است. بهینه‌سازی نیز تا ۱۰۰ تکرار انجام شده است. شکل (۳) پرتوی بهره آنتن شکل‌دهی شده در هر حالت را نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل (۳) مشاهده می‌شود هر چهار تابع پایه، به خوبی پرتوی آنتن را متناسب با مرزهای کشور استرالیا تغییر داده و بهره بالاتر از dB ۳۰ را در نقاط داخل این کشور فراهم می‌کند.

$$H = \frac{k_1 + k_2}{2} \quad (9)$$

که در روابط (۸) و (۹)،  $k_1$  و  $k_2$  ماکزیمم و مینیمم انحنای سطح در هر نقطه بوده و به عنوان انحنای اصلی<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند. به جای محاسبه انحنای سطح در هر نقطه، معمولاً همواری سطح را با یک عدد و با انتگرال زیر به نام انرژی کرنش<sup>۲</sup> بیان میکنند:

$$I = \iint (k_1^2 + k_2^2) dA \quad (10)$$

هر چه میزان این انتگرال کوچک باشد سطح هموارتر خواهد بود. از آنجایی که کمینه‌کردن انتگرال فوق منجر به ایجاد معادلات غیرخطی می‌شود تقریبی از رابطه (۱۰) با معادله‌ی زیر استفاده می‌شود [۱۳]:

$$(11)$$

اگر برای کمینه‌شدن تابعی انتگرال (۱۱) از معادلات اویلر-لاگرانژ استفاده شود، معادله زیر به دست می‌آید که به معادله‌ی دوهارمونیک<sup>۳</sup> معروف است:

$$\frac{\partial^4 s}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 s}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 s}{\partial y^4} = 0 \quad (12)$$

به راحتی می‌توان نشان داد که رابطه (۷) یک حل از معادله (۱۲) است، در نتیجه انتظار می‌رود با در نظر گرفتن اختلال بر روی سطح آنتن با این تابع، به سطحی هموارتر نسبت به دو تابع پایه زرنیک و بی - اسپیلین رسید.

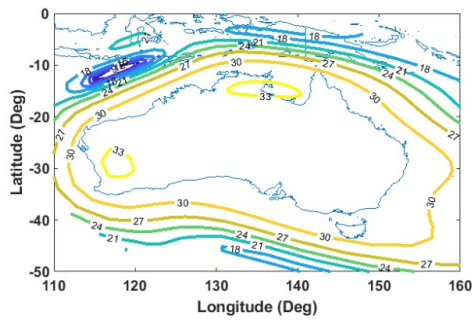
### ۳-۲- بهینه‌سازی ضرایب اختلال سطح

برای به‌دست‌آوردن ضرایب مجهول مربوط به بسط سطح اختلال می‌بایست از یکی از روش‌های بهینه‌سازی استفاده نمود. روش‌های بهینه - سازی که تاکنون استفاده شده است عبارت است از: روش الگوریتم ژنتیک [۵]، روش ازدحام ذرات و علف هرز مزاحم [۱۴]، روش تندترین شیب [۱۵] و روش کمین بیش [۳، ۱۶]، از میان روش‌های ذکر شده، روش کمین بیش به دلیل اینکه جز روش‌های مبتنی بر گرادینان بوده نسبت به دیگر روش‌های بهینه‌سازی که مبتنی بر الگوریتم‌های تکاملی است سرعت اجرای بیشتری دارد [۱۶]. در این مقاله، از این روش به‌منظور پیدا کردن ضرایب بسط استفاده شده است. بدین منظور، ابتدا تعدادی نقطه در ناحیه جغرافیایی موردنظر انتخاب کرده و اختلاف میان بهره

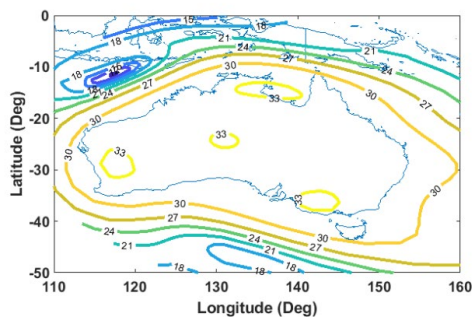
<sup>1</sup> Principal curvature

<sup>2</sup> Strain energy

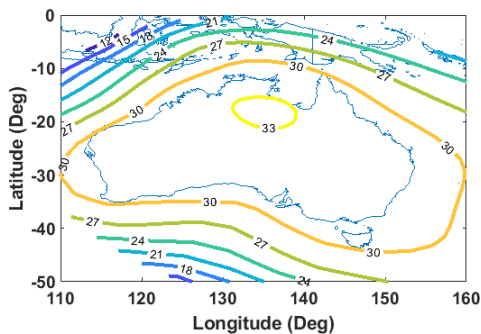
<sup>3</sup> Biharmonic equation



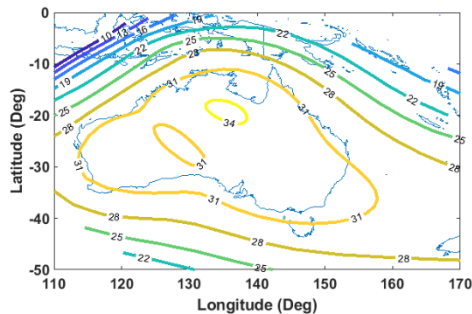
(الف)



(ب)



(ج)



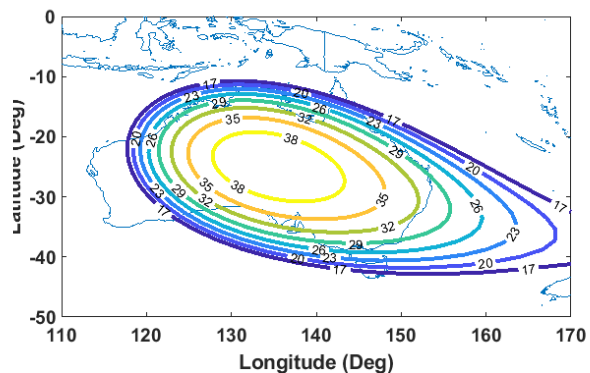
(د)

شکل (۳). پرتوی آنتن بازتابنده‌ی با شکل‌دهی بر روی زمین با استفاده از توابع پایه‌ی الف) زرنیک، ب) بی - اسپلین، ج) شعاعی از نوع گوسی و د) شعاعی از نوع اسپلین صفحه نازک

به‌منظور بررسی دقیق‌تر، متوسط و واریانس بهره‌ی بهینه شده در ایستگاه‌های تعریف شده در داخل کشور استرالیا برای هر یک از توابع پایه در جدول (۱) خلاصه شده است. همانگونه که از جدول مشاهده می‌شود متوسط بهره برای هر چهار تابع پایه تقریباً برابر 32 dB و واریانس آن حدود 1.5 به‌دست‌آمده است. پس می‌توان نتیجه گرفت با هر چهار تابع پایه بهره به‌دست‌آمده در ایستگاهها تقریباً یکسان است.

در شکل (۴) میزان اعوجاجات ایجاد شده بر روی سطح آنتن بازتابنده در هر حالت نشان‌داده شده است. از شکل به خوبی مشخص است توابع پایه‌ی زرنیک و بی - اسپلین اعوجاجات بیشتری را بر روی سطح ایجاد کرده در صورتی میزان اعوجاج ایجاد شده توسط توابع پایه شعاعی به صورت یکنواخت است.

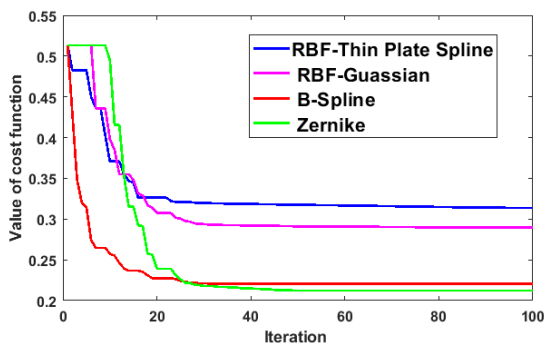
به‌منظور بررسی کمی میزان صافی سطح، انتگرال همواری سطح با رابطه (۱۱) در دو حالت توابع پایه بی اسپلین و اسپلین صفحه نازک در جدول (۲) مقایسه شده است. همانگونه که انتظار می‌رفت عدد به‌دست‌آمده برای تابع پایه اسپلین صفحه نازک کوچکتر است که نشان از کمینه‌شدن انتگرال و هموارتر بودن سطح برای این توابع دارد.



شکل (۲). کانتورهای بهره‌ی آنتن بازتابنده‌ی بدون شکل‌دهی بر روی زمین

جدول (۱). متوسط و واریانس بهره ایستگاهها با سه تابع پایه مختلف

تابع پایه	متوسط	واریانس
زرنیک	31.9653	1.529
بی اسپلین	31.9648	1.5272
شعاعی از نوع اسپلین صفحه نازک	31.9641	1.5297
شعاعی از نوع گوسی	31.9653	1.529



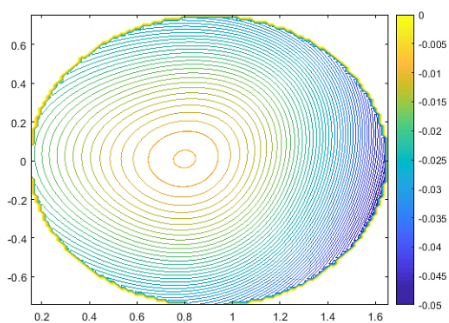
شکل (۵). همگرایی مقدار تابع هزینه‌ی بهینه‌سازی بر حسب تکرار و به ازای توابع پایه مختلف

مقدار تابع هزینه مطابق با رابطه (۱۳) برای هر چهار تابع پایه و به ازای هر تکرار در شکل (۵) نشان داده شده است. همانگونه که از شکل مشاهده می‌شود سرعت همگرایی با استفاده از دو تابع پایه زرنیک و بی - اسپلاین نسبت به توابع پایه شعاعی بیشتر است. در مقایسه توابع پایه شعاعی نیز، تابع پایه شعاعی با فرم گوسی وضعیت همگرایی بهتری دارد.

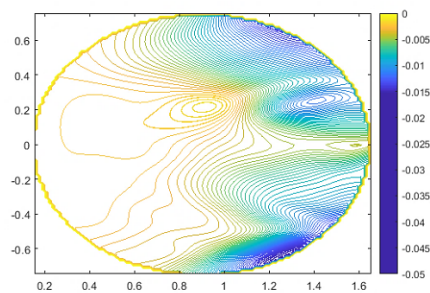
در شکل (۶) نیز، اثر پارامتر  $\epsilon$  در همگرایی تابع پایه شعاعی گوسی و میزان اعوجاج سطح نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است با افزایش پارامتر  $\epsilon$  میزان همگرایی تابع شعاعی بهبود می‌یابد اما در مقابل، میزان اعوجاج بر روی سطح افزایش یافته و در نتیجه می‌بایست مصالح‌های میان این دو انجام شود.

جدول (۲). همواری سطح در دو حالت توابع پایه بی اسپلاین و اسپلاین صفحه نازک

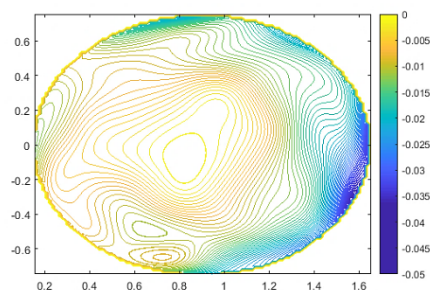
تابع پایه	همواری سطح
بی اسپلاین	1.9781
شعاعی از نوع اسپلاین صفحه نازک	0.0247



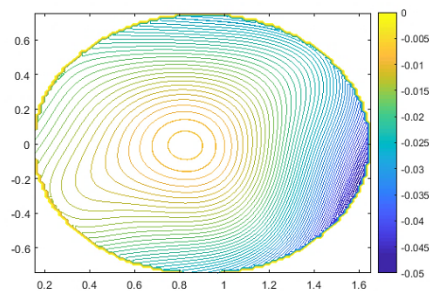
(الف)



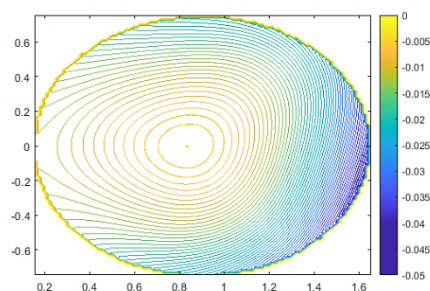
(ب)



(ج)



(د)



(ه)

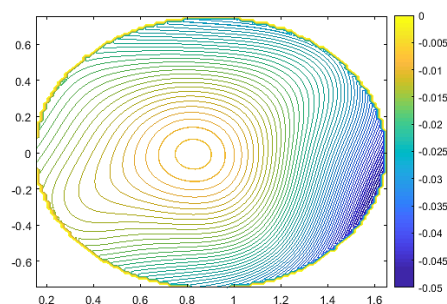
شکل (۴). اختلال ایجاد شده بر روی سطح آنتن بازتابنده بعد از بهینه‌سازی با استفاده از توابع پایه الف) زرنیک، ب) بی - اسپلاین، ج) شعاعی از نوع گوسی و د) شعاعی از نوع اسپلاین صفحه نازک



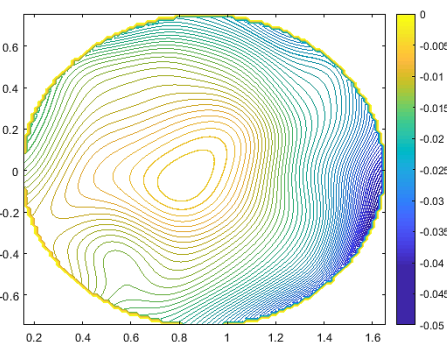
بود مقایسه شد. مشخص شد که توابع پایه شعاعی سطح هموارتری را برای آنتن بازتابنده فراهم کرده که در نتیجه سهولت در ساخت آنتن را به همراه دارد. اما در مقابل سرعت همگرایی این توابع نسبت به توابع پایه دیگر کندتر بوده و لذا زمان اجرای برنامه بیشتر می‌شود.

#### ۵- مراجع

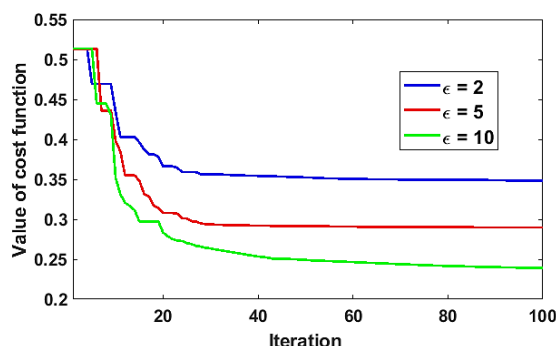
- [1] S. Landeros, R. Neri, and R. Samano "A Tutorial on the Synthesis of Single Shaped Reflectors in C, Ku and Ka Bands," Electromagnetics, vol. 26, pp.131-154, 2006, <https://doi.org/10.1080/02726340500486476>.
- [2] D. W. Duan and Y. Rahmat-Samii, "A generalized diffraction synthesis technique for high performance reflector antennas," IEEE Transaction Antennas and Propagation, vol. 43, no. 1, pp. 27-39, 1995, <https://doi.org/10.1109/8.366348>.
- [3] B. Pinsard, D. Renaud, and H. Diez, "New surface expansion for fast PO synthesis of shaped reflector antennas," 10th Int. Conf. on Antenna and Propag., UK, 1997, <https://doi.org/10.1049/cp:19970200>.
- [4] Y. 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, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-4527/18/7/79>.
- [5] S. L. Avila, Jr. Crapes, and J. A. Vasconcelos, "Optimization of an Offset Reflector Antenna Using Genetic Algorithms," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 40, no.2, pp. 1256-1259, 2004, <https://doi.org/10.1109/TMAG.2004.825313>.
- [6] Y. X. Zhang, J.M. Fu, W.B. Wang, "Frequency-Domain Principle of Pattern Multiplication for Array-Fed Reflector or Lens Antennas," IEEE Microw. & Wirel. Comp. Lett., vol. 14, no.7, pp. 328-330, 2004, <https://doi.org/10.1109/LMWC.2004.829268>.
- [7] F. Vipiana, G. Vecchi, and M. Sabbadini, "A multiresolution approach to contoured-beam antennas," IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 55, No. 3, pp. 684-697, 2007, <https://doi.org/10.1109/TAP.2007.891567>.
- [8] 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, <https://doi.org/10.1109/LAWP.2004.837504>.
- [9] I. Aryanian and M.H. Amini, "The flat-Topped pattern synthesis of the multi-feed reflector antenna," Scientific Journal of radar, vol. 9, no. 1, 2021, <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23454024.1400.9.1.2.4>.
- [10] B. Saka and E. Yazgan, "Pattern optimization of a reflector antenna with planar-array feeds and cluster feeds," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 45, pp. 93-978, Jan. 1997, <https://doi.org/10.1109/8.554245>.
- [11] S. A. Hadadi and A. Ghorbani, "Surface distortion compensation in reflector antennas using a shaped sub-reflector," Scientific Journal of radar, vol. 5, no. 1, 2017, <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23454024.1396.5.1.1.5>.
- [12] S. Mirhadi and I. Aryanian, "Reflector antenna shaping by regularized B-spline in conjunction with one-sided least square optimization," Microw Opt Technol Lett. vol. 63, pp. 2640-2645, 2021, <https://doi.org/10.1002/mop.32956>.



(ب)



(ج)



(د)

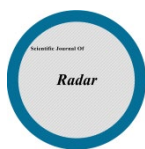
شکل (۶). میزان اعوجاج بر روی سطح برای تابع پایه شعاعی گوسی با مقادیر پارامتر مختلف الف (  $\epsilon = 2$ ، ب)  $\epsilon = 5$  و ج)  $\epsilon = 10$  ) همگرایی مقدار تابع هزینه بهینه‌سازی بر حسب تکرار مربوط به تابع پایه شعاعی به ازای مختلف  $\epsilon$

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، استفاده از توابع پایه شعاعی به‌منظور شکل‌دهی سطح آنتن بازتابنده باهدف دستیابی به پوشش یک ناحیه مشخص از سطح زمین از مدار ماهواره GEO پیشنهاد شد. از توابع پایه شعاعی از نوع گوسی با پارامترهای مختلف و از نوع اسپلاین صفحه نازک برای پوشش‌دهی کشور استرالیا استفاده شد و نتایج با توابع پایه‌ای که قبلاً در مقالات دیگر پیشنهاد شده

- [13]G. Greiner, "Variational design and fairing of slinne surfaces," *Computer Graphics*, vol. 13, no. 3, pp. 143-154, 1994, <https://doi.org/10.1111/1467-8659.1330143>.
- [14]A. Dastran, H. Abiri, A. Mallahzadeh, "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, <https://doi.org/10.1002/mmce.20832>.
- [15]H. H. Chou "Fast SDM for shaped reflector antenna synthesis via patch decompositions in PO integrals," *Progress in electromagnetics research*, PIER 92, pp. 361-375, 2009, <http://dx.doi.org/10.2528/PIER09041902>.
- [16]S. Mirhadi, I. Aryanian, and A. Hassani, "Design of shaped dual reflector antenna using Minimax optimization," *Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers*, vol. 18, no. 3, 2021, <http://dx.doi.org/10.52547/jiaeee.18.3.21>.





## Smooth Shaping of Reflector Antennas Using Radial Basis Functions for Use in GEO Satellite Orbit

S.Mirhadi<sup>1</sup>, A.Hasani<sup>2</sup>, and E.Koohkan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Technical and Vocational University, Tehran, Iran

(Received:2023 /04/21, Revised: 2023/06/23, Accepted: 2023/08/04, Published: 2023/08/24)

DOR: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23454024.1402.11.1.2.8>

### Abstract

*According to the standards of the International Telecommunication Union, shaping a reflector antenna to cover a specific area of the Earth from a satellite in geostationary orbit (GEO) is essential. In this paper, we propose using radial basis functions to shape the reflector antenna surface. The key feature of the proposed method is that the distortion created on the surface of the antenna using radial basis functions is smoother than that created by other basis functions introduced so far. As a result, this method simplifies the antenna manufacturing process. Additionally, by employing radial basis functions, there is no need for constrained optimization to control the distortion of the antenna surface. To demonstrate the effectiveness of radial basis functions in achieving a smooth shape for the reflector antenna, we simulate coverage of Australia by a reflector antenna mounted on a satellite in GEO orbit and compare the results with those obtained using other basis functions, such as Zernike and B-spline basis functions. This comparison shows that radial basis functions produce a smoother antenna surface, facilitating the realization of the antenna design.*

**Keywords:** Reflector antenna, Basis B-spline functions, Basis functions produce, Basis Zernike functions,

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

**Publisher:** Imam Hussein University

**Authors**



\*Corresponding Author Email: [s.mirhadi@shariaty.ac.ir](mailto:s.mirhadi@shariaty.ac.ir)