

تعیین نرخ نمونه برداری مورد نیاز درون‌یابی اسپلاین پایه درجه سوم در محاسبه الگوی سطح مقطع راداری اجسام بزرگ

سعید مقیم زاده محبی^۱، وحید محتشمی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مخابرات دانشگاه فردوسی مشهد، saeed.moghimzadeh@mail.um.ac.ir

^۲ عضو هیأت علمی گروه مهندسی برق دانشگاه فردوسی مشهد، v.mohtashami@um.ac.ir

چکیده - کنترل و کاهش بار محاسباتی یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در محاسبه سطح مقطع راداری اجسامی با ابعاد الکتریکی بزرگ است. زمانی که هدف محاسبه الگوی سطح مقطع راداری در یک بازه زاویه‌ای باشد، به دلیل نیاز به تکرار محاسبات به ازای هر نمونه، رفع این چالش اهمیت فراوانی پیدا می‌کند. یکی از روش‌های متداول برای غلبه بر این چالش استفاده از روش نور فیزیکی است. با وجود عملکرد مناسب روش نور فیزیکی در قیاس با روش‌های عددی نظیر روش ممان در کاهش بار محاسباتی، در صورت انتخاب مناسب نمونه‌ها و به کار بستن یک تابع درون‌یاب مناسب می‌توان عملکرد نهایی را به نحو مؤثری بهبود داد. در این مقاله هدف تعیین نرخ نمونه‌برداری مناسب برای یک جسم با استفاده از نرخ نمونه‌برداری اجزای تشکیل‌دهنده آن است. برای غلبه بر چالش بار محاسباتی، از تابع درون‌یابی اسپلاین پایه درجه سوم در کنار روش نور فیزیکی استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده عملکرد مناسب در انتخاب نمونه‌ها و بازسازی مطلوب الگوی سطح مقطع راداری می‌باشد.

کلیدواژه - اسپلاین پایه درجه سوم، الگوی سطح مقطع راداری، نور فیزیکی.

راداری باید به ازای هر نمونه تکرار شود. در این شرایط به منظور کاهش بار محاسباتی، از روش‌های کنترل نرخ نمونه‌برداری زاویه-ای در الگوی سطح مقطع راداری و درون‌یابی نمونه‌های حاصل بهره می‌گیریم.

۱- مقدمه

در گذشته فعالیت‌های پژوهشی در زمینه انتخاب نمونه‌ها و درون‌یابی الگوی سطح مقطع راداری انجام شده است. برخی از این پژوهش‌ها به تعیین نرخ نمونه‌برداری برای کل جسم مورد نظر در بازه حل پرداخته‌اند [۱-۳]. این دسته از روش‌ها پس از تعیین بیشینه نرخ نمونه‌برداری مورد نیاز برای جسم، از آن نرخ در تمام بازه حل استفاده می‌کنند. این موضوع باعث کاهش کارایی محاسباتی می‌شود. در مقابل، روش‌هایی برای نمونه‌برداری تطبیق‌پذیر ارائه شده است. در این روش‌ها بدون استفاده از داده‌های هندسی مسئله، با تقسیم محدوده زاویه‌ای مورد نظر به چند زیربازه و مقایسه خطای موجود در بخش‌های مشترک این زیربازه‌ها به تعیین محل نمونه‌های جدید می‌پردازند [۴-۶]. روش‌های این دسته که از الگوریتم‌های تطبیق‌پذیر برای نمونه‌برداری استفاده می‌کنند در کاهش تعداد نمونه‌های به کار رفته عملکرد مناسبی دارند. البته استفاده از الگوریتم‌های تطبیق‌پذیر به معنای تحمیل تکرارهای متعدد در روند محاسبات

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در محاسبه سطح مقطع راداری^۱ برای اجسامی با ابعاد الکتریکی بزرگ، بار محاسباتی زیاد این فرآیند است. این اجسام که ابعاد آن‌ها بسیار بزرگتر از طول موج است به عنوان اجسام بزرگ شناخته می‌شوند. یکی از راهکارهای متداول برای غلبه بر چالش بار محاسباتی استفاده از روش‌های مجانبی^۲ است. این دسته از روش‌ها بر استفاده از تقریب فرکانس بالای معادلات ماکسول بنا نهاده شده‌اند. تقریب فرکانس بالا در محاسبه سطح مقطع راداری اجسام بزرگ منجر به کاهش بار محاسباتی در ازای تحمل اندکی کاهش دقت می‌شود. روش مجانبی مورد نظر در این مقاله، روش نور فیزیکی است. در این روش ابتدا ناحیه روشن شده از جسم تعیین می‌شود و پس از آن محاسبه میدان‌های پراکندگی از این ناحیه انجام می‌شود. بخش مهمی از بار محاسباتی روش نور فیزیکی مربوط به تعیین ناحیه روشن است و این بخش در محاسبه الگوی سطح مقطع

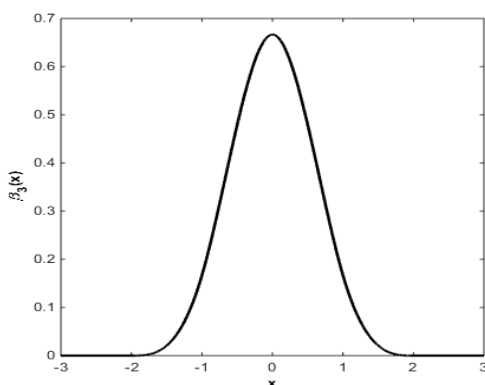
^۱ Radar Cross Section (RCS)

^۲ Asymptotic Techniques

تابع درون‌یابی شده با استفاده از اسپلاین درجه سوم، حاصل از رابطه (۱)، به صورت رابطه زیر نشان داده می‌شود [۷]:

$$f(x) = \sum_{m=i-1}^{i+2} c(m) \beta_3\left(\frac{x-mT}{T}\right); x \in [x_i, x_{i+1}] \quad (2)$$

در این رابطه f تابع مورد نظر، $c(m)$ ضرایب وزن، T دوره نمونه برداری و $[x_i, x_{i+1}]$ نشان دهنده طول بازه‌ی بین دو نمونه متوالی شامل نقطه مشاهده است. طبق شکل ۱، گسترش مکانی تابع اسپلاین پایه درجه سوم نشان می‌دهد که برای بازسازی تابع اصلی در هر نقطه، تنها چهار جمله اطراف نقطه مورد نظر مورد نیاز است. این موضوع در کران‌های مجموع نشان داده شده در رابطه (۲) اعمال شده است.



شکل ۱: تابع اسپلاین پایه درجه سوم

از نظر محاسباتی استفاده از روش اسپلاین پایه درجه سوم به دلیل مقاومت در برابر پدیده رانژ^۵ (رخ دادن نوسانات زاید در تابع درون‌یاب) و امکان استفاده از هر توزیع نمونه (یکنواخت یا غیر یکنواخت)، آزادی عمل زیادی برای درون‌یابی ارائه می‌دهد [۸]. همچنین در این روش بار محاسباتی تنها با نسبت $O(N)$ (تعداد نمونه‌ها) افزایش می‌یابد و خطا با نسبت $O(h^4)$ (حداکثر فاصله نمونه‌های متوالی) کاهش می‌یابد [۸]. در نتیجه، استفاده از این روش می‌تواند دقت مورد نیاز را با افزایشی اندک در بار محاسباتی تأمین نماید. پاسخ فرکانسی فیلتر بازسازی اسپلاین پایه در حالت کلی به صورت زیر نشان داده می‌شود [۹]:

$$H_n(\omega) = \frac{(\text{sinc}(\omega/\omega_s))^{n+1}}{\beta_n[0] + 2 \sum_{k=1}^{\lfloor n/2 \rfloor} \beta_n[k] \cos(2\pi k \omega/\omega_s)} \quad (3)$$

که در آن ω_s نشان‌دهنده فرکانس زاویه‌ای نمونه‌برداری متناظر با T است. با قرار دادن $n=3$ فیلتر بازسازی اسپلاین پایه درجه سوم به دست می‌آید. این فیلتر بازسازی در شکل ۲ نشان داده شده است.

است. علاوه بر آن در این روش‌ها باید نمونه‌های اولیه به درستی انتخاب شوند تا نیازی به نمونه‌برداری فراوان در بازه حل نباشد.

در این مقاله روشی جدید برای تعیین نرخ نمونه‌برداری مناسب برای بازسازی الگوی سطح مقطع راداری بر اساس هندسه جسم و اجزای تشکیل دهنده آن ارائه شده است. در این روش با استفاده از هندسه جسم، محاسبات مربوط به تعیین محل نمونه‌ها به بخش پیش محاسبات منتقل شده و از ایجاد حلقه‌های تکرار در الگوریتم اصلی اجتناب می‌گردد. همچنین برای کاهش بار محاسباتی و افزایش دقت در محاسبات از روش درون‌یابی اسپلاین پایه درجه سوم^۳ استفاده شده است. انتخاب این روش درون‌یابی به دلیل دقت بالا و بار محاسباتی اندک آن می‌باشد. در ادامه این مقاله ابتدا به معرفی درون‌یابی اسپلاین پایه درجه سوم در بخش ۲-۱ می‌پردازیم. در بخش ۲-۲ روش مورد نظر برای تعیین نرخ نمونه‌برداری مناسب برای برخی از اجسام هندسی پایه و تعیین محل نمونه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش ۲-۳ چگونگی استفاده از داده‌های اجسام هندسی پایه را در تحلیل اجسامی شرح می‌دهیم که از ترکیب چند جسم پایه ایجاد می‌شوند. در بخش ۳ به ارائه نتایج استفاده از روش ارائه‌شده در تهیه الگوی سطح مقطع راداری تک پایه^۴ برای یک دیسک، دیواره استوانه و ترکیب آن‌ها می‌پردازیم.

۲- روش پیشنهادی

روش حل مورد استفاده در این مقاله شامل سه بخش اصلی می‌شود. این بخش‌ها شامل استفاده از درون‌یابی اسپلاین پایه درجه سوم، تعیین نرخ نمونه‌برداری مناسب برای اجسام پایه و تعیین نرخ نمونه‌برداری اجسام مرکب می‌شود. در ادامه هر کدام از این بخش‌ها را به صورت مجزا مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۲-۱- درون‌یابی با استفاده از اسپلاین پایه درجه سوم

تابع درون‌یاب اسپلاین پایه در حالت کلی به صورت زیر نوشته می‌شود [۷]:

$$\beta_n(x) = \frac{1}{n!} \sum_{k=0}^{n+1} (-1)^k \frac{(n+1)!}{k!(n-k+1)!} \times \left(x-k+\frac{n+1}{2}\right)^n u\left(x-k+\frac{n+1}{2}\right) \quad (1)$$

در این رابطه n درجه تابع درون‌یاب و $u(x)$ تابع پله واحد است.

⁵ Runge's phenomena

³ Cubic B-Spline

⁴ Monostatic

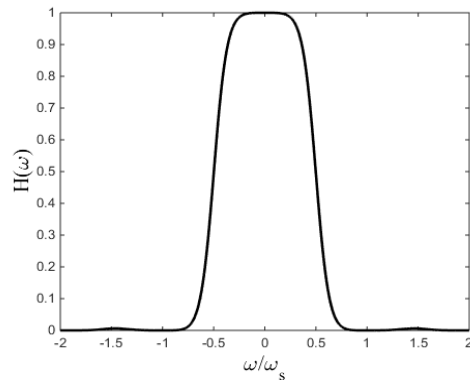
خطای مذکور زیاد باشد. در مرحله بعد با استفاده از پهنای باند مؤثر و اطلاعات مربوط به نرخ نمونه‌برداری مناسب برای فیلتر بازسازی اسپلاین پایه درجه سوم نرخ نمونه برداری و محل نمونه‌ها تعیین می‌شود.

به عنوان نمونه‌ای از اعمال این روش برای اجسام پایه به بررسی دو ساختار می‌پردازیم. این ساختارها یک دیسک هادی با شعاع a و دیواره یک استوانه با ارتفاع h و شعاع a هستند. در این فرایند سطح مقطع راداری تک پایه مورد بررسی قرار گرفته است که از نظر کاربردی اهمیت فراوان دارد. فرم بسته مربوط به میدان پراکندگی از دیسک هادی به روش نور فیزیکی به صورت زیر نشان داده می‌شود [۱۰]:

$$H^s = jka^2 \cos \theta_i \frac{e^{-jkr}}{R} \frac{J_1(2ka \sin \theta_i)}{2ka \sin \theta_i} \hat{h}_i \quad (4)$$

در این رابطه k ثابت انتشار، θ_i زاویه تابش نسبت به محور z ، \hat{h}_i بردار یکه قطبش موج تابشی و R فاصله نقطه مشاهده تا محل جسم در راه دور را نشان می‌دهد. تابع J_1 نشان دهنده تابع بسل نوع اول مرتبه ۱ است. در نتیجه استفاده از تبدیل فوریه برای تعیین پهنای باند مؤثر، این پهنای باند برای دیسک برابر با ka/π بدست می‌آید. با توجه به این مقدار در صورت استفاده از روش درون یابی اسپلاین باید از نمونه برداری با فواصل $\pi/4ka$ استفاده کنیم. همچنین قابل ذکر است که در فرآیند محاسبه تبدیل فوریه برای راحت تر شدن محاسبات قبل از انجام تبدیل فوریه از تغییر متغیر $\xi = \sin \theta_i$ استفاده کرده- ایم. با در نظر گرفتن بازه نامحدود برای این متغیر جایگزین و ضرب کردن جمله‌ی $J_1(2ka\xi)/2ka\xi$ در یک پالس واحد با عرض $4ka$ ، تابع اصلی معادل شده است. در نتیجه استفاده از این روش، نمونه‌های زاویه‌ای بایستی به گونه‌ای توزیع شوند که اختلاف $\sin \theta_i$ بین دو نمونه متوالی با یکدیگر برابر باشد.

انتگرال نور فیزیکی برای دیواره استوانه به صورت یک انتگرال دوگانه روی متغیرهای z و ϕ نوشته می‌شود. محاسبه این انتگرال در راستای محور تقارن (z) به صورت تحلیلی و با استفاده از روش جزء به جزء امکان پذیر است. اما در راستای ϕ محاسبه فرم بسته امکان پذیر نیست. در نتیجه برای تهیه فرم بسته برای میدان پراکندگی از دیواره استوانه از تقریب فاز ایستاد^۶ در راستای ϕ استفاده شده است. نتیجه این محاسبات به فرم زیر نشان داده می‌شود [۱۰]:



شکل ۲: نمودار فیلتر بازسازی تابع اسپلاین پایه درجه سوم

طبق شکل ۲ باند عبور این فیلتر تا $\omega = \omega_s/4$ تخت است و در باند توقف دست کم 40 dB افت در مضارب صحیح ω_s ایجاد می‌کند [۷]. در صورت انتخاب نرخ نمونه‌برداری معادل با ۴ برابر ω_s به دقت مناسب در بازسازی نمونه‌ها دست خواهیم یافت.

۲-۲- تعیین نرخ نمونه برداری

هدف نهایی تعیین نرخ نمونه‌برداری مناسب برای بازسازی الگوی سطح مقطع راداری یک جسم از روی نمونه‌های آن است. برای این منظور ابتدا نرخ نمونه‌برداری مناسب برای چند جسم پایه محاسبه می‌شود. سپس جسم مورد نظر با استفاده از ترکیب این اجسام پایه مدل می‌شود. با ترکیب نرخ‌های نمونه برداری محاسبه شده برای مجموعه اجسام پایه تشکیل دهنده جسم مورد نظر، نرخ نمونه‌برداری و محل نمونه‌های مورد نیاز برای آن تعیین می‌شود.

بر اساس رویکرد فوق، نخستین گام تعیین نرخ نمونه‌برداری مناسب برای مجموعه‌ای از اجسام پایه است. این مجموعه باید قادر باشد تا اهداف مورد نظر را مدل‌سازی نماید. اجسام پایه مذکور ساختارهای هندسی هستند که می‌توان برای میدان پراکنده شده از آن‌ها به روش نور فیزیکی فرم بسته تهیه نمود.

برای تعیین نرخ نمونه‌برداری مناسب برای اجسام پایه به این صورت عمل می‌کنیم که ابتدا فرم بسته میدان پراکندگی را با استفاده از روش نور فیزیکی به دست می‌آوریم. پس از آن تبدیل فوریه این فرم بسته را محاسبه می‌کنیم. کران این تبدیل فوریه پهنای باند مورد نظر برای ساختار مورد بررسی را نشان می‌دهد که به آن پهنای باند مؤثر گفته می‌شود. منظور از پهنای باند مؤثر، پهنای باندی است که در صورت استفاده از مقادیر بیش تر از آن تغییرات خطای حاصل از نمونه‌برداری تغییر زیادی نداشته باشد و در صورت استفاده از مقادیر کمتر از آن تغییرات

⁶ stationary phase approximation

$$H_s = \frac{jh \sin(kh \cos \theta_i)}{2\pi kh \cos \theta_i} \sqrt{ka\pi \sin \theta_i} e^{j\frac{\pi}{4}} e^{2jka \sin \theta_i} \quad (5)$$

در این رابطه k ثابت انتشار، a شعاع قاعده و h ارتفاع دیواره استوانه را نشان می‌دهد. با استفاده از تحلیل فوریه پهنای باند موثر برای میدان مغناطیسی پراکندگی به صورت $kh/2\pi$ به دست می‌آید. در نتیجه برای استفاده در روش درون‌یابی اسپلین باید از نمونه‌برداری با فواصل $\pi/2kh$ استفاده نمود. در محاسبه تبدیل فوریه میدان پراکندگی از تغییر متغیر $\xi = \cos \theta_i$ استفاده شده است و در نتیجه توزیع نمونه‌ها باید به گونه‌ای باشد که نمونه‌ها با فواصل $\cos \theta_i$ های یکنواخت پخش شوند. این محاسبات برای اجسام پایه دیگری نیز قابل اجرا است. از جمله این اجسام می‌توان به صفحه مسطح، دیواره مخروط و اجسام دوار اشاره کرد.

۲-۳- اجسام مرکب

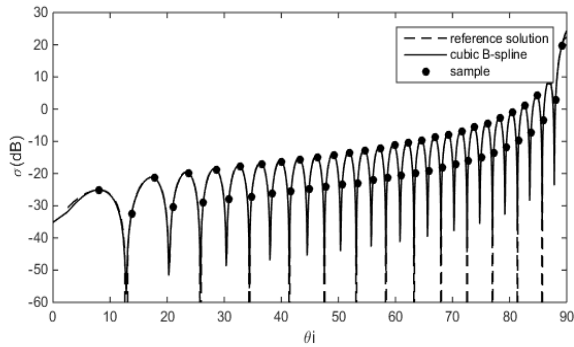
پس از تعیین نرخ نمونه‌برداری اجسام پایه نوبت به ترکیب داده‌های حاصل به منظور تعیین نرخ نمونه برداری و محل نمونه‌ها برای جسم اصلی می‌رسد. فرآیند تعیین نرخ نمونه برداری کلی شامل چند بخش است. در اولین گام محل قله نمودار سطح مقطع راداری بر اساس داده‌های هندسی و بردار تابش برای تک تک اجسام پایه محاسبه و نتایج حاصل با هم ترکیب می‌شوند تا تمام قله‌های نمودار نهایی مکان‌یابی شوند. در گام دوم بازه‌ای حول هر قله در نظر گرفته می‌شود که به آن بازه اثر آن قله می‌گوئیم. تعیین عرض بازه اثر بر مبنای دقت مورد انتظار و اندازه قله انجام می‌شود. در سومین گام اثرات متقابل بین اجسام پایه مورد بررسی قرار می‌گیرد. این اثرات شامل بازتاب‌های متوالی، اثر سایه اندازی روی یکدیگر و قرار گرفتن قله نمودار چند جسم در یک زاویه یکسان است. پس از بررسی این اثرات در صورت نیاز می‌توان در بخشی از زاویه حل اقدام به تعیین نرخ نمونه‌برداری برای پوشش اثر این برهم کنش‌ها نمود. برای این منظور در گام چهارم نرخ نمونه‌برداری مربوط به هر بازه تعیین می‌شود. به این منظور از نرخ مربوط به جسم تولیدکننده قله‌ها و نرخ مربوط به برهم‌کنش رخ داده، در بازه‌های اثر مربوط به هر کدام استفاده می‌شود. در بخش‌هایی از محدوده حل که در هیچ یک از این بازه‌ها قرار نگرفته اند از میانگین نرخ‌های نمونه برداری بازه‌های مجاور استفاده می‌شود. البته در مورد این بازه‌ها می‌توان از روش‌های دیگری نیز برای تعیین نمونه‌ها استفاده کرد که انتخاب روش با توجه به کاربرد و

نیاز مسئله بر عهده کاربر است. در پایان این گام، محل نمونه‌ها در تمام بازه حل مشخص می‌شود و می‌توان اقدام به محاسبه سطح مقطع راداری تک‌پایه در آن‌ها نمود. خروجی این نمونه برداری به عنوان داده‌های اولیه برای درون‌یابی توسط تابع اسپلین پایه درجه سوم وارد می‌شود.

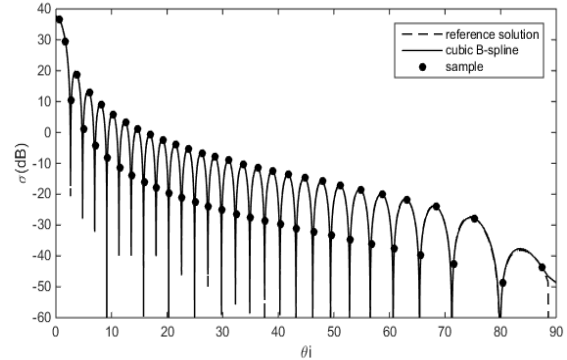
۳- نتایج عددی

در این قسمت به منظور بررسی عملکرد روش ارائه شده، به بررسی الگوی سطح مقطع راداری تک پایه برای اجسام معرفی شده می‌پردازیم. قابل ذکر است که به دلیل اهمیت اطلاعات مربوط به زوایای دارای اندازه سطح مقطع راداری بیشتر، برای تهیه نمودار خطا و محاسبه میانگین آن، تنها از نقاط دارای سطح مقطعی حداکثر ۵۰ دسی بل کمتر از ماکزیمم استفاده شده است. این خطا به صورت تفاضل مقادیر سطح مقطع راداری بر حسب dB بین نتایج شبیه سازی و درون‌یابی ذکر شده است. روش نور فیزیکی بخش اعظم میدان پراکندگی را به دست می‌دهد ولی در صورت وجود لبه تیز برای بهبود دقت از روش‌های *PTD* یا *GTD* استفاده و میدان تفرقی حاصل به میدان نور فیزیکی افزوده می‌شود. در این مقاله به دلیل تمرکز بر روش نور فیزیکی از میدان تفرقی صرف نظر شده است. برای تهیه داده‌های مورد نیاز برای نمودارهای مرجع و نمونه‌های انتخاب شده برای درون‌یابی از نرم افزار FEKO استفاده شده است.

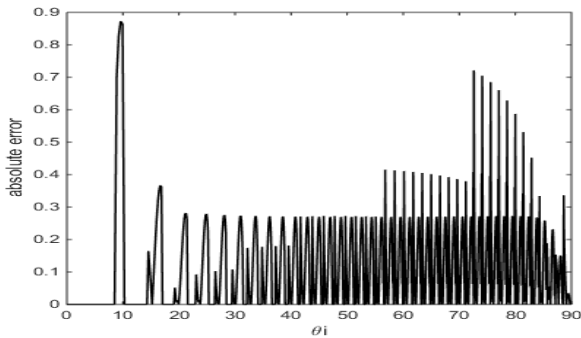
اولین جسم مورد بررسی یک دیسک هادی با شعاع ۱ متر است. این دیسک در صفحه xy واقع شده است و زاویه مشاهده نسبت به محور z در نظر گرفته می‌شود. شکل ۳ الگوی سطح مقطع راداری مربوط به این جسم را در فرکانس ۲ گیگاهرتز و در صفحه ϕ ثابت بر حسب زاویه‌ی تابش نشان می‌دهد. در این شکل مقایسه‌ای بین نتایج حاصل از روش پیشنهادی و نمونه برداری با تعداد زیادی از نمونه‌ها انجام شده است. برای تهیه داده‌های این شکل در روش ارائه شده در این مقاله از ۵۴ نمونه درون‌یابی اسپلین پایه درجه سوم استفاده شده است. این در حالی است که برای تهیه نمودار مرجع از ۳۶۰ نمونه استفاده شده است و تهیه هر نمونه به طور متوسط ۰٫۱۲ ثانیه زمان برده است. شکل ۴ نشان دهنده اندازه‌ی خطا بین مقادیر درون‌یابی شده و نتایج مرجع است. میانگین خطا در این نمودار ۰٫۱۳ دسی بل می‌باشد. قله خطای دیده شده در شکل ۴ در محل یک صفر نمودار سطح مقطع راداری رخ داده است و با توجه به نداشتن ارزش کاربردی از آن صرف‌نظر می‌کنیم.



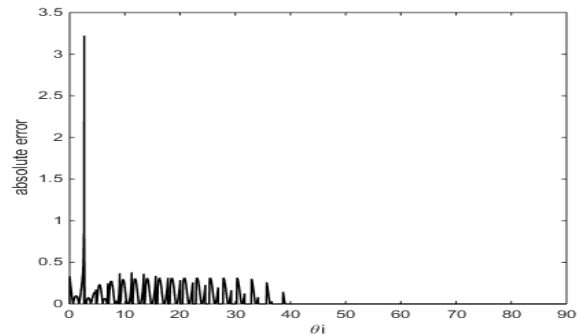
شکل ۵: نمودار الگوی سطح مقطع راداری برای یک دیواره استوانه با ارتفاع ۲ و شعاع ۱ متر



شکل ۳: نمودار الگوی سطح مقطع راداری برای یک دیسک هادی با شعاع ۱ متر.



شکل ۶: نمودار خطای مطلق برای نقاط حداکثر ۵۰ دسی بل کمتر از ماکزیمم.



شکل ۴: نمودار خطای مطلق برای نقاط حداکثر ۵۰ دسی بل کمتر از ماکزیمم.

به عنوان نمونه‌ای بر استفاده همزمان از داده‌های این دو جسم برای تهیه نمودار سطح مقطع راداری مربوط به یک جسم مرکب به بررسی الگوی سطح مقطع راداری یک استوانه کامل می‌پردازیم. شکل ۷ الگوی سطح مقطع راداری حاصل از روش پیشنهادی مقاله را همراه با محل نمونه‌ها در مقایسه با نمودار مرجع حاصل از شبیه‌سازی با تعداد زیادی نمونه نشان می‌دهد. ساختار مورد استفاده در این شکل یک استوانه کامل (شامل دیواره و دیسک کف و بالا) با ارتفاع ۲ و شعاع قاعده ۱ متر بوده است. فرکانس کار در این شبیه‌سازی ۲ گیگاهرتز در نظر گرفته شده است. در این فرآیند از ۷۴ نمونه استفاده شده است. برای تهیه نمودار مرجع در این شکل نیز از ۳۶۰ نمونه استفاده کرده ایم که تهیه هر نمونه ۰٫۵ ثانیه زمان برده است. شکل ۸ نمودار خطای مطلق مربوط به نمودارهای ارائه شده در شکل ۷ را نشان می‌دهد. برای تهیه این نمودار از نقاط دارای سطح مقطعی حداکثر ۵۰ دسی بل کمتر از ماکزیمم استفاده شده است. میانگین خطا در این بازه ۰٫۶۳ دسی بل بوده است. با وجود قابل توجه بودن خطای ماکزیمم در شکل ۸ به این دلیل که این خطا در نزدیکی صفرهای نمودار سطح مقطع راداری رخ داده است و مقدار نمودار در این نقاط بسیار کم است، نتایج مناسب ارزیابی می‌شوند.

نمونه‌ی دیگری برای استفاده از این روش در شکل ۵ نشان داده شده است. این شکل مقایسه‌ای بین نمودار الگوی سطح مقطع راداری حاصل از روش پیشنهادی و پیاده‌سازی فرم بسته با تعداد بسیار زیادی از نمونه‌ها را برای دیواره یک استوانه به ارتفاع ۲ و شعاع ۱ متر نشان می‌دهد. محور این استوانه منطبق بر محور z است. همچنین زاویه تابش در صفحه ϕ ثابت و زاویه تابش نسبت به محور z در نظر گرفته شده است. فرکانس مورد استفاده برای تهیه این داده‌ها ۲ گیگاهرتز بوده است. برای تهیه داده‌های این شکل در روش ارائه شده در این مقاله از ۵۳ نمونه و درون‌یابی اسپلاین پایه درجه سوم استفاده شده است. برای تهیه نمودار مرجع در این شکل از ۳۶۰ نمونه استفاده شده که تهیه هر کدام ۰٫۳۴ ثانیه زمان برده است.

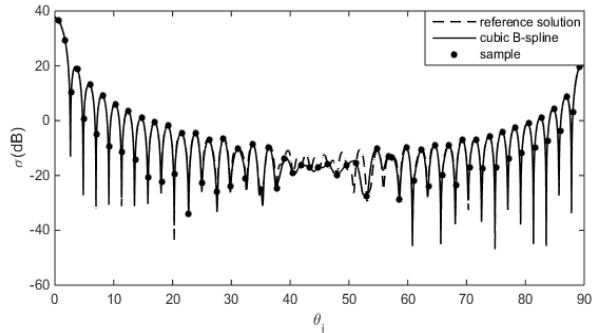
شکل ۶ نشان دهنده اندازه‌ی خطا بین مقادیر درون‌یابی شده و نتایج مرجع ذکر شده در شکل ۵ است. میانگین خطا در این بازه ۰٫۱۶ دسی بل می‌باشد. قله‌های خطای دیده شده در شکل ۶ نیز وضعیتی مشابه قله شکل ۴ دارند و از نظر کاربردی بی‌ارزش تلقی می‌شوند.

نرخ نمونه برداری مناسب برای اجسام بزرگ شده است. در این فرآیند از روش نور فیزیکی، درون یایی اسپلاین پایه درجه سوم و تعیین نرخ نمونه برداری با توجه به هندسه جسم هدف استفاده شده است.

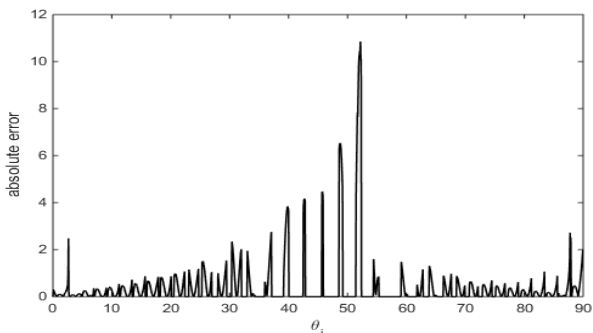
برای تعیین نرخ نمونه برداری مناسب ابتدا جسم مورد بررسی به مجموعه‌ای از اجسام پایه افزای می‌شود. پس از آن نرخ نمونه برداری در بازه زاویه‌ای مورد نظر با ترکیب نرخ‌های نمونه برداری این اجسام پایه تعیین می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از شبیه سازی‌ها روش ارائه شده برای اجسام پایه میانگین خطای کمتر از ۰,۲ دسی بل و برای جسم مرکب مورد بررسی میانگین خطای ۰,۶۳ دسی بل در محاسبه سطح مقطع راداری داشته است. همچنین این روش موفق به کاهش زمان محاسبات برای این اجسام پایه تا یک ششم و برای جسم مرکب نمونه تا یک پنجم نسبت به نمودار مرجعی با همان دقت شده است.

مراجع

- [1] O. M. Bucci and G. Franceschetti, "On the spatial bandwidth of scattered fields," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 35, pp. 1445-1455, 1987.
- [2] O. M. Bucci, C. Gennarelli, and C. Savarese, "Optimal interpolation of radiated fields over a sphere," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 39, pp. 1633-1643, 1991.
- [3] O. M. Bucci, C. Gennarelli, and C. Savarese, "Representation of electromagnetic fields over arbitrary surfaces by a finite and nonredundant number of samples", *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 46, pp. 351-359, 1998.
- [4] E. K. Miller, "Model-based parameter estimation in electromagnetics. I. Background and theoretical development," *Antennas and Propagation Magazine, IEEE*, vol. 40, pp. 42-52, 1998.
- [5] E. K. Miller, "Model-based parameter estimation in electromagnetics. II. Applications to EM observables," *Antennas and Propagation Magazine, IEEE*, vol. 40, pp. 51-65, 1998.
- [6] E. K. Miller, "Adaptive Sparse Sampling to Estimate Radiation and Scattering Patterns to a Specified Uncertainty with Model-Based Parameter Estimation: Compute patterns using as few as two to four samples per lobe," *Antennas and Propagation Magazine, IEEE*, vol. 57, pp. 103-113, 2015.
- [7] V. Mohtashami and A. A. Shishegar, "Efficient ultrawideband propagation modelling by using the cubic B-spline function in ray tracing calculations," *Microwaves, Antennas & Propagation, IET*, vol. 6, pp. 1347-1358, 2012.
- [8] G. Dahlquist and A. Bjorck, *Numerical methods in scientific computing* vol. 1: SIAM, 2008.
- [9] Z. Mihajlovic, A. Goluban, and M. Zagar, "Frequency domain analysis of B-spline interpolation," in *Industrial Electronics, 1999. ISIE '99. Proceedings of the IEEE International Symposium on*, 1999, pp. 193-198 vol.1.
- [10] L. L. Williams, "Physical optics theory of radar cross section," 1999.



شکل ۷: نمودار الگوی سطح مقطع راداری استوانه کامل

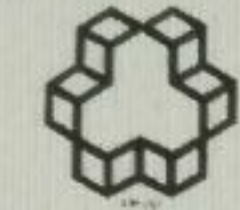


شکل ۸: نمودار خطای مطلق برای نقاط حداکثر ۵۰ دسی بل کمتر از ماکزیمم

همانطور که در نمودارهای ارائه شده دیده می‌شود استفاده از تابع اسپلاین پایه درجه سوم همراه با انتخاب نرخ نمونه برداری مناسب، برای اجسام پایه با دقت بسیار بالایی جواب می‌دهد. در مورد اجسام مرکب در محدوده‌های دارای نرخ نمونه برداری غالب پاسخ این روش مناسب است اما در محدوده‌های میانی می‌تواند پاسخ‌هایی با خطاهای متفاوت ایجاد کند. همانطور که در شکل ۷ دیده می‌شود در ناحیه میانی این خطا رخ داده است. دلیل این خطا آن است که در این بازه از نمونه‌های مربوط به داده‌های دارای اهمیت بیشتر (نرخ نوسان بیشتر) به تنهایی استفاده شده است. این کار باعث کاهش تعداد نمونه‌های مورد نیاز در این بازه شده اما در کنار آن منجر به بروز خطا می‌شود. برای رفع این خطا می‌توان با صرف نظر از کاهش تعداد نمونه‌ها در این بازه از روش‌های دیگر ترکیب نمونه‌ها اجسام پایه، مانند اجتماع نمونه‌های آن‌ها استفاده نمود. همانطور که دیده می‌شود ترکیب دو جسم پایه منجر به افزایش زمان مورد نیاز برای محاسبه هر نمونه شد که این امر حکایت از اهمیت کاهش تعداد نمونه در محاسبه سطح مقطع راداری برای اجسام پیچیده و بزرگ دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله با هدف کنترل بار محاسباتی اقدام به تعیین



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی



بیست و پنجمین کنفرانس مهندسی برق ایران
۱۲ تا ۱۴ اردیبهشت ۱۳۹۶ - ایران - تهران - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
25th Iranian Conference on Electrical Engineering
May 2-4, 2017, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

“ گواهی ارائه مقاله ”

بدینوسیله گواهی می گردد مقاله
Determination of proper sampling rate for cubic B-Spline interpolation of the
RCS pattern of large objects

توسط نویسنده/نویسندگان محترم سعید مقیم زاده محبی، وحید محتشمی

در بیست و پنجمین کنفرانس مهندسی برق ایران در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ارائه گردید.
پیروزی و سرافرازی شما را در فعالیت های علمی و پژوهشی پیش رو از خداوند بزرگ خواستاریم.

دبیر کنفرانس

دکتر محمد توکلی بینا