

تعیین مرکز فازی آنتن‌های GNSS توسط الگوریتم ژنتیک

فیروز کیوانی^۱، دانشجوی کارشناسی ارشد؛ آرمین غنی^۲، دانشجوی کارشناسی ارشد؛ سید حسن صدیقی^۳، استادیار

۱- دانشکده فناوری‌های نوین - دانشگاه علم و صنعت - تهران - ایران - firooz.keyvani@gmail.com

۲- دانشکده فناوری‌های نوین - دانشگاه علم و صنعت - تهران - ایران - ghani_armin@nt.iust.ac.ir

۳- دانشکده فناوری‌های نوین - دانشگاه علم و صنعت - تهران - ایران - sedighy@iust.ac.ir

چکیده: در این مقاله مرکز فاز آنتن و نیز تغییرات آن با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی و با به‌کارگیری روش ژنتیک محاسبه شده است. پارامتر انحراف مرکز فاز به‌تنهایی نمی‌تواند پاسخگوی ارزیابی دقیق از وضعیت الگو فاز آنتن باشد و نیاز است تا پارامتر دیگری نیز تحت عنوان تغییرات مرکز فاز مورد بررسی و ارزیابی قرار بگیرد. در واقع تغییرات مرکز فازی بیانگر میزان پایداری مرکز فاز است که در کاربردهای مختلف به‌ویژه کاربردهای موقعیت‌سنجی دقیق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش جدید پیشنهادی برای محاسبه مرکز فاز آنتن و تغییرات مرکز فاز در حالت سه‌بعدی با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی و به کمک الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک پیاده‌سازی گشته و نتایج آن به‌صورت تفصیلی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در این زمینه تعدادی از آنتن‌های ساده ریزنوری در باندهای فرکانسی سامانه GPS انتخاب و شبیه‌سازی شده و مرکز فازی و تغییرات آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در انتها به‌منظور صحت‌سنجی روش استفاده شده در این مقاله، از روش جدیدی برای محاسبه مرکز فاز آنتن با استفاده از نرم‌افزار HFSS استفاده گردیده است.

واژه‌های کلیدی: مرکز فاز آنتن، تغییرات مرکز فاز، قطبش دایروی، الگوریتم ژنتیک، جی پی اس

Determination of GNSS Antenna phase center with Genetic Algorithm

Firouz Keyvani, MSc Student¹, Armin Ghani, MSc Student², Seyed Hassan Sedighy, Assistant Professor³

1- Faculty of New Technologies, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, Email: F_keyvani@nt.iust.ac.ir

2- Faculty of New Technologies, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, Email: ghani_armin@nt.iust.ac.ir

3- Faculty of New Technologies, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, Email: sedighy@iust.ac.ir

Abstract: In this paper, the antenna phase center and its variations are discussed by using simulation data and genetic algorithm. Since the antenna phase center cannot be considered as a detailed assessment of the antenna phase pattern, it is required to evaluate the phase center variations. In fact, phase center variation shows the phase center stability which is used in many applications such as precise positioning. The new proposed approach can be used to calculate the antenna phase center and phase center variations in three dimensions by using simulation data and genetic algorithm optimization. To show the proposed method ability, some simple GPS microstrip antennas are selected and simulated to compare their phase patterns by phase center variation computation with the proposed method. Finally, the results are validated by using HFSS software.

Keywords: antenna phase center, phase center variations, circular polarization, genetic algorithm, GPS

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۲۴، ۱۳۹۵/۱۲/۰۲ و ۱۳۹۶/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۲۶

نام نویسنده مسئول: سیدحسن صدیقی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تهران - نارمک - دانشگاه علم و صنعت ایران

۱- مقدمه

آنتن شاید مهم‌ترین المان در سیستم‌های ناوبری جهانی^۱ از جمله GPS به‌منظور دریافت سیگنال‌های ارسالی منظومه‌های ماهواره‌ای است. آنتن‌های سیستم ناوبری مشخصات فنی ویژه‌ای برای دریافت دقیق و بدون خطای سیگنال ماهواره‌ای نیاز دارند. ایجاد بهره‌ی مناسب و حداقلی و یک پهنای پرتو گسترده برای دستیابی به حداقل چهار ماهواره و پلاریزاسیون دایروی راستگرد در پهنای گسترده بیم از جمله این موارد است. یکی دیگر از ویژگی‌های مهم آنتن‌های GNSS حذف تداخل و اثر چندمسیرگی است که این مهم با داشتن یک الگو با ویژگی‌های لوب‌های پشتی ضعیف، قطع تیز در زوایای اوج نزدیک به افق و نسبت محوری مناسب حاصل می‌شود [۱،۲]. انحراف فاز و تغییرات مرکز فاز اندک نیز از پارامترهای مهم در این آنتن‌ها به شمار می‌روند که بر روی دقت به‌دست‌آمده توسط این سیستم‌ها اثر چشمگیری دارند. در نتیجه نیاز هست تا این پارامترها نیز مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفته و کالیبراسیون مورد نیاز اعمال گردد. برخی از کارکردهای این آنتن‌ها، شرایطی مانند ابعاد کوچک، وزن و قیمت کم را نیز می‌طلبند که این موارد نیز در طراحی‌های مربوط به این آنتن‌ها باید مدنظر قرار گیرد [۳].

در طراحی آنتن سیستم‌های ناوبری جهانی با نیازمندی‌های مختلف و حتی گاهی متناقض روبرو هستیم. به‌عنوان مثال اکثر آنتن‌های این سیستم نیاز به یک بیم گسترده با بهره‌ی کافی در نیم‌کره بالایی تا یک زاویه پوشش در اوج پایین به‌منظور مشاهده حداکثر تعداد ماهواره ممکن نیاز داریم [۴-۶]. نیاز به داشتن مرکز فاز پایدار در آنتن‌های GNSS نیز جزو خصوصیات است که هزینه و پیچیدگی‌های طراحی آنتن را افزایش می‌دهد.

مرکز فاز^۲ یک آنتن، نقطه‌ای است که از دید میدان دور، امواج کروی آنتن از آن نقطه انتشار یافته و میدان منتشره دارای فاز ثابتی است [۲،۷]. در اکثر مقاله‌های ارائه شده برای محاسبه مرکز فاز آنتن، این نقطه تنها در یک صفحه مشخص به دست آورده شده است و نتیجه کلی مرکز فاز حاصل برآیند دو یا چند صفحه در نظر گرفته شده است. همچنین تغییرات مرکز فاز نیز که پارامتر کلیدی این بحث است در بیشتر مقالات به بیان بازه جابجایی‌های مرکز فاز آنتن در یک صفحه مشخص محدود گشته است [۸-۱۰].

در مرجع [۵] روش اندازه‌گیری مرکز فاز آنتن‌ها با استفاده از الگوریتم حداقل مربعات برای داده‌های فاز حاصل از اندازه‌گیری آنتن به دست آورده شده است و نتیجه جابجایی‌های مرکز فاز آنتن‌ها در دو حالت با صفحه زمین و بدون آن نشان داده شده است. در مرجع [۱۱] نیز مرکز فاز آنتن با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده الگو فاز و دامنه آن به دست آورده شده است که در این مقاله نیز از الگوریتم حداقل مربعات استفاده شده است. همچنین نتایج مرکز فاز با استفاده از روش این مقاله فقط به ازای صفحات مشخص φ قابل محاسبه است و تنها در حالت دوبعدی قابل استناد می‌باشند. به‌علاوه نتیجه خروجی

این روش بسیار وابسته به دقت اطلاعات اندازه‌گیری میدانی الگو دامنه و فاز دارد. در مرجع [۱۲] نتایج میدانی اندازه‌گیری شده آنتن پین ویل شرکت نواتل بیان شده است که این نتایج تنها محدود به میزان جابجایی‌های مرکز فاز آنتن در راستای محور عمودی و محور افقی است. در مرجع [۱۳] روش به دست آوردن مرکز فاز محدود به آنتن‌های با پلاریزاسیون خطی و دایروی با الگوی ساده است و با استفاده از یافتن کمینه واریانس میان الگوی ایده‌ال و واقعی و وزن‌دهی به آن‌ها، مرکز فاز آنتن محاسبه می‌گردد. در مرجع [۱۴] نیز به‌مانند اکثر مقالات تنها به ارائه نتایج اندازه‌گیری میدانی مرکز فاز بسنده شده است و تغییرات مرکز فاز چند نمونه آنتن GPS تنها در راستای محور عمودی در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در این مقاله به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر عملکرد فازی یک آنتن ناوبری GPS، مرکز فازی آنتن و تغییرات آن به‌صورت سه‌بعدی با استفاده از نتایج شبیه‌سازی تمام موج و الگوریتم ژنتیک به دست می‌آید.

الگوریتم ژنتیک از رفتارهای موجود در طبیعت و سیر تکاملی آن‌ها مانند وراثت و جهش الگوبرداری شده است که در حل مسائل پیچیده ریاضی که معمولاً پاسخ قطعی برای آن‌ها نمی‌توان یافت استفاده می‌شود. این الگوریتم را می‌توان تکنیک جستجو برای یافتن راه‌حل بهینه به‌صورت هوشمند دانست. در این الگوریتم که از تکامل ژنتیکی به‌عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند، ابتدا به‌طور تصادفی مجموعه‌ای از جواب‌ها (کروموزوم) برای مسئله تولید می‌شود. این مجموعه جواب به‌عنوان جمعیت اولیه شناخته می‌شود. سپس این جواب‌ها طبق یک الگو ارزیابی می‌شوند که تابع برازندگی نامیده می‌شود. جواب‌های برتر برای نسل بعد گزینش شده و به‌عنوان جمعیت اولیه آن انتخاب می‌شوند. سپس با استفاده از عملگرهای الگوریتم ژنتیک، جواب‌های بهتر (کروموزوم‌های بهتر) باهم ترکیب شده و جهشی در آن‌ها ایجاد می‌شود. این فرآیند تا همگرایی به پاسخ بهینه تکرار می‌شود [۱۵].

در این مقاله، روش محاسبه جدیدی برای مرکز فازی آنتن و تغییرات آن با استفاده از الگوی فازی آنتن به‌صورت سه‌بعدی و با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. به این منظور ابتدا الگوی تشعشی فاز ناحیه دور آنتن در زوایای مختلف آنتن با استفاده از شبیه‌سازی تمام موج آنتن استخراج شده است. سپس با مقایسه آن با الگوی تشعشی فاز کروی، مرکز فازی آنتن با استفاده از روش بهینه‌سازی ژنتیک به نحوی محاسبه شده است که اختلاف الگوی تشعشی فاز آنتن با الگوی تشعشی فاز کروی پیرامون این مرکز فازی کمینه شود. روش ذکرشده در این مقاله بر روی سه نمونه آنتن مختلف ارائه شده در مراجع با کاربرد GNSS، اعمال و نتایج مقایسه شده است. همچنین برای تأیید روش و نتایج به‌دست‌آمده، مرکز فازی آنتن با استفاده از نرم‌افزار HFSS نیز مستقیماً محاسبه شده است که نتایج ارائه شده را تأیید می‌کند. محاسبه دقیق مرکز فازی آنتن با استفاده از

۲- مرکز فاز آنتن

اطلاعات شبیه‌سازی به‌صورت سه‌بعدی به‌جای دوبعدی، ارائه معیار ارزیابی دقیق از رفتار فازی آنتن در تمامی زوایا و استفاده از روش بهینه‌سازی هوشمند ژنتیک به‌جای استفاده از روش‌های دیگری مانند حداقل مربعات از ویژگی‌های اصلی این مقاله در مقایسه با مراجعی که به موضوع محاسبه مرکز فازی آنتن‌های GNSS پرداخته‌اند، است.

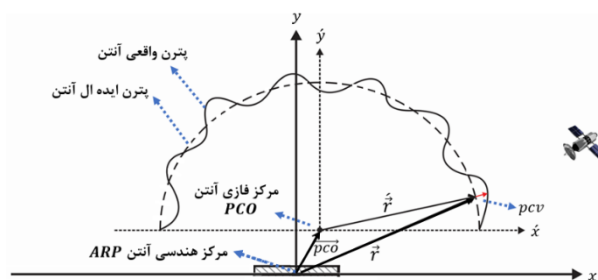
این تساوی زمانی برقرار است که مرکز هندسی آنتن بر مرکز فازی آن منطبق شود. اما در اکثر مواقع مقادیر الگو فاز کروی (ایدهال) و واقعی آنتن دارای مقداری اختلاف می‌باشند که این اختلاف نشانگر جابجایی یا انحراف مرکز فاز آنتن از مرکز هندسی آن است. با توجه به شکل ۱ نیز می‌توان بردار $\vec{r}$ را با رابطه (۴) محاسبه کرد.

در رابطه (۴) $|r'|$ برابر با اندازه بردار نقطه مشاهده تا مرکز فاز آنتن، $|r|$ برابر با اندازه بردار نقطه مشاهده تا مرکز هندسی آنتن و $|pco|$ برابر با اندازه بردار مرکز فاز آنتن تا مرکز هندسی آنتن است. رابطه (۴) را می‌توان به شکل رابطه (۵) نیز بازنویسی کرد.

که در این رابطه مقادیر x_r ، y_r و z_r به صورت رابطه (۶) قابل محاسبه هستند، در این روابط زوایای θ و φ زاویه مشاهده‌اند.

برای به دست آوردن مرکز فازی آنتن بایستی اختلاف دو سمت رابطه (۱) به ازای زوایای مختلف کمینه شود. به عبارت دیگر باید مرکز فازی آنتن با مختصات $(x_{pco}, y_{pco}, z_{pco})$ به نحوی تعیین شود که به ازای تمامی زوایا این مقدار کمینه باشد.

به منظور یافتن مختصات مرکز فازی آنتن می توان از روش های مختلف بهینه سازی استفاده کرد که در اینجا از روش الگوریتم بهینه سازی ژنتیک برای یافتن بهینه سه متغیر مجهول z_{pco} ، y_{pco} و z_{pco} به گونه ای که مقدار خطای حاصل از رابطه (۷) کمینه شود، استفاده شده است.



شکل ۱: شماتیک بیان مسئله مرکز فاز

$$\sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^M \left[\Phi_{sim} \left(\frac{n\pi}{N}, \frac{m\pi}{M} \right) - k \times \left| \vec{r}' \left(\frac{n\pi}{N}, \frac{m\pi}{M} \right) \right| \right] = error \quad (7)$$

که N و M به ترتیب در این رابطه تعداد گام‌های استخراج اطلاعات شبیه‌سازی از نرم‌افزار در راستاهای θ و φ می‌باشند. تعداد گام‌های استخراج اطلاعات، محدوده اعتبار مرکز فازی محاسبه شده آنتن را تعیین خواهند کرد. در واقع حالت ایده‌آل زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار این خطا صفر باشد. البته این بدان معنا نیست که در این حالت مرکز هندسی و مرکز فازی آنتن روی هم منطبق می‌گردند، بلکه نشانگر صفر بودن پارامتر تغییرات مرکز فاز آنتن است. به عبارت دیگر کاربر آنتن می‌تواند مستقل از آنکه سیگنال ماهواره از چه زاویه‌ای دریافت می‌گردد، مرکز فاز آنتن را بدون خطا در نقطه محاسبه شده در نظر بگیرد. اما در عمل تغییرات مرکز فاز هیچ‌گاه صفر نمی‌گردند و الگوی تشعشعی فاز آنتن و الگوی تشعشعی فاز کروی (ایده‌آل) مقداری اختلاف را با همدیگر دارند که این میزان در واقع تعیین‌کننده میزان پایداری فاز آنتن مدنظر است. همان‌گونه که در روابط فوق شرح داده شد یافتن خطای نهایی در حالتی امکان‌پذیر است که مختصات نقطه مرکز فازی آنتن در دسترس باشد. با توجه به اینکه این نقطه نیز جزو مجهولات مسئله است، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک بایستی ابتدا نقطه‌ای که دارای کمترین میزان اختلاف در الگوهای فازی آن‌ها باشد به عنوان مرکز فازی محاسبه شود.

۲-۲- تغییرات مرکز فاز آنتن

پارامتر تغییرات مرکز فازی در این مقاله به چند صورت ارزیابی و نشان داده شده است. به عنوان مهم‌ترین معیار ابتدا پس از یافتن مرکز فاز یک آنتن با استفاده از روش ارائه شده در بخش قبل، خطای بین الگوی تشعشعی کروی از محل مرکز فاز و همچنین الگوی تشعشعی فاز واقعی آنتن در تمامی صفحات φ و θ به صورت سه بعدی می‌پردازیم و این مقدار خطا پس از جمع شدن تمامی مقادیر آن به ازای زوایای مختلف نمایش داده می‌شود. در حالتی دیگر تغییرات مرکز فاز آنتن مشابه با اکثر مقالات به صورت تغییرات در راستای محوری مشخص و به ازای تغییرات زاویه θ در یک صفحه φ معین نشان داده است. بالطبع در این حالت قضاوت در مورد پایداری مرکز فازی محدود به یک صفحه مشخص است و در ضمن تنها می‌توان به بازه تغییرات مرکز فاز به عنوان پارامتر قابل ذکر در روش ارزیابی اشاره کرد.

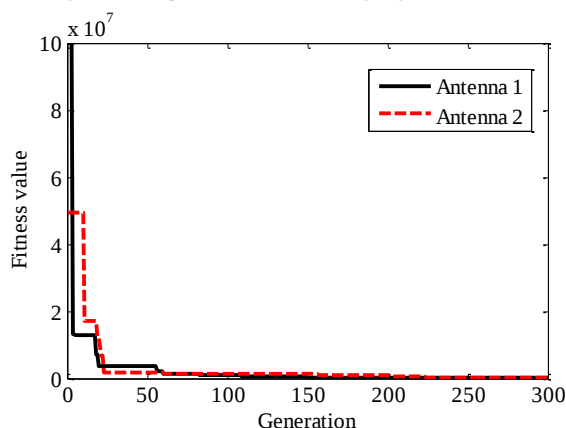
در نتیجه می‌توان گفت که روش اول ارائه شده در این مقاله، یعنی ارزیابی سه بعدی میزان تغییرات به ازای زوایای مختلف تقریب واقعی‌تری از عملکرد فازی آنتن به دست خواهد داد. به این منظور میزان خطای محاسبه شده در رابطه (۷) در آخرین گام بهینه‌سازی نشانگر میزان مجموع خطای فاز به ازای زوایای مختلف خواهد بود.

۳- شبیه‌سازی و تأیید نتایج

در این بخش دو آنتن ریزنوازی ارائه شده در مراجع [۱۶] و [۱۷] برای کاربرد در باند فرکانسی GPS از منظر جابجایی مرکز فاز با استفاده از

روش ارائه شده مورد بررسی قرار می‌گیرند. نتایج مربوط به جابجایی‌های مرکز فاز این دو آنتن در حالت سه بعدی بوده و خطای تغییرات مرکز فاز این آنتن‌ها نیز که از رابطه (۱) ناشی می‌شود نیز در حالت سه بعدی است. به منظور ارزیابی بهتر عملکردی فازی این دو آنتن، مرکز فازی این دو آنتن و تغییرات آن با طرح آنتن Choke ring مقایسه می‌شوند. آنتن‌های Choke ring از آنتن‌های تجاری و کاربرد در کاربردهای تعیین موقعیت دقیق با عملکرد فازی بسیار مناسب می‌باشند که در مراجع مختلف به آن‌ها پرداخته شده است.

در شبیه‌سازی‌های ارائه شده در این بخش از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک به منظور یافتن مرکز فاز استفاده شده است. در این الگوریتم، اندازه جمعیت (کروموزوم‌ها) ۵۰ و تعداد نسل‌ها ۳۰۰ در نظر گرفته شده است. تابع برازندگی این مسئله نیز همان‌طور که در بخش قبل به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت، حاصل خطای بین فاز ایده‌آل و فاز حاصل از شبیه‌سازی آنتن در زوایای مختلف است که بایستی کمینه شود. برای بررسی روند همگرایی الگوریتم، از منحنی تابع برازندگی برحسب نسل‌ها استفاده می‌شود که در شکل ۲ برای آنتن‌های مورد شبیه‌سازی در ادامه نشان داده شده است. در این منحنی محور عمودی بهترین برازندگی در هر نسل و محور افقی تعداد نسل‌ها و یا همان مراحل تکرار الگوریتم را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، با تکرار الگوریتم ژنتیک تابع برازش روند همگرایی به سمت جواب بهتر را طی می‌کند و به بهترین پاسخ نزدیک می‌شود.

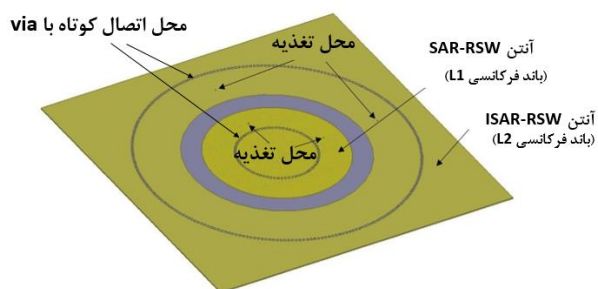


شکل ۲: تابع برازندگی برحسب نسل‌ها برای آنتن‌های یک و دو

۳-۱- آنتن شماره یک- مایکرواستریپ با حفره پشتی

آنتن مایکرواستریپ با حفره فلزی پشتی که در مرجع [۱۶] ارائه شده است، در شکل ۳ نشان داده شده است. این آنتن در باند فرکانسی L1 کار می‌کند و از دو نقطه با فاز متعام تغذیه می‌شود. ابعاد کلی این آنتن ۴۸×۴۸ میلی‌متر و ارتفاع آن ۱۴/۵۸ میلی‌متر است. این آنتن همچنین در کاربردهای ضدجینگ نیز به صورت آرایه‌ای به کاربرده می‌شود. از مهم‌ترین ویژگی‌های این آنتن توزیع بین عنصری^۳ پایین در آرایه آن است. عنصر تکی آنتن شماره یک در شکل ۳ نشان داده شده است. عنصر تشعشعی این آنتن دارای یک حفره که شامل دوتکه است، است. تکه پایینی به صورت فیزیکی به دو پروب عمودی متصل است و

با ترکیب این دو ساختار می‌توان یک آنتن موج سطحی کاهش یافته در باند L1 (۱/۵۷۵ GHz) و باند L2 (۱/۲۲۷ GHz) دست یافت که در هر دو باند مورد نیاز در سامانه جی پی اس (یعنی L1 و L2) عملکرد مطلوبی داشته باشد. طرح این آنتن در شکل ۴ نشان داده شده است. حال برای اینکه آنتن تشعشع با قطبش دایروی راست‌گرد داشته باشد که مطلوب سامانه GPS است، باید که هر کدام از این دو بخش آنتن دو محل مجزا برای تغذیه با زاویه ۹۰ درجه مکانی نسبت به هم و همچنین با اختلاف فاز ۹۰ درجه الکتریکی داشته باشند که در شکل نیز نشان داده شده است [۱۷].



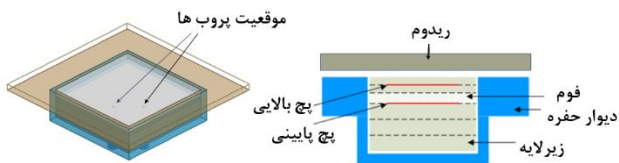
شکل ۴: یک آنتن تکه موج سطحی کاهش یافته در دو باند [۱۷]

۳-۳- آنتن شماره سه - آنتن Choke Ring

آنتن شکل ۵ نیز یک نمونه از آنتن‌های Choke Ring با قابلیت پوشش باند فرکانسی منظومه‌های موقعیت‌یابی مختلف و حذف بسیار مطلوب سیگنال‌های ناشی از چندمسیری را دارا است. این مدل از آنتن‌های GPS متشکل از یک آنتن ریزنوار سوار شده بر صفحه زمین رینگ‌ی شکل است که دارای مزیت کاهش اثرات شکست لبه‌ای ناشی از امواج سطحی و تشعشع جانبی و البته عیب حجیم بودن و هزینه و وزن زیاد می‌باشند. شعاع حلقه‌های رینگ‌ی شکل روی صفحه زمین این آنتن‌ها معمولاً مابین ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر است. قطر این آنتن ۳۶۰ mm و ارتفاع آن ۶۷ mm است. این آنتن دارای مزایایی نسبت به نمونه‌های قبلی و کلاسیک آنتن Choke ring است. از مهم‌ترین ویژگی‌های این آنتن کم‌عمق بودن و درواقع ارتفاع کم این آنتن نسبت به نمونه‌های مشابه دیگر است. عنصر تشعشعی این آنتن یک عنصر پاپیون‌شکل گردان است که در مرکز آنتن قرار گرفته است. این آنتن با طراحی منحصربه‌فردی که دارد دارای لوب‌های فرعی و کناری کوچک و ایزولاسیون پلاریزاسیون بسیار عالی به‌خصوص در زوایای اوج پایین‌تر است. در نمونه ساخته شده این آنتن در کنار آنتن کلاسیک Choke ring به نمایش در آمده است [۱۸].

در جدول شماره ۱ نتایج شبیه‌سازی‌های صورت پذیرفته برای یافتن مرکز فاز کلی آنتن‌های معرفی شده در سه راستای x، y و z ارائه شده است. در این جدول نتایج جابجایی مرکز فاز به همراه خطای کلی تغییرات مرکز فازی آنتن‌های بررسی شده در حالت سه‌بعدی بیان شده‌اند.

تکه بالایی نیز از طریق تزویج تغذیه می‌گردد. ابعاد تکه بالایی ۳۷/۶×۳۷/۶ میلی‌متر و ابعاد تکه پایینی نیز ۳۸/۱×۳۸/۱ میلی‌متر است [۱۶].



شکل ۳: ساختار کلی آنتن شماره یک [۱۶]

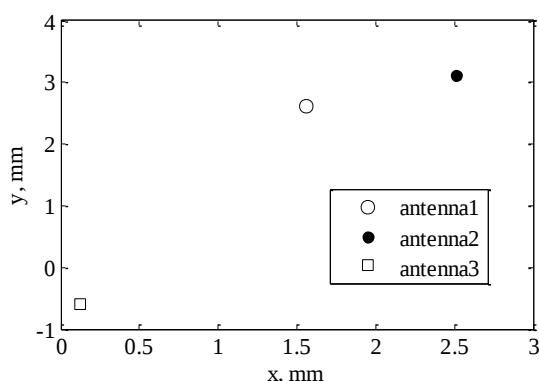
۳-۲- آنتن شماره دو - آنتن موج سطحی کاهش یافته

این آنتن در که در مرجع [۱۷] معرفی شده است، بر اساس کاهش موج سطحی^۴ است. شعاع دو آنتن داخلی و خارجی به ترتیب ۳/۰۳ و ۵/۵۸ میلی‌متر و ارتفاع آن ۱/۵۲ میلی‌متر است. یک ویژگی مشترک بیشتر آنتن‌های ریزنوار این است که آنتن علاوه بر امواجی که به فضا تشعشع می‌کند، مودهایی از امواج سطحی نیز منتشر می‌سازد. توانی که توسط این امواج سطحی منتشر می‌گردد با فرض دی‌الکتریک نامحدود، در واقع توان از دست رفته است و بازده تشعشعی کلی آنتن را کاهش می‌دهد. برای دی‌الکتریک‌های محدود نیز توان موج سطحی از لبه‌ها منتشر شده و الگو تشعشعی آنتن را به هم می‌ریزد. علاوه بر این تحریک امواج سطحی باعث تزویج متقابل مضاعفی بین عناصر مختلف آنتن خواهد شد چون که این امواج در راستای شعاعی بسیار آهسته‌تر از امواج منتشره در فضا تضعیف می‌گردند. به خاطر دلایل ذکر شده همواره تحریک امواج سطحی نامطلوب است.

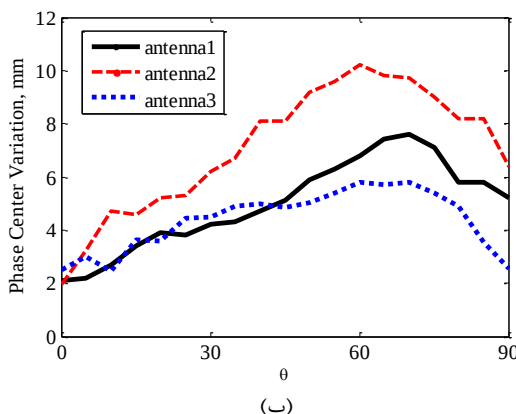
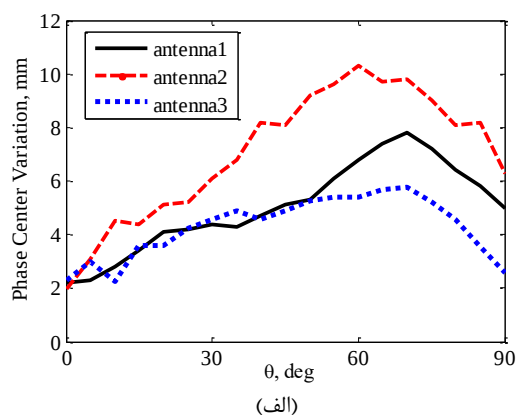
آنتن‌های تکه ریزنوار موج سطحی کاهش‌یافته برای کم‌کردن قابل توجه موج سطحی طراحی می‌گردند و اگر دی‌الکتریک‌های بکار رفته از لحاظ الکتریکی نازک باشد موجب کاهش تشعشع جانبی (امواج منتشره در فضا که از سطح هوا-دی‌الکتریک منتشر می‌گردند) نیز می‌گردد. درنتیجه این آنتن‌ها همواره الگو تشعشعی بهتری را به خاطر از بین بردن امواج سطحی و تشعشعات جانبی دارا می‌باشند. با این‌که آنتن‌های ریزنوار موج سطحی کاهش‌یافته به خاطر ریزنوار بودنشان مزیت‌های این نوع آنتن‌ها را دارند، الگو تشعشعی این نوع آنتن‌ها نسبت به آنتن‌های تکه دایروی معمولی تشعشع بسیار کمتری در افق و ناحیه پشتی آنتن دارد. بنابراین مشخصات فیزیکی آنتن به همراه الگو تشعشعی مناسب آن، این آنتن را گزینه خوبی برای کاربردهای GPS با دقت بالا قرار داده است، چرا که در این کاربردها مقاوم بودن نسبت به سیگنال‌های چندمسیری که از زوایای کم و یا از سمت زمین (زیر آنتن) به سمت آنتن می‌آیند برای حصول بیشینه دقت در مکان‌یابی نیاز است.

دو ساختار معروف از آنتن مذکور آنتن موج سطحی کاهش یافته اتصال کوتاه شده حلقوی^۵ و آنتن موج سطحی کاهش یافته اتصال کوتاه شده حلقوی معکوس^۶ است.

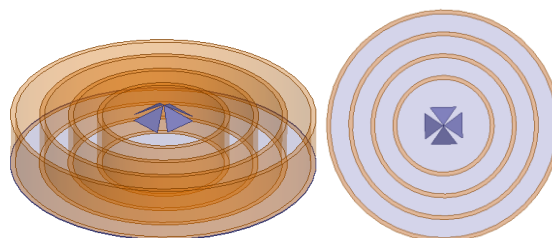
برای این منظور ابتدا با تعریف متغیرهای مورد نیاز در یک دستگاه مختصات نسبی جایجا شده، اقدام به بهینه‌سازی پارامتر مدنظر با استفاده از ابزار بهینه‌سازی نرم افزار برای یافتن مناسب‌ترین نقطه قرارگیری دستگاه مختصات جدید شده است و از این طریق میزان انحراف از مبدأ که همان مرکز فاز آنتن است، تعیین گردید. نتایج این بررسی در جدول شماره ۲ و ۳ آورده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، نتایج به‌دست‌آمده از HFSS تا حد خوبی با نتایج محاسبه شده توسط روش ارائه شده در این مقاله با کد مطلب تطابق دارد.



شکل ۶: مرکز فاز متوسط آنتن‌ها در صفحه xy به ازای تمامی زوایای اوج



شکل ۷: تغییرات مرکز فاز آنتن‌های شماره یک، دو و سه در راستای محور عمودی (z_{pco}) در (الف) صفحه $\phi=0$ ، (ب) $\phi=90$



شکل ۸: یک نمونه آنتن استاندارد choke ring از دو نمای بالا و کنار

سه‌بعدی [۱۸]

به این منظور اطلاعات الگو فاز راست‌گرد در فضای سه‌بعدی به ازای زاویه $0 < \theta < 180$ و $0 < \phi < 360$ از نرم‌افزار HFSS استخراج گشتند. لازم به ذکر است که این مقادیر نمی‌تواند معیار مناسبی برای مقایسه آنتن‌ها باشد. زیرا این مقادیر تنها نشان‌گر نقطه مرکزی تشعشعی آنتن می‌باشند. به عبارت دیگر این مختصات مرکز فازی آنتن نمی‌توانند معیاری برای ارزیابی پایداری فازی آنتن باشد. از این رو مقادیر مربوط به خطای تغییرات مرکز فاز در جدول شماره ۱ آورده شده‌اند که می‌تواند مناسب‌ترین معیار برای ارزیابی عملکرد مربوط به پایداری فازی آنتن‌های گوناگون باشد. خطای تغییرات مرکز فاز در واقع نشانگر میزان اختلاف مابین الگوی واقعی و الگوی کروی ایده‌آل آنتن حول مرکز فازی محاسبه شده است. در حالت مطلوب این خطا به مقدار بسیار نزدیک به صفر می‌رسد که البته در این حالت هیچ الزامی برای صفر شدن مرکز فاز آنتن وجود ندارد. با مشاهده نتایج مشخص می‌گردد که همان‌طور که انتظار می‌رفت آنتن شماره سه نسبت به آنتن‌های شماره یک و دو به ترتیب $51/7\%$ و $42/7\%$ درصد بهبود وضعیت پایداری فازی را دارا است و از این حیث می‌تواند گزینه مطلوبی برای کاربردهای موقعیت‌سنجی دقیق GPS باشد.

جدول ۱: نتایج شبیه‌سازی مرکز فاز

Error(mm)	z(mm)	y(mm)	x(mm)	
۸۸/۰۵	۶/۵۸	۲/۶۱	۱/۵۶	آنتن شماره ۱
۷۴/۳۶	۵/۹۲	۳/۱۱	۲/۵۱	آنتن شماره ۲
۴۲/۵۱	۴/۸۵	-۰/۵۹	۰/۱۲	آنتن شماره ۳

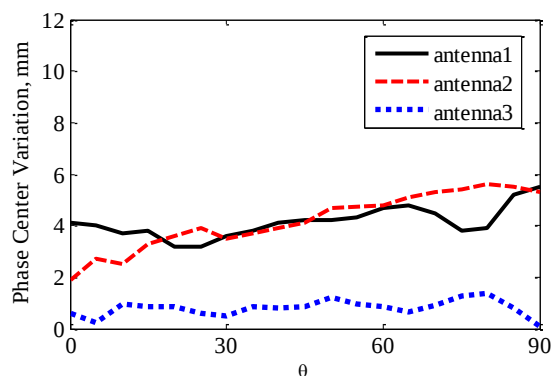
در شکل ۶ نیز مرکز فاز مربوط به آنتن‌های شماره یک، دو و سه در صفحه افقی نشان داده شده است. این شکل در واقع میزان انحراف مرکز فازی کلی این آنتن‌ها را نشان می‌دهد و با اعمال این مقدار در سیستم‌های پردازشی سامانه GPS می‌توان از خطاهای ناشی از این پدیده جلوگیری نمود.

۳-۴- روش صحت‌سنجی با نرم افزار HFSS

به منظور تأیید و صحت‌سنجی پاسخ‌های به‌دست‌آمده توسط روش ارائه شده، از نرم افزار تحلیل تمام موج HFSS استفاده شده است [۱۹].

مراجع

- [1] K. Elliott and C. Hegarty, *Understanding GPS: principles and applications*, Artech house, 2005.
- [2] B. R. Rao, W. Kunysz, R. Fante and K. McDonald, *GPS/GNSS Antennas, GNSS TECHNOLOGY AND APPLICATIONS SERIES*, Artech House, pp 1_35, 2013.
- [3] J. Wang, "Antennas for global navigation satellite system (GNSS)," *Proceedings of the IEEE* 100, no. 7, 2012.
- [4] R. Schmid, S. Peter, G. Gerd, G. Maorong, and R. Markus, "Generation of a consistent absolute phase-center correction model for GPS receiver and satellite antennas," *Journal of Geodesy* 81.12, 2007.
- [5] W. Kunysz, "Antenna phase center effects and measurements in GNSS ranging applications," *Antenna Technology and Applied Electromagnetics and the American Electromagnetics Conf.(ANTEM-AMEREM)*, 14th Int. Symp., Ottawa, Canada, 2010.
- [6] M. Becker, P. Zeimet and E. Schonemann, "Anechoic Chamber Calibrations of Phase Center Variations for New and Existing GNSS Signals and Potential Impacts on IGS Processing," *IGS Workshop*, Newcastle Upon Tyne, England, June 28–July 2, 2010.
- [7] G. A. Bartels, "GPS-Antenna Phase Center Measurements Performed in an Anechoic Chamber," Report LR-791, Delft University of Technology, 1995.
- [8] C. A. Balanis and C. R. Birtcher, *Antenna Measurements, Modern Antenna Handbook*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 977–1033, 2008.
- [9] M. Rothacher, S. Schaer and L. Mervart, and Gerhard Beutler, "Determination of Antenna Phase Center Variations Using GPS Data," *Proceedings of the IGS Workshop on Special Topics and New Directions*, Potsdam, Germany, Part 2, pp. 205–220, 1995.
- [10] M. Chatzinikos, A. Fotiou and C. Pikiridas, "The effects of the Receiver and Satellite Antenna Phase Center Models on Local and Regional GPS Networks," *Proceedings International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields*, Sofia, Bulgaria, November 5–6, 2009.
- [11] Shang, Jun-ping, De-min Fu, Ying-bo Deng, and Shuai Jiang, "Measurement of phase center for antenna with the method of moving reference point," *Antennas, Propagation and EM Theory*, 2008. ISAPE 2008. 8th International Symposium on. IEEE, 2008.
- [12] W. Kunysz, "High performance GPS pinwheel antenna," *Proceedings of the 2000 International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS 2000)*, 2000.
- [13] Y. Chen and R. G. Vaughan, "Determining the three-dimensional phase center of an antenna," *General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS)*, 2014 XXXIth URSI, IEEE, 2014.
- [14] K. Dawidowicz, "Antenna phase center variations corrections in processing of GPS observations with use of commercial software," *Technical Sciences*, University of Warmia and Mazury in Olsztyn 13, 2010.
- [15] K. Sastry, E. D. Goldberg and G. Kendall, *Genetic algorithms: Search methodologies*. Springer US, pp. 93–117, 2014.
- [16] C. Martel, "Low profile and anti-jam GPS array," *Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, 2013 IEEE. IEEE, 2013.
- [17] Basilio, Lorena I., Jeffery T. Williams, David R. Jackson, and Michael A. Khayat., "A comparative study of a new GPS reduced-surface-wave antenna," *IEEE Antennas and*



شکل ۸: تغییرات مرکز فاز آنتن‌های شماره یک، دو و سه در راستای صفحه افقی و صفحه ثابت $\varphi=45^\circ$

جدول ۲: نتایج صحت سنجی آنتن شماره یک

در صفحه $\Phi=90^\circ$		در صفحه $\Phi=0^\circ$		
Z	Y	Z	X	
۶/۵۸	۲/۶۱	۶/۵۸	۱/۵۶	مرکز فاز بدست آمده توسط کد متلب
۶/۹۲	۲/۴۲	۶/۷۶	۱/۲۸	مرکز فاز بدست آمده توسط نرم افزار HFSS

جدول ۳: نتایج صحت سنجی آنتن شماره دو

در صفحه $\Phi=90^\circ$		در صفحه $\Phi=0^\circ$		
Z	Y	Z	X	
۵/۹۲	۳/۱۱	۵/۹۲	۲/۵۱	مرکز فاز بدست آمده توسط کد متلب
۶/۲۱	۳/۳۲	۶/۱۶	۲/۸۶	مرکز فاز بدست آمده توسط نرم افزار HFSS

۴- نتیجه‌گیری

مرکز فازی آنتن و تغییرات آن در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک محاسبه گردید. به این منظور خطای بین الگوی فاز ایده‌آل آنتن حول مرکز فازی فرضی آن و نیز الگوی فازی واقعی آنتن در تمامی صفحات φ و θ به صورت سه بعدی محاسبه شده و با استفاده از الگوریتم ژنتیک کمینه شده است. استفاده از الگوریتم ژنتیک باعث شده است که احتمال موفقیت در محاسبه دقیق‌تر مرکز فازی آنتن در این مسئله بهینه‌سازی افزایش یابد. میزان خطای به دست آمده نیز به عنوان یک معیار ارزیابی مناسب و کامل از رفتار فازی آنتن ارائه شده است. به منظور تأیید نتایج ارائه شده، مرکز فازی سه نوع آنتن با کاربرد GNSS محاسبه و مقایسه شده است. در نهایت نیز مرکز فازی آنتن با استفاده از نرم‌افزار تمام موج HFSS به صورت مستقیم محاسبه شده است که نتایج آن مؤید نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی است. محاسبه دقیق مرکز فاز سه بعدی آنتن، استفاده از داده‌های شبیه‌سازی در محاسبه به جای داده‌های اندازه‌گیری، و محاسبه میزان پایداری مرکز فازی آنتن از ویژگی‌های اصلی روش پیشنهادی در این مقاله می‌باشند.

- corrugated ground plane.*” Antennas and Propagation, IEEE Transactions on vol. 57, no. 1, pp. 33-46, 2009.
- [19] Collaboration, Ansoft. *HFSS online help version 9.2*. American: Ansoft Inc, 2004.
- Wireless Propagation Letters, vol.4, no.1, pp. 233-236, 2005.
- [18] F. Scire-Scappuzzo and S. N. Makarov. “A low-multipath wideband GPS antenna with cutoff or non-cutoff

زیر نویس ها

^۱GNSS

^۲phase center

^۳inter-element coupling

^{*}reduced surface wave

^Δshorted-annular-ring reduced-surface-wave (SAR-RSW)

^{*}inverted-shortened-annular-ring reduced-surface-wave (ISAR-RSW)