مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یکم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۲
Vol.1, No.3, Winter 2014

چینش بهینه منابع انتشار امواج الکترومغناطیسی برای دستیابی به بهترین پوشش کیفی (با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک در محیط GIS)

ابراهیم امیدی گرکانی[۱]* ، علی منصوریان[۲]، محمدسعدی مسگری[۲]، احسان امیدی گرکانی[۳]

۱- دانشجوی دکترای GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲- استادیار گروه GIS، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳- دانشجوی کارشناسی برق ـ گرایش کنترل، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۹/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

مسئله یا موضوعِ تعیین بهترین شیوه توزیع مکانی نقاط دید یا نقاط انتشار موج (OMVP)، در زمرهٔ موضوعات بهینه‌سازی است که به‌واسطه فقدان رابطه صریح ریاضی بین میزان پوشش دید تجمعی (که مهم‌ترین دلیل آن توپوگرافی است) و موقعیت نقاط دید، با روش‌های بهینه‌سازی تحلیلی حل‌شدنی نخواهد بود. از طرفی، کاربردهای فراوان و پُراهمیت این موضوع در حوزه‌های ارتباطات، مخابرات، نظامی، نقشه‌برداری، طراحی شهری و جز اینها، لزوم حل آن را بیشتر آشکار می‌کند. تلاش‌های صورت گرفته برای حل این مسئله با نقاط ضعفی همراه بوده‌اند که مهم‌ترین آنها «در نظر نگرفتن پوشش کیفی شبکه (کیفیت موج دریافتی)» و «قابل اجرا نبودن در مقیاس‌های واقعی به لحاظ حجم بالای محاسبات» است. در این تحقیق، روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله OMVP ارائه گردیده است که دو مشکل اشاره شده را تا حد زیادی برطرف می‌کند. در این روش هر نقطه کاندیدا به عنوان یک ژن و هر n نقطه به عنوان یک کروموزوم n ژنی در نظر گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن مدل تضعیف امواج الکترومغناطیس به عنوان عنصر اصلی تابع برازندگی مشکل پوشش کیفی منطقه برطرف گردیده است. همچنین با تلفیق مدل TIN و GRID به عنوان ورودی‌های الگوریتم ژنتیک و استفاده از رئوس TIN به جای پیکسل‌های GRID به عنوان منبع ژن‌های اولیه الگوریتم ژنتیک، و در نتیجه افزایش سرعت اجرا و همگرایی الگوریتم ژنتیک، مشکل پیاده‌سازی در مقیاس‌های بزرگ نیز تا حد زیادی بهبود یافته است.

کلیدواژه‌ها: میدان دید، مدل انتشار موج، توزیع بهینه منابع انتشار، تضعیف امواج، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی، TIN.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده نقشه‌برداری. تلفن: ۷۷۹۰۷۱۱۱
Email: ebrahim.omidi@gmail.com

۱- مقدمه

با قدرتمند شدن توابع تحلیل مکانی GIS از یک سو و گسترش روزافزون استفاده از فناوری ارتباطات و به تبع آن امواج الکترومغناطیس از سوی دیگر، مسائل پیرامون پوشش این امواج نیز اهمیت بیشتری یافته است. امواج الکترومغناطیس طیف وسیعی از طول موج‌ها را شامل می‌شوند که نور مرئی، امواج رادیویی، امواج مخابراتی و برخی دیگر، زیرمجموعه‌ای از آن محسوب می‌گردند. یکی از مسائلی که در این حیطه مدت‌هاست مورد توجه است، چگونگی توزیع منابع انتشار موج است. اینکه منابع انتشار به چه نحوی در هر منطقه توزیع شوند که بهترین پوشش را در آن منطقه ایجاد کنند، برای طراحان شبکه‌های مخابراتی و رادیویی ارزشمند است. هر چند که در این طراحی پارامترهای فنی متعدد دیگری نیز دخیل هستند، اما میزان پوشش امواج از جمله مهم‌ترین پارامترهای طراحی است. در مورد امواج مرئی یافتن نقاط استقرار نقاط دید به نحوی که بهترین دامنه دید حاصل گردد، معادل طراحی منابع انتشار موج است.

از دیدگاه کاربردی و در عمل نیز مسئله میدان دید معمولاً به مسئله توزیع بهینه نقاط دید[1] (OMVP) تبدیل می‌گردد. در مسئله میدان دید، با مشخص بودن یک یا چند منبع موج (نقطه دید)، میدان دید به وجود آمده، دست‌یافتنی است. اما در عمل معمولاً یک محدوده به عنوان میدان دید ایده‌آل در نظر گرفته می‌شود و استقرار نقاط دید به نحوی صورت می‌گیرد که با کمترین تعداد، بیشترین میدان دید حاصل آید. این موضوع به شدت در مکان‌یابی ایستگاه‌های رادیویی و مخابراتی ارزشمند است [۱]. کاربردهای آن نیز تنها به ایستگاه‌های مخابراتی و رادیویی محدود نمی‌شود، بلکه در محدوده طیف رنگی، کاربردهایی نظیر محل استقرار نیروهای نظامی برای داشتن بهترین دید، تعریف نقاط گردشگری، بهترین مسیر عبور جاده (برای داشتن بهترین منظر)، بهترین موقعیت ایستگاه‌های نقشه‌برداری و دوربین‌های لیزراسکن و نظایر اینها در آن معنا پیدا می‌کنند. در خصوص بهترین محل استقرار سنجنده‌ها و رادارهای زمینی که با امواج الکترومغناطیس سروکار دارند نیز همین امر اهمیت می‌یابد [۲]. حتی در طراحی‌های درون‌شهری، کاربری‌های امنیتی و تعیین بهترین مکان استقرار دوربین‌های فلیمبرداری، حل این مسئله می‌تواند راهگشا باشد. نکته درخور توجه اینجاست که حل این مسئله نه تنها در حوزه امواج الکترومغناطیسی اهمیت دارد بلکه در مورد پدیده‌هایی هم که تا حدودی رفتار مشابه امواج دارند (رفتاری نظیر خط سیر مستقیم)، مفید خواهد بود. در این زمینه می‌توان از مکان‌یابی استقرار توربین‌های بادی نام برد که به واسطه شباهت نسبی پدیده باد با امواج، به حداکثر رساندن میدان دید توربین بادی ارزشمند خوهد بود [۳].

مشکل اصلی برای حل مسئله OMVP تنوع ترکیب‌های ممکن برای چینش نقاط دید و سپس مقایسه نتایج هر یک از این چینش‌هاست. برای حل این مشکل یا باید تعداد پیکسل‌های دخیل در مسئله را به نوعی کاهش داد و یا به سراغ روش‌های بهینه‌سازی تصادفی[2] رفت.

برای کاهش تعداد نقاط دخیل در مسئله، تحقیقاتی صورت گرفته که در آنها به جای بررسی تمامی ترکیب‌های ممکن پیکسل‌ها، تنها پیکسل‌های با شرایط خاص مورد بررسی قرار می‌گیرند ـ نظیر پیکسل‌های واقع در خط‌الرأس‌ها و قله‌ها [۵ و ۴]. با وجود محدود کردن نقاط جست‌وجو در این تحقیقات، در صورتی که هدف همانا حل مسئله به روش کلاسیک باشد، همچنان روند حل مسئله بسیار زمان‌بر و عملاً ناممکن است [۴].

تلاش‌ها و تحقیقاتی نیز به‌منظور اتخاذ روش‌هایی به غیر از روش کلاسیک صورت گرفته است. در این نوع

1. Optimal Multiple Viewpoint
2. stochastic

تحقیقات، مسئله به صورت مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود و با توجه به ماهیت غیرتحلیلی آن، یکی از روش‌های بهینه‌سازی تصادفی به کار گرفته می‌شود. در مهم‌ترین تحقیق از این نوع [۴] به مقایسه سه روش بهینه‌سازی Genetic، Swap Algorithm و Simulated Annealing برای حل آن پرداخته شده است. امتیاز این تحقیق در تلفیق کردن روش نقاط ویژه با این روش‌های بهینه‌سازی است که باعث افزایش کارایی آنها گردیده است. اما دو مشکل اساسی این تحقیق همچنان بالا بودن حجم محاسبات برای GRIDهای حجیم و دیگری در نظر گرفته نشدن کیفیت موج دریافتی است. افزون بر اینها، نداشتن معیاری استاندارد برای استخراج نقاط ویژه، از جمله مشکلاتی است که در راه عملیاتی بودن این تحقیق به چشم می‌خورد.

از جمله تحقیقات مرتبط دیگری در این زمینه، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای توزیع بهینه سنجنده‌های دفاعی است [۲]. تفاوت اساسی این تحقیق محدود نبودن دامنه دید به سطح زمین است که باعث تفاوت نسبی آن با مسئله OMVP شده است. نمونه مرتبط دیگر، استفاده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی شبکه سلولی GSM است [۶] که تفاوت بنیادین آن با مسئله OMVP، در نظر گرفتن توپوگرافی منطقه است. در این تحقیق تنها آرایش بهینه سلولی شبکه‌های GSM از نظر هندسی مورد توجه قرار گرفته است.

باید توجه داشت که نحوه پوشش امواج الکترومغناطیس تابع رفتار موج است که اصول کلی حاکم بر این رفتار در امواج مرئی، مخابراتی و رادیویی ثابت است، زیرا همگی زیرمجموعه‌هایی از امواج الکترومغناطیس محسوب می‌گردند [۷]. در این تحقیق سعی در حل مسئله OMVP به کمک توابع ژنتیک به نحوی است که نه تنها قابلیت دید (ارسال و دریافت موج) در آن مهم است، بلکه کیفیت موج دریافتی و ارسالی نیز اهمیت دارد و در خروجی تأثیرگذار خواهد بود. همچنین با تلفیق مدل TIN و GRID به میزان زیادی از حجم محاسباتی و مشکلاتی که تحقیقات پیشین با آنها مواجه بوده‌اند، کاسته شده است. در این تحقیق تمرکز اصلی بر روی امواج مخابراتی است، که از کاربردی‌ترین طیف‌های الکترومغناطیس به شمار می‌آید. با توجه به اصول کلی حاکم بر رفتار امواج الکترومغناطیس، روش پیشنهاد شده در این تحقیق در سایر طیف‌های الکترومغناطیس نیز کاربرد خواهد داشت.

در بخش ۱ این تحقیق، به پیش‌نیازها و ابزارهای نظری مورد نیاز برای حل مسئله OMVP پرداخته می‌شود. این پیش‌نیازها و ابزارها در سه دسته کلی قرار می‌گیرند: روش‌های برخورد با مسئله OMVP و معرفی آن به عنوان مسئله بهینه‌سازی، معرفی روش‌های بهینه‌سازی و به طور خاص مبانی و مزایای الگوریتم ژنتیک و بالاخره، مفاهیم مرتبط با کیفیت موج به عنوان جزء دخیل در تابع برازندگی الگوریتم بهینه‌سازی این تحقیق. در بخش ۲ این تحقیق، با تلفیق اصول مذکور، سعی در تعریف ساختار الگوریتم ژنتیک (تعریف اجزا و تابع برازندگی) برای مسئله OMVP، با در نظر داشتن بحث کیفیت موج است. به علاوه، نحوه تلفیق TIN و Grid برای کاهش محاسبات در این بخش تبیین گردیده است. در انتهای بخش ۲ نیز به پیاده‌سازی مدل تعریف شده و ارزیابی و بررسی نتایج آن پرداخت شده است. در نهایت، در بخش ۳ این تحقیق جمع‌بندی و نتیجه‌گیری کلی از این مدل توسعه داده شده ارائه گردیده و پیشنهادهایی هم در ادامه تحقیقات از این نوع مطرح شده است.

۲- نظریه و ابزارها

برای یافتن بهترین چینش نقاط دید، چند مسئله وجود دارد؛ و در وهلهٔ نخست، چالش‌های پیش رو در یافتن

بهترین چینش. با توجه به اینکه این مسئله به نوعی مسئله بهینه‌سازی است، انتخاب بهترین روش بهینه‌سازی برای آن اهمیت ویژه‌ای دارد. از آنجا که یکی از اهداف این تحقیق در نظر گرفتن کیفیت موج دریافتی در فرایند تصمیم‌گیری است، انتخاب مدل انتشار موج و چگونگی قرارگیری آن در مسئله بهینه‌سازی نیز اهمیت می‌یابد. بنابراین قبل از ارائه راهکار حل مسئله OMVP باید به بررسی این موضوعات پرداخت.

۲-۱- مسئله OMVP

تجزیه و تحلیل مدل سه‌بعدی منطقه به منظور تعیین مناطقی که در راستای دید مستقیم یک یا چند منبع موج (منبع نور) قرار می‌گیرند، به تولید نقشه میدان دید منجر می‌شود. در حقیقت میدان دید را می‌توان مجموعه نقاطی از منطقه دانست که با استقرار یک یا چند منبع موج، در معرض امواج قرار خواهند گرفت. این منبع موج را می‌توان آنتن‌های مخابراتی و ارتباطی، و یا ناظران و سنجنده‌ها در نظر گرفت [۸]. به علت تعداد بالای پیکسل‌ها و حجم زیاد عملیات، به کارگیری الگوریتم پایه (استفاده از خط دید) برای تعیین میدان دید، به خصوص در مقیاس‌های بزرگ، تا حدودی زمان‌بر است. از این رو روش‌های توسعه‌یافته‌تری برای کاستن از این مشکل ارائه شده‌اند [۹].

مسئله OMVP در حقیقت حالت پیچیده‌تری از مسئله میدان دید است. هدف آن، یافتن بهترین چینش نقاط دید (منابع انتشار موج) است، تا بهترین میدان دید به دست آید. بهترین میدان دید تنها معادل بیشترین میدان دید نیست، بلکه همان‌گونه که در این تحقیق مدنظر است، کیفیت پوشش نیز می‌تواند در تعیین بهترین چینش اهمیت فراوان داشته باشد.

حل مسئله OMVP زمانی با مشکل مواجه می‌شود که بیش از یک منبع موج وجود داشته باشد. تا زمانی که هدف تنها یافتن یک نقطه به عنوان نقطه استقرار منبع موج در یک GRID با n پیکسل باشد، مسئله‌ای از مرتبه O(n2) وجود دارد که به هر حال حل‌شدنی است [۴]؛ اما وقتی هدف یافتن بهترین محل استقرار برای V منبع موج باشد، به نحوی که مجموعه پوشش این نقاط بیشینه گردد، در حقیقت ترکیب v از n پیکسل برابر $\frac{n!}{v!(n-v)!}$ وجود خواهد داشت. در صورتی که n>>v، محاسبه این ترکیب تقریباً مرتبه‌ای برابر O(nv) خواهد داشت. با توجه به بزرگ بودن n و گاهی v، حل کلاسیک چنین مسئله‌ای در عمل امکان‌پذیر نیست و باید به دنبال روش‌های دیگری برای کاهش حجم محاسبات بود. به عنوان مثال، برای یک GRID کوچک با ۱۶۰۰ پیکسل، در صورتی که هدف توزیع بهینه ۱۰ آنتن رادیویی باشد، در روش کلاسیک باید محاسبات برای ۱۶۰۰۱۰ (تقریباً برابر ۱۰۳۲) حالت میدان دید محاسبه شود و بهترین حالت انتخاب گردد.

این روش گرچه دقیق‌ترین نتیجه را به دست می‌دهد، اما در عمل به خاطر مرتبه نمایی آن، پیاده‌سازی‌اش تقریباً ناممکن است [۴]. بنابراین برای حل این مسئله باید به سراغ روش‌های بهینه‌سازی آگاهانه[1] رفت.

۲-۲- مسائل بهینه‌سازی و الگوریتم ژنتیک

مسئله توزیع بهینه منابع موج یک مسئله ترکیبی[2] است که برای رسیدن به بهترین مقدار تابع ترکیبی از روش‌های بهینه‌سازی استفاده می‌شود. بنابراین مسئله OMVP را می‌توان یک مسئله بهینه‌سازی فرض کرد که در آن، تابع ترکیبی V بیان‌کننده میزان دید است. متغیرهای این تابع موقعیت‌های نقاط استقرار منبع موج (s_1 و s_2 و ... و s_n) هستند (رابطه ۱):

$$V = f(s_1, s_2, ..., s_n) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

1. heuristic
2. combinatorial

و به عبارتی دیگر:

$$V = \nu S_1 \cup \nu S_2 ... \cup \nu S_n$$ رابطه (۲)

در رابطه (۲)، $\cup$ نشان‌دهنده اجتماع میدان‌های دید و νS_i نشان‌دهنده میدان دید برای نقطه (منبع انتشار) iام است. نقطه iام معادل یک پیکسل بر روی GRID است.

برای بهینه‌سازی چنین تابع ترکیبی باید بهترین مقدار متغیرها (S_iها) یافت شود که این معادل یافتن بهترین نقاط استقرار منابع موج است. بنابراین باید یکی از روش‌های بهینه‌سازی برای حل مسئله انتخاب شود.

۲-۲-۱- روش‌های بهینه‌سازی

مسائل بهینه‌سازی به آنهایی گفته می‌شود که هدف تعیین متغیرهای یک تابع هزینه (یا تابع تناسب) در آنها به گونه‌ای است که مقدار تابع هزینه کمینه (و یا مقدار تابع تناسب بیشینه) گردد. دو روش کلی برای حل مسائل بهینه‌سازی عبارت‌اند از روش‌های تحلیلی و روش‌های عددی [۱۰].

در روش‌های تحلیلی از تابع هزینه نسبت به متغیرهای تصمیم‌گیری مشتق گرفته می‌شود و با مساوی قرار دادن مشتق با صفر، اکسترمم‌های تابع به دست می‌آیند. این روش در مواردی به کار می‌رود که نوعی رابطه ریاضی تحلیلی بین متغیرها و مقدار تابع برقرار باشد. اگر تابع هدف نسبت به متغیرهای تصمیم‌گیری مشتق‌پذیر نباشد، یا تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری زیاد باشد و یا اینکه مشتق‌گیری پیچیده باشد، روش‌های تحلیلی کارایی نخواهند داشت.

روش‌های عددی عموماً با مقداردهی عددی به متغیرهای تصمیم‌گیری و سپس ارزیابی در تابع هدف و اتخاذ مقدار جدید برای این متغیرها کار جست‌وجو را انجام می‌دهند و خود به دو دسته روش‌های عددی قطعی[1] و روش‌های عددی تصادفی تقسیم می‌شوند [۱۰].

در روش‌های عددی قطعی، مقدار دهی به متغیرهای تصمیم‌گیری از یک نقطه در فضای طراحی شروع می‌شود و سپس مقادیر جدید این متغیرها در جهت منفی گرادیان تابع هزینه حرکت می‌کنند تا به جایی برسند که گرادیان تابع در جهت تمام متغیرهای تصمیم‌گیری مساوی صفر باشد. این روش‌ها الزاماً منجر به یافتن بهینه کلی نخواهند شد.

در مواردی که مسائل پیچیده‌ای وجود دارند که در آنها توابع هدف نسبت به متغیرهای تصمیم‌گیری مشتق‌پذیر نیستند، و یا اینکه مشتقات آنها عملاً به سختی به دست می‌آیند و یا اینکه فضای طراحی (مجموعه جواب‌های ممکن) بسیار وسیع است، روش‌های عددی قطعی با ضعف مواجه خواهند شد. در این صورت استفاده از روش‌های عددی تصادفی می‌تواند کارساز باشد. این روش‌ها مقدار بهینه کلی را با احتمال زیادی پیدا می‌کنند و دارای مشخصات کلی زیر هستند:

- اغلب از ابزارهای آماری برای تعیین جهت جست‌وجو استفاده می‌کنند؛
- عموماً نیاز به ارزیابی‌های زیادی در تابع هدف دارند؛ و
- معمولاً وابسته به مشتق‌گیری تابع هدف نیستند.

از جمله مهم‌ترین الگوریتم‌های مورد استفاده در روش‌های عددی تصادفی، می‌توان به این موارد اشاره کرد:

- Simulated Annealing: که برگرفته از تکنیک‌های گرم و سرد کردن مواد برای تولید بهترین ابعاد کریستالی است [۱۱].
- Ant Colony: که برگرفته از رفتار مورچه‌ها برای یافتن بهترین مسیر در یک گراف است [۱۲].
- الگوریتم ژنتیک: که با الگوگیری از تئوری تکامل و انتخاب بهترین ژن‌ها، به انتخاب بهترین جمعیت منجر می‌شود [۱۳].

1. deterministic

- PSO: که در دسته الگوریتم‌های هوش گروهی قرار می‌گیرد و هدف آن هدایت ذرات داخل یک گروه، به سمت نقطه بهینه است [۱۴].

با توجه به ویژگی‌های مسئله OMVP و به خصوص این ویژگی که رابطه تعیین میدان دید نوعی رابطه تحلیلی ریاضی نیست و مشتق‌گیری از این رابطه به طور صریح امکان ندارد، برای بهینه‌سازی تابع V در رابطه (۲)، به کارگیری یکی از روش‌های عددی تصادفی، مورد نیاز است.

به دلیل امتیازات و تناسب ساختار الگوریتم ژنتیک، در این تحقیق از روش ژنتیک برای این منظور استفاده شده است.

۲-۲-۲- الگوریتم ژنتیک و امتیازات آن

الگوریتم ژنتیک را می‌توان به طور ساده، روشی جست‌وجوگر نامید که بر پایه مشاهدات خصوصیات فرزندان نسل‌های متوالی و انتخاب فرزندان براساس اصل «بقای بهترین» پایه‌ریزی شده است. الگوریتم ژنتیک بر روی فرزندان یک نسل، از قوانین موجود در علم ژنتیک تقلید می‌کند و با به‌کار بردن آنها، به تولید فرزندان بهتر (جواب‌های نزدیک‌تر به هدف مسئله) می‌پردازد. در هر نسل به کمک عملگرهای خاص ژنتیک، تقریب‌های بهتری از جواب نهایی به‌دست می‌آید. این رقابت میان ژن‌ها و پیروز شدن ژن غالب و کنار رفتن ژن‌های مغلوب (مقادیری از متغیرها که باعث دور شدن از هدف مسئله می‌شوند) روش کارآمدی برای حل مسائل پیچیده و دشوار به شمار می‌آید [۱۳]. در کل به نظر می‌رسد که استفاده از ژنتیک برای بهینه‌سازی مسائلی که این دو شرط را داشته باشند، کارساز خواهد بود:

- فقدان رابطه صریح تحلیلی بین میزان تناسب و متغیرهای تصمیم‌گیری؛ و
- جواب ترکیبی حاصل از چند متغیر.

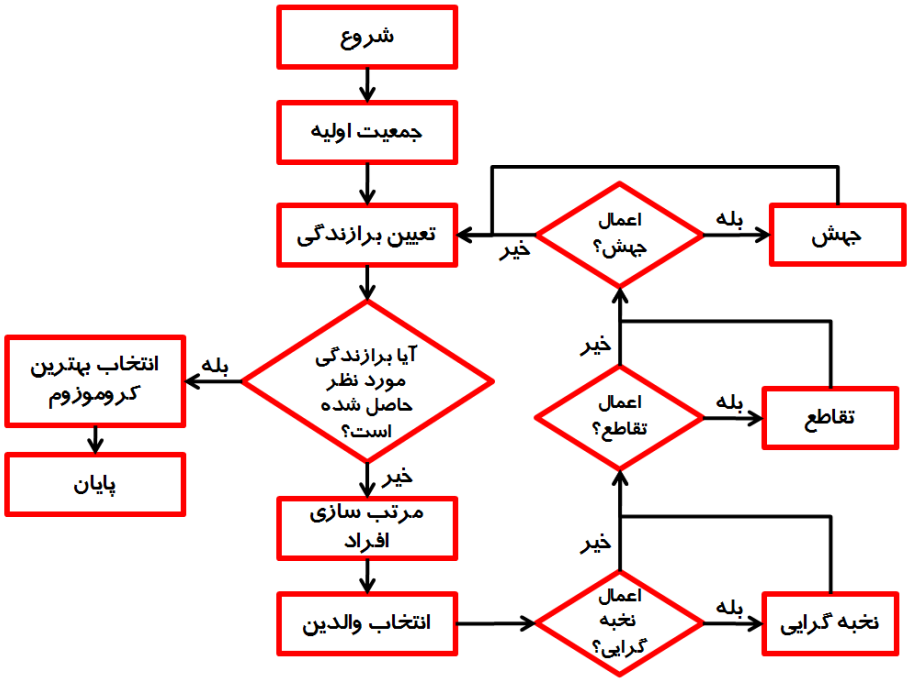
مهم‌ترین مفاهیم و مراحل اجرایی که به هنگام به‌کارگیری این الگوریتم باید به تعریف و اجرای آنها پرداخت، عبارت‌اند از [۱۰]:

- فرد یا کروموزوم (Chromosome)
- جمعیت (Population)
- کدگذاری (Encoding)
- تابع برازندگی (Fitness)
- انتخاب (Selection)
- تقاطع (Crossover)
- جهش (Mutation)
- نخبه‌گرایی (Elitism)

مهم‌ترین امتیازات الگوریتم ژنتیک در مقایسه با دیگر روش‌های بهینه‌سازی عبارت‌اند از [۱۰]:

- الگوریتم ژنتیک، به طور همزمان روی مجموعه‌ای از نقاط جست‌وجو می‌کند و نه یک نقطه. این ویژگی به خصوص در مورد مسئله OMVP که حجم زیاد جست‌وجو وجود دارد، سودمند است.
- الگوریتم ژنتیک بر روی کدها اعمال می‌شود و نه مقادیر حقیقی. در مسئله OMVP این کدها می‌توانند متناظر با شناسه نقاط کاندیدا باشند.
- الگوریتم ژنتیک به مشتق‌گیری و یا هرگونه اطلاعات کمکی دیگر نیاز ندارد که این موضوع خود در مسئله OMVP بسیار ارزشمند است.
- در طول ایجاد نسل‌های متوالی، هیچ‌گاه بهترین جواب از دست نمی‌رود.

این امتیازات و اهمیت آنها در مسئله OMVP، دلیل انتخاب این الگوریتم برای رسیدن به بهترین روش توزیع منابع موج در این تحقیق است. در شکل ۱، خلاصه ساختار و مراحل یک الگوریتم ژنتیک نشان داده شده است:



شکل ۱. اجزا و مراحل کلی اجرای یک الگوریتم ژنتیک

۲-۳- مسئله کیفیت موج

برای دریافت مناسب موج در یک نقطه، تنها برقرار شدن خط دید بین فرستنده و گیرنده کافی نیست، بلکه کیفیت موج دریافتی هم در عمل بسیار اهمیت دارد. در آنالیزهای میدان دید که تاکنون در محیط GIS تعریف شده‌اند، این امر مورد توجه قرار نگرفته است و چنین می‌نماید که در نظر نگرفتن این موضوع مهم، به شدت از کاربردی شدن این آنالیز ارزشمند جلوگیری می‌کند. برای حل این مشکل در این تحقیق، «پوشش کیفی» موج مورد توجه قرار گرفته است و این به معنای در نظر گرفتن نحوه رفتار موج در محیط است. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، این پدیده را حتی در مورد طیف مرئی امواج الکترومغناطیس هم می‌توان توسعه داد، چرا که کیفیت رؤیت ناظر وابسته به فاصله نقطه از ناظر خواهد بود.

در حوزه امواج، پدیده‌ای به نام تضعیف (Loss) مشاهده می‌شود. تضعیف به معنای کاهش انرژی موج دریافتی نسبت به موج ارسالی است. این تضعیف عوامل متعددی دارد که یکی از مهم‌ترین آنها مسیر ارسال موج است و به این بخش، تضعیف مسیر (Path Loss) گفته می‌شود. تضعیف مسیر، یا به اختصار PL، به معنای کاهش انرژی موج الکترومغناطیس در هنگام انتشار در فضاست. این نوع تضعیف از عناصر اصلی در تجزیه و تحلیل و طراحی شبکه‌های ارتباطی و مخابراتی محسوب می‌گردد [۱۵]. PL به عوامل متعددی بستگی دارد که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

- فاصله بین فرستنده و گیرنده
- فرکانس موج ارسالی
- نوع محیط انتشار (شهری، روستایی، جنگلی و جز اینها)
- جنس محیط انتشار (هوای خشک یا مرطوب)
- ارتفاع آنتن‌ها

PL را می‌توان برایند تضعیف‌های زیر دانست [۱۵]:

- تضعیف ناشی از انتشار (Propagation Loss) که به واسطه انتشار معمول امواج در فضای آزاد (Free Space) صورت می‌گیرد؛

- تضعیف ناشی از جذب (Absorption Loss) که در هنگام عبور سیگنال از موانع ظاهر می‌گردد؛
- تضعیف ناشی از انکسار (Diffraction Loss) که وقتی بخشی از جبهه موج به موانع برمی‌خورد، ظاهر می‌گردد؛ و
- سایر تضعیف‌ها.

برای محاسبه میزان کاهش کیفیت موج، باید تمام پارامترها و عوامل ذکر شده، در محاسبه وارد گردند. اما دخالت دادن همه این پارامترها به طور همزمان کار ساده‌ای نیست و روابطی که تاکنون برای محاسبه PL شکل گرفته‌اند، بر اساس مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار هستند. در ساده‌ترین قالب نمایش، PL را می‌توان از رابطه (۳) به‌دست آورد:

$$PL = 10n\mathrm{Log}_{10}(d) + c \qquad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳)، PL بیان‌کننده میزان کاهش انرژی موج، d فاصله بین فرستنده و گیرنده، n توان کاهشی و c مقداری ثابت به ازای هر فرکانس است. توان کاهشی که مقدار آن معمولاً بین ۲ تا ۴ است، نشان از توان تضعیف موج در محیط ارسالی دارد. این توان در فضای آزاد (Free Space) که مبنای اصلی محاسبات طراحی است، به ۲ و در محیط‌های نسبتاً پرافت به ۴ می‌رسد. این محیط‌ها می‌توانند به واسطه ذرات آب، گرد و غبار و مانند اینها شکل گیرند. در برخی از محیط‌های مصنوعی نظیر ساختمان‌ها، استادیوم‌ها و محیط‌های بسته این مقدار به ۶ نیز می‌رسد و در عوض برخی از سازه‌های خاص (مانند تونل‌ها) در موارد ویژه‌ای می‌توانند n را حتّی به کمتر از ۲ هم برسانند [۱۵].

حالت پیچیده‌تر رابطه (۳) که با داشتن پارامترهای محیطی می‌تواند در تجزیه و تحلیل‌های GIS مورد استفاده قرار گیرد، رابطه (۴) است [۷]:

$$PL = L_{\circ} + 10\gamma\mathrm{Log}_{10}\frac{d}{d_{\circ}} + X_g \qquad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن $d_{\circ}$ فاصله مبنا و $L_{\circ}$ میزان PL در طول $d_{\circ}$ است. d فاصله کلی، γ توان کاهشی و X_R بخشی از تضعیف است که به‌واسطه پدیده Fading در محیط حاصل می‌شود. X_g براساس σ که پارامتری وابسته به محیط است، قابل محاسبه است. در جدول ۱، مقادیر γ و σ برای چند گروه اصلی از محیط‌های انتشار، نشان داده شده است:

جدول ۱. مقادیر تجربی γ و σ براساس محیط انتشار و فرکانس [۷]

Building Type	Frequency of Transmission	γ	σ [dB]
Vacuum, infinite space		2.0	0
Retail store	914 MHz	2.2	8.7
Grocery store	914 MHz	1.8	5.2
Office with hard partition	1.5 GHz	3.0	7
Office with soft partition	900 MHz	2.4	9.6
Office with soft partition	1.9 GHz	2.6	14.1
Textile or chemical	1.3 GHz	2.0	3.0
Textile or chemical	4 GHz	2.1	7.0, 9.7
Metalworking	1.3 GHz	1.6	5.8
Metalworking	1.3 GHz	3.3	6.8

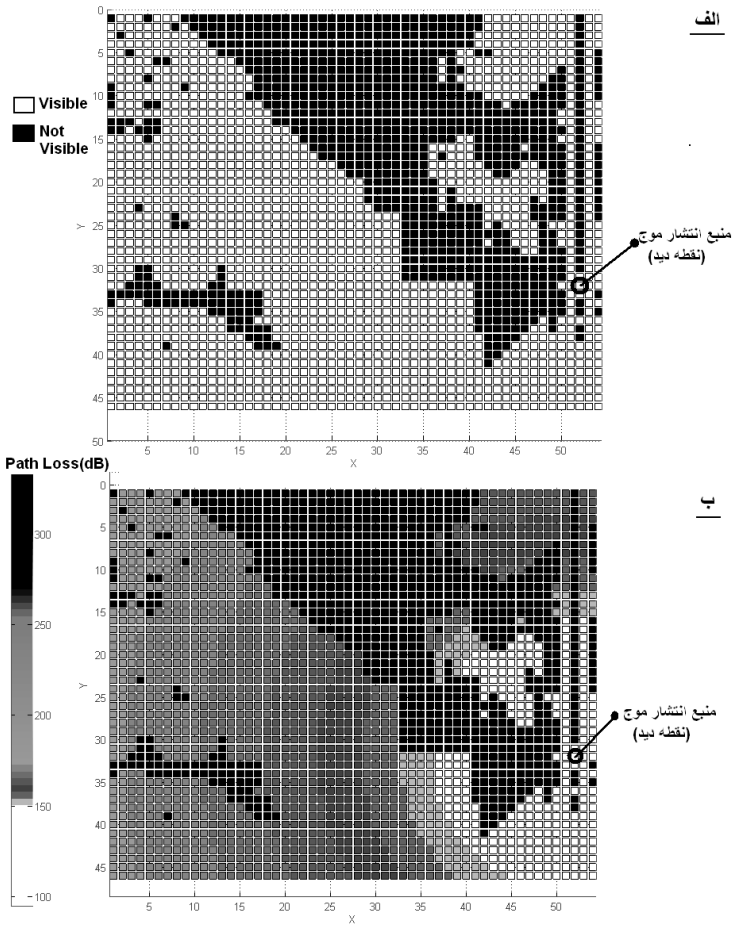
در زمـان حاضـر بـرای طراحـی و محاسـبات فنـی مربوط به استقرار منابع انتشار از رابطـه (۵) کـه حالـت ساده شده روابط اخیر است و تضعیف مسیر فضـای آزاد (Free Space Path Loss) نامیـده مـی‌شـود، اسـتفاده می‌گردد. اگر چه استفاده از این فرم ساده، مدل کـاملی به شمار نمی‌آید، اما هدف اصـلی را بـه خصـوص بـرای کاربری‌های رادیویی و مخابراتی تأمین می‌کند [۱۶].

رابطه (۵)

$$Pl = 32/5 + 20Log_{10}d + 20Log_{10}f$$

در ایـن رابطـه، d فاصـله برحسـب کیلـومتر و f فرکانس بر حسب مگاهرتز است. برای فرکـانس‌هـای در محدوده گیگاهرتز، عدد ثابت ۳۲/۵ به ۹۲/۴ تغییر پیـدا می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که pl برابر کاهش شدت موج الکترومغناطیسی است و بنابراین دیمانسیون آن از نوع شدت موج و واحد آن dB است. با توجه بـه رابطـه (۵)، مشخص می‌شـود کـه PL تـابع دو پـارامتر اصـلی است: فاصله و فرکانس.

بـرای مقایسـه اهمیـت ایـن پدیـده، در شـکل ۲، خروجی مدل میدان دید معمولی و میـدان دیـد کیفـی نشان داده شده است. در شکل ۲-الف، برای یک منبـع انتشار موج تنها قابلیت دید در نظر گرفتـه شـده اسـت (این اتفاق در زمان حاضـر در محاسـبه میـدان دیـد در محیط‌های GIS رخ می‌دهـد). در شـکل ۲-ب، پوشـش کیفی همان منطقه به‌وسیله همان منبـع انتشـار نشـان داده شده است.



شکل ۲. الف) میدان دید یک منبع انتشار موج؛ و ب) میدان کیفیت میدان دید همان منبع

چه‌بسا نقاطی که به علت کاهش بیش از حد کیفیت موج، در عمل خارج از پوشش موج محسوب می‌گردند. به عبارتی، با مقایسه شکل ب با الف، مشخص می‌شود که نقاط بسیاری (به عنوان مثال، پیکسل‌های واقع در شمال غرب) وجود دارند که اگرچه دریافت‌کننده موج محسوب می‌گردند، ولی کیفیت موج دریافتی آنها در سطح پایینی است. بنابراین اهمیت در نظر گرفتن پوشش کیفی در مکان‌یابی منابع انتشار موج مشخص می‌شود. و این موضوعی است که تاکنون به آن توجه نشده است. لازم به ذکر است که PL مسلماً فقط برای پیکسل‌هایی محاسبه می‌شود که در محدوده دید قرار دارند.

۳- تعریف و پیاده‌سازی مدل

همان‌طور که پیش از این گفته شد، حل مسئله توزیع منابع انتشار موج، به روش کلاسیک عملاً ناممکن است و باید در صدد استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی بود. از طرفی، فقدان رابطه صریح تحلیلی بین میدان دید و موقعیت منابع موج، ما را به سمت استفاده از روش‌های بهینه‌سازی عددی تصادفی سوق می‌دهد. در استفاده از این روش‌ها باید بحث کیفیت موج دریافتی را نیز در نظر داشت. مسئله دیگری که به آن اشاره گردید، اجرایی نبودن روش‌های بهینه‌سازی موجود در مقیاس‌های بزرگ و در پیاده‌سازی‌های واقعی است، که این به خاطر تعداد بسیار زیاد پیکسل‌های GRID در ابعاد و کاربری‌های واقعی است. در این بخش چگونگی حل این مسائل در این تحقیق بررسی می‌گردد.

۳-۱- تعریف اجزای الگوریتم ژنتیک برای مسئله OMVP

با توجه به خواصی که برای الگوریتم ژنتیک ذکر شد و تناسب این خواص با مسئله OMVP، الگوریتم ژنتیک برای حل این مسئله مناسب ارزیابی می‌گردد. بنابراین باید اجزای اصلی الگوریتم ژنتیک را در این قالب مسئله OMVP تعریف کرد.

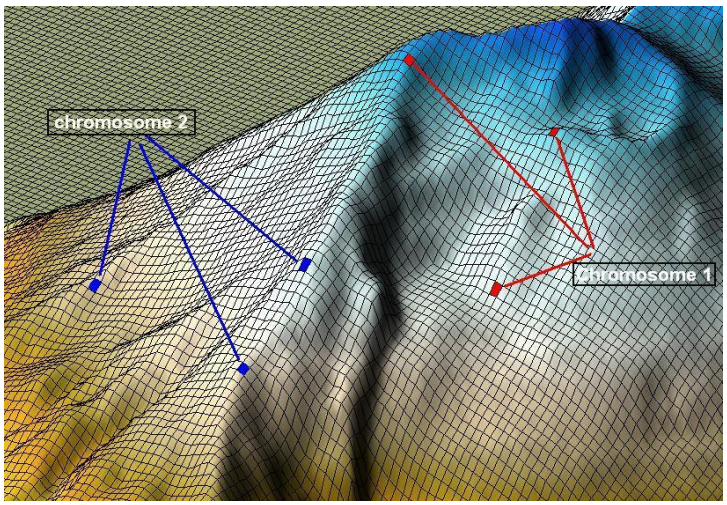
- کروموزوم:

هر کروموزوم معادل یک جواب مسئله است. بنابراین اگر مسئله، یافتن موقعیت بهینه n منبع موج باشد، می‌توان گفت هر کروموزوم (c) دربرگیرنده n ژن است:

$$c = \{g1, g2, ...gn\}$$ رابطه (۶)

که در آن gi‌ها دربرگیرنده ژن‌ها هستند.

شکل ۳ نشان‌دهنده رابطه بین هر کروموزوم و ژن‌های مرتبط در مسئله OMVP است. در این شکل ژن‌های تشکیل دهنده دو کروموزوم مسئله OMVP با سه منبع انتشار (n=۳) نشان داده شده است.



شکل ۳. تشکیل دو کروموزوم نمونه برای مسئله OMVP با سه منبع انتشار

- جمعیت:

در مسئله OMVP جمعیت (p) برابر خواهد بود با: $p = \{c1, c2, ..., ck\}$، که در آن ci به معنای کروموزوم iام و k برابر تعداد جمعیت کروموزوم‌ها در هر نسل است.

- کدگذاری:

کدگذاری برای مقادیر ژن‌ها صورت می‌گیرد. مقادیر واقعی ژن‌ها در مسئله OMVP، x و y منبع انتشار موج است. در نتیجه کدگذاری معادل شناسه‌ای منحصر به فرد برای x و y است. یکی از اهداف این روش کدگذاری (روش باینری و استفاده از شناسه منحصر به فرد)، این بوده است که ژن‌های تولید شده در نسل‌های بعدی، همچنان معادل یکی از شناسه‌های از پیش تعریف شده باشند. باید توجه داشت که کدگذاری باید به نحوی صورت گیرد که تغییرات جزئی در کد، به یک تغییر جزئی در x و y بینجامد.

- تابع برازندگی:

این تابع مهم‌ترین وجه اصلی تمایز این تحقیقات در قیاس با آنهای دیگر است، چرا که به جای اینکه صرف بیشینه کردن میدان دید در آن مورد توجه قرار گیرد، مسئله کیفیت موج دریافتی نیز در آن در نظر شده است.

با توجه به اینکه در این تحقیق کمینه شدن تابع برازندگی مورد نظر است، این اصل باید رعایت شود: با افزایش تضعیف موج (صورت کسر تابع برازندگی)، مقدار تابع برازندگی برای هر کروموزوم باید بیشتر (بدتر) شود. بنابراین صورت کسر، بیانگر میزان تضعیف موج در کل منطقه (مجموع پیکسل‌ها) خواهد بود. همچنین برای اینکه مقدار تابع در بازه ۰ و ۱ باقی بماند، مخرج آن به صورت «حداکثر ممکن تضعیف موج در منطقه» تعریف شد.

بخش دوم این رابطه نیز براساس این اصل تعریف شده است: اگر نقطه‌ای از چندین منبع موج دریافتی داشته باشد، بهترین کیفیت دریافتی (کمترین میزان PL)، ملاک ارزیابی آن نقطه خواهد بود.

بر این اساس، فرمول کلی تابع برازندگی در این تحقیق معادل رابطه (۷) در نظر گرفته شده است:

رابطه (۷)

$$F(c) = \frac{\sum_{i=1}^{m} PL(i)}{m \times PL(max)}$$

$$PL(i) = Min\{PL(i, g_1), PL(i, g_2), ..., PL(i, g_n)\}$$

که در این رابطه:

F(c): میزان‌تناسب (تابع برازندگی) برای کروموزوم c

m: تعداد پیکسل‌های GRID

PL(i): میزان تضعیف موج دریافتی در پیکسل iام.

PL(max): حداکثر میزان تضعیف موج (برای پیکسل‌هایی که در معرض دید قرار ندارند، این مقدار استفاده می‌شود).

PL(i,gi): میزان تضعیف موج دریافتی از ژن gام کروموزوم مربوطه در پیکسل iام.

کمینه شدن تابع F(c) به معنای رسیدن به بهترین جواب مسئله OMVP خواهد بود. در حالتی که مسئله کیفیت موج مطرح نباشد، تنها همپوشانی اجتماعی (Union) میدان‌های دید منابع موج ملاک ارزیابی کروموزوم خواهد شد و در نتیجه تابع برازندگی به صورت ساده‌تر رابطه (۸) تبدیل می‌شود:

رابطه (۸)

$$F(c) = \frac{1}{Union(vs(g_1), vs(g_2), ..., vs(g_n))}$$

که در آن vs(gi)، برابر محدوده میدان دید برای ژن j ام است.

اما یکی از اهداف اصلی این تحقیق، در نظر گرفتن پوشش کیفی میدان دید است. این بدان معنی است که برای عملیاتی کردن استفاده از اصل میدان دید (و به

تبع آن نحوه توزیع منابع انتشار)، کیفیت موج دریافتی نیز باید در نظر گرفته شود. بدین ترتیب چگونگی تشکیل تابع برازندگی که در رابطه (۷) به آن اشاره شد، برای استفاده از الگوریتم ژنتیک مشخص می‌گردد.

در رابطه (۷) پارامتر PL بین دو نقطه (منبع و پیکسل) از رابطه (۵) حاصل می‌گردد که در نهایت می‌توان تابع برازندگی استفاده شده در این تحقیق را بدین صورت ارائه کرد.

رابطه (۹)

$$F=\frac{\sum_{i=1}^{m}(32/5+10Log_{10}d_{(i)}+20Log_{10}f)}{m\times(32/5+10Log_{10}d_{max}+20Log_{10}f)}$$

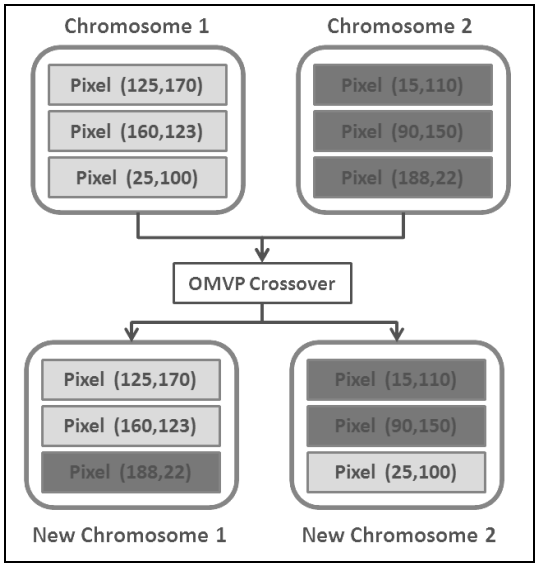
در این رابطه $d_{(i)}$ نشان‌دهنده فاصله پیکسل iام تا منبع و d_{max} نشان‌دهنده بیشترین فاصله (معادل بیشترین مقدار تضعیف موج) است. لازم به ذکر است همان‌طور که پیش‌از این در رابطه (۷) اشاره گردید، هنگامی که یک پیکسل از چند منبع موج دریافت می‌کند، فاصله آن تا نزدیک‌ترین منبع انتشار در نظر گرفته می‌شود تا بهترین کیفیت پوششی موج حاصل گردد.

- **انتخاب:**

انتخاب کروموزوم‌های برتر در مسئله OMVP براساس مقدار تابع برازندگی (بهترین پوشش کیفی موج) برای هر کروموزوم است. کروموزومی که مقدار بهتری در این تابع حاصل کند، فرصت یا امکان بیشتری برای حضور در نسل بعد دارد.

- **تقاطع:**

در این تحقیق، تقاطع به معنای جابه‌جایی نقاط (ژن‌ها) در دو مجموعه نقطه (کروموزوم) است. در شکل ۴، نمونه‌ای از فرایند تقاطع در این تحقیق مشاهده می‌گردد.



شکل ۴. فرایند تقاطع کروموزوم‌ها در مسئله OMVP

- **جهش:**

طبق تعریف جهش، مقدار یک ژن یا کد منتسب به آن ژن با درصد احتمالی از پیش تعریف‌شده تغییر می‌کند. این بدان معنی است که در بعضی از مجموعه نقاطی که حاصل عمل تقاطع هستند، ممکن است یک یا چند نقطه، با نقطه‌ای نامشخص تعویض گردد. این تعویض می‌تواند باعث بهبود یا تخریب تابع برازندگی مربوط به آن مجموعه نقطه گردد.

- **نخبه‌گرایی:**

در OMVP مجموعه نقاطی که بهترین میزان برازندگی را به‌دست آورده‌اند، مستقیماً و بدون تغییر در نسل جدید نیز وارد می‌گردند.

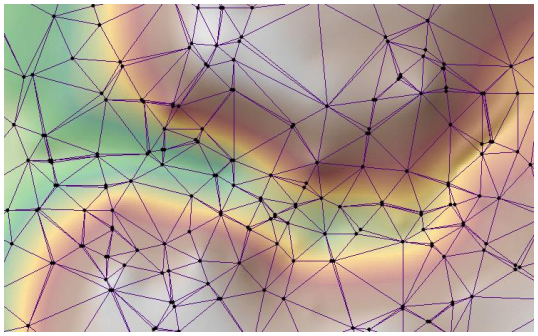
۳-۲- استفاده از TIN به عنوان فضای جست‌وجو

یکی از مشکلاتی که هنگام استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله OMVP پیش می‌آید، حجم عظیم ژن‌های اولیه است. همان‌طور که اشاره شد، هر پیکسل روی GRID، معادل یک ژن در نظر گرفته می‌شود. با افزایش تعداد پیکسل‌ها، تعداد این ژن‌ها به شدت افزایش می‌یابد. این افزایش می‌تواند یا به علت بهبود

دقت GRID و یا به دلیل بزرگ شدن ابعاد منطقه باشد و در پیاده‌سازی عملی هر دو اتفاق روی خواهد داد.

در این تحقیق برای برطرف شدن مشکل مذکور، باید روشی اتخاذ می‌گردید که تعداد ژن‌های اولیه برابر تعداد پیکسل‌های GRID نمی‌بود و در عمل هر پیکسل کاندیدایی برای استقرار منبع موج معرفی نمی‌شد. بنابراین باید جایگزینی برای پیکسل‌های GRID یافت می‌شد. در GIS برای مدل‌سازی سه‌بعدی سطح زمین، به‌جز GRID که ماهیت رستری دارد، از مدل دیگری به نام TIN[1] نیز استفاده می‌شود. TIN یک مدل نمایش سه‌بعدی است که بیشتر ماهیت برداری دارد. از جمله امتیازات TIN در قیاس با GRID این است که دارای نقاط ویژه‌ای است که به کمک این نقاط شکل زمین را بازسازی می‌کند. به عبارتی، با در اختیار داشتن این نقاط، می‌توان مدلی از شکل سه‌بعدی زمین را ایجاد کرد. این نقاط کلیه مناطق خاص یک GRID نظیر قله‌ها، دره‌ها، خط‌الرأس‌ها، خط‌القعرها و مانند اینها را شامل می‌شود. در صورتی که منبع ژن‌های اولیه از پیکسل‌های GRID به این نقاط (رئوس TIN) تبدیل شوند، تعداد این ژن‌ها به مراتب کمتر می‌شود و در حقیقت، تنها ژن‌های دارای اهمیت در الگوریتم شرکت خواهند کرد. در شکل ۵ رابطه بین رئوس TIN و GRID مشاهده می‌گردد.

از طرفی به نظر می‌رسد که در نظر داشتن نقاط ویژه GRID به عنوان گزینه‌های استقرار منبع موج، انتخاب درستی است، چرا که به طور تجربی و در عمل مشاهده می‌شود که بهترین نقاط دید و منابع انتشار موج بر روی این نقاط ویژه (قله، خط‌الرأس، خط‌القعر و مانند اینها) واقع‌اند [۴]. به عبارت دیگر، می‌توان ژن‌های واقع بر رئوس TIN را ژن‌های غالب و سایر ژن‌های واقع بر GRID را ژن‌های مغلوب دانست. بنابراین بهتر است از ابتدا ژن‌های قوی‌تر به عنوان ورودی الگوریتم ژنتیک وارد محاسبات گردند. لازم به یادآوری است که انتخاب رئوس TIN به عنوان ژن‌های اولیه به معنای حذف سایر پیکسل‌ها از فرایند محاسبه نیست. سایر پیکسل‌ها در تعیین کیفیت دید و به تبع آن تابع برازندگی ژن‌ها و کروموزوم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و این به معنای تلفیق TIN و GRID برای رسیدن به بهترین دقت در کمترین زمان در الگوریتم ژنتیک مسئله OMVP است.

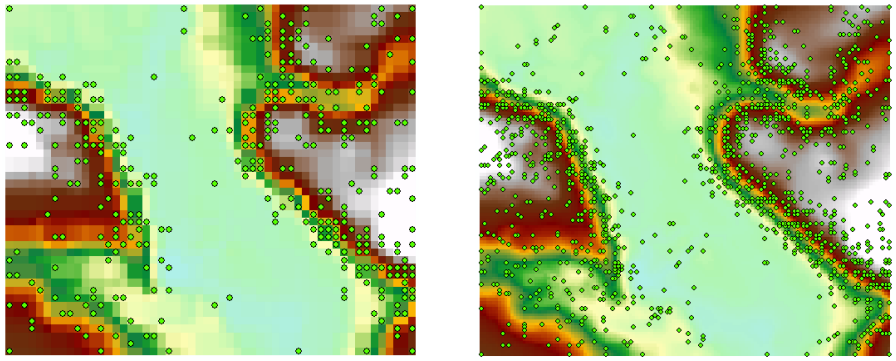


شکل ۵. موقعیت رئوس TIN بر روی GRID

۳-۳- پیاده‌سازی و ارزیابی مدل

با تعریف پارامترها و ساختار ژنتیک برای مسئله OMVP، امکان پیاده‌سازی و اجرای آن فراهم گردید. این پیاده‌سازی در محیط نرم‌افزار MATLAB صورت گرفت. برای این پیاده‌سازی، رابطه (۹) به عنوان تابع برازندگی (Fitness) در نظر گرفته شد. داده مورد آزمایش نیز منطقه‌ای با دو قدرت تفکیک ۲۵ و ۱۰ متری برای هر پیکسل است. این منطقه به نحوی انتخاب گردید که تنوع توپوگرافی کافی داشته باشد. برای هر GRID یک TIN معادل نیز ساخته شد که مسلماً دقت هر TIN وابسته به قدرت تفکیک GRID مربوط به آن است. تعداد رئوس TIN حاصل از GRID با قدرت ۲۵ متری برابر ۳۵۱ و تعداد رئوس TIN حاصل از GRID ۱۰ متری برابر ۱۲۹۱ است. در شکل ۶، نمایی از GRIDها و پیکسل‌های (ژن‌های) منتخب (حاصل از TIN متناظر) نشان داده شده است.

1. Triangulated Irregular Network



الف ب

شکل ۶. الف) GRID با قدرت تفکیک ۲۵ متر و رئوس TIN متناظر

با توجه به اینکه در GRID با قدرت تفکیک ۲۵ متری در کل ۲۴۸۴ پیکسل و در GRID دوم در کل ۱۵۵۲۵ پیکسل وجود دارد، با در نظر داشتن تعداد رئوس TIN در دو حالت اگر تعداد رئوس TIN متناظر با N(TIN) و تعداد پیکسل‌های GRID مربوط با N(DEM) نشان داده شوند، آن‌گاه:

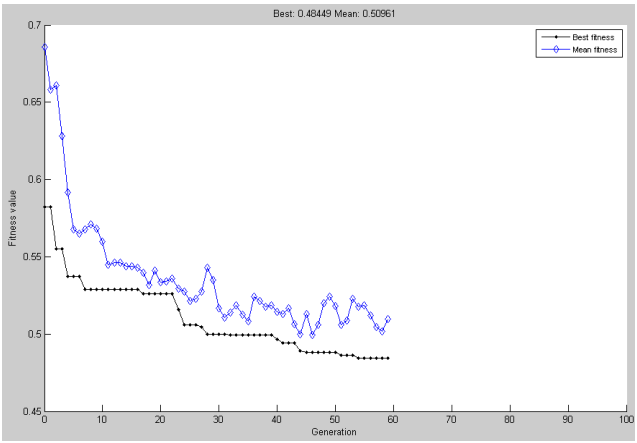
$$\frac{N(TIN_{25M})}{N(DEM_{25M})} = \%14$$

$$\frac{N(TIN_{10M})}{N(DEM_{10M})} = \%8/3$$

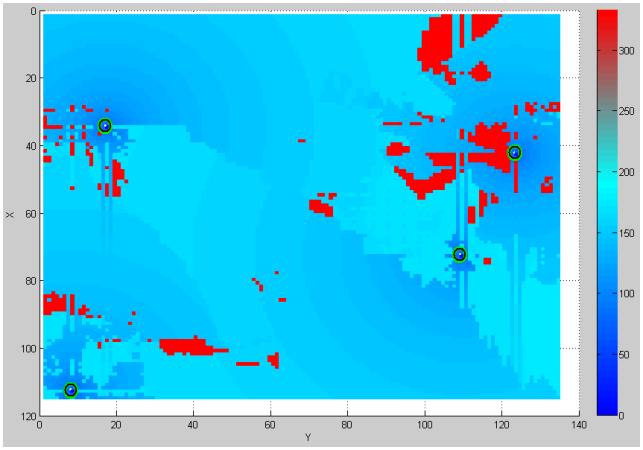
این نسبت نشان‌دهنده نسبت ژن‌های منتخب به کل ژن‌های ممکن است و همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش دقت و تعداد پیکسل‌ها، این نسبت کوچک‌تر می‌شود و این نشان‌دهنده تأثیر روش انتخاب شده در کارایی و سرعت همگرایی الگوریتم ژنتیک در دقت‌های بالا است. این سرعت همگرایی به واسطه بهبود ژن‌های اولیه ایجاد می‌شود. از سوی دیگر نیز می‌توان یکی از عوامل بهبود سرعت اجرا را کاهش جمعیت هر نسل دانست؛ بدین معنا که با توجه به کاهش فراوان تعداد ژن‌های اولیه، نیازی به تعریف اندازه جمعیت بالا برای یک نسل نیست، چرا که تعداد جمعیت بالا هنگامی ضروری است که با حجم انبوهی از ژن‌ها سروکار داشته باشیم. با کم شدن تعداد جمعیت، سرعت اجرا افزایش بسیاری پیدا می‌کند.

در نهایت این امکان پدید آمد که با معرفی هر تعداد نقطه به عنوان تعداد منابع انتشار موج، بهترین محل استقرار این نقاط معرفی گردد. در شکل ۷، نحوه بهبود تابع برازندگی مشاهده می‌گردد. در این شکل نمودار برازندگی بهترین فرد هر نسل و نمودار میانگین برازندگی افراد هر نسل در مسئله OMVP مشخص است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمودار میانگین برازندگی ممکن است در بعضی نسل‌ها با تضعیف مواجه شود، اما نمودار برازندگی بهترین فرد هیچ گاه تخریب نمی‌شود که به سبب اصل نخبه‌گرایی است. لازم به ذکر است که در این پیاده‌سازی نرخ تقاطع برابر ۰/۸، نرخ جهش ۰/۰۰۵، درصد اعمال نخبه‌گرایی ۰/۰۱ و معیار توقف در قالب ۵۰ نسل بدون بهبود بهترین کروموزوم تعریف گردید.

در نهایت، در شکل ۸ بهترین موقعیت نقاط انتشار موج (با در نظر گرفتن ۴ نقطه انتشار) تعیین گردیده است و نقشه پوشش کیفی حاصل از استقرار این ۴ منبع (۴ نقطه تعیین شده روی شکل) مشاهده می‌گردد. در این شکل، رنگ آبی به معنای بهترین کیفیت دریافت موج و رنگ قرمز به معنای بدترین کیفیت موج دریافتی است. می‌توان گفت که رنگ‌بندی این شکل تابع عواملی چون توپوگرافی منطقه، موقعیت منابع موج و فاصله از نزدیک‌ترین منبع انتشار موج است.



شکل ۷. نمودار برازندگی بهترین کروموزوم (مجموعه نقاط دید) و میانگین برازندگی هر نسل، تا نسل ۶۰ الگوریتم ژنتیک پس از اجرا برای حالت ۴ منبع موج مسئله OMVP



شکل ۸، نقشه پوشش کیفی موج با تعیین مکان نقاط استقرار ۴ منبع انتشار (خروجی روش)

بدین ترتیب به هدف اصلی این تحقیق، که رسیدن به بهترین توزیع نقاط انتشار موج در یک منطقه بود، دست یافته شد. هر الگوریتم بهینه‌سازی دارای پارامترهایی است که رسیدن به بهترین مقدار این پارامترها برای حل مسئله مورد نظر، خود به نوعی مسئله بهینه‌سازی محسوب می‌شود که به آن فرابهینه‌سازی (MetaOptimization) گفته می‌شود. یکی از روش‌های رسیدن به این بهترین مقادیر، آزمون مسئله با تغییر دادن یک پارامتر و ثابت نگه داشتن سایر پارامترهاست. در نتیجه این عمل، به ازای هر پارامتر، نموداری حاصل خواهد شد که نحوه ارتباط پارامتر مورد نظر را با بهترین میزان برازندگی نشان می‌دهد. در این تحقیق مقادیر ارائه شده برای پارامترهای جمعیت، و نرخ‌های تقاطع، جهش و نخبه‌گرایی پس از ارزیابی نتایج این نمودارها حاصل آمد. در شکل ۹ این چهار نمودار نشان داده شده است.

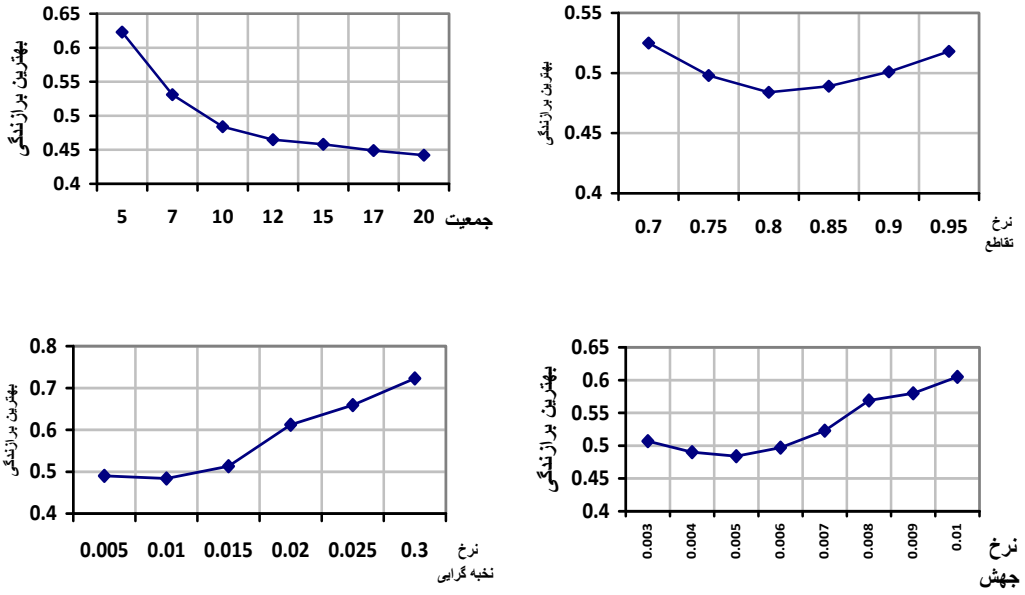
همان‌طور که در نمودار اول شکل ۹ مشاهده می‌شود، جمعیت کروموزم‌های هر نسل رابطه مستقیم با بهبود برازندگی دارد. در واقع با افزایش جمعیت، همواره نتیجه به دست آمده بهبود می‌یابد. اما باید توجه داشت که افزایش جمعیت در الگوریتم ژنتیک به معنای افزایش فراوان زمان اجراست. بنابراین باید

عددی بینابینی انتخاب گردد که از طرفی نرخ برازندگی مطلوبی را تأمین کند و از طرف دیگر به زمان زیادی نیاز نداشته باشد. بنابراین عدد ۱۰ در این مسئله، به عنوان معیار جمعیت هر نسل انتخاب شد.

همان‌طور که در شکل دوم (نمودار نرخ تقاطع) مشخص است، بهترین میزان این نرخ که باعث ارائه بهترین مقدار برازندگی گردید، نرخ ۰/۸ است. به عبارتی، این عدد نرخ بهینه‌ای است که در مسئله OMVP می‌توان در نظر داشت. نخبه‌گرایی، پارامتری است که نشان‌دهنده میزان بقای کروموزوم برجسته در نسل بعدی است. کم بودن این پارامتر، به معنای بی‌توجهی به جواب‌های برتر و زیاد بودن میزان این پارامتر به معنای دور شدن از فلسفه اصلی الگوریتم ژنتیک (ترکیب کروموزوم‌ها) است.

همان‌طور که در شکل سوم (نمودار نخبه‌گرایی) مشخص است، عدد بهینه برای این مقدار ۰/۰۱ خواهد بود. با افزایش این مقدار، نرخ برازندگی به شدت تضعیف می‌گردد. آخرین پارامتری که در این بخش مورد ارزیابی قرار گرفت، نرخ جهش است که این نرخ نیز رفتاری مشابه نرخ نخبه‌گرایی دارد. کاهش این پارامتر می‌تواند موجب گرفتار شدن در بهینه‌های محلی شود و افزایش بی‌رویه آن نیز با اصول پایه‌ای الگوریتم ژنتیک (تولید نسل جدید از طریق ترکیب) در تضاد است. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود، نرخ بهینه آن در مسئله OMVP حدود ۰/۰۰۵ خواهد بود. در نتیجه این ارزیابی‌ها، مقادیر بهینه برای این چهار پارامتر برگزیده شد و براساس این مقدار نتایج نهایی به دست آمد.

برای سنجش میزان کارایی استفاده از رئوس TIN به عنوان ژن‌های منتخب، مقایسه‌ای صورت گرفت، که در آن یک بار به جای استفاده از رئوس TIN، از کلیه نقاط به عنوان منبع اولیه ژن‌ها استفاده گردید. در این حالت نیاز به تعریف تعداد جمعیت بالا برای هر نسل از کروموزوم‌هاست که باعث کاهش سرعت اجرا و همگرایی الگوریتم ژنتیک است و از طرفی با افزایش تعداد منابع موج، تعداد ترکیب‌ها به صورت نمایی افزایش می‌یابد که این امر نیز به شدت محدودکننده است. در بار دوم اجرا، از رئوس TIN به عنوان ژن‌های اولیه استفاده شد (روش پیشنهاد شده در این تحقیق). در جدول ۲، خروجی و نتایج دو روش با هم مقایسه گردیده است.



شکل ۹. ارزیابی نحوه تأثیر پارامترهای مختلف الگوریتم ژنتیک بر عدد برازندگی

جدول ۲. برتری نتایج حاصل از روش برگزیدن ژن‌های برتر به کمک TIN نسبت به روش معمولی در مسئله OMVP

روش استفاده از ژنتیک در مسئله OMVP	تعداد جمعیت هر نسل	زمان اجرا (ثانیه)	بهترین برازندگی	میانگین برازندگی
بدون تلفیق TIN	۵۰	۴۸/۷	۰/۵	۰/۵۲۵
برگزیدن ژن‌های برتر به کمک TIN	۱۰	۱۲/۳	۰/۴۸۴	۰/۵۰۹

همان‌طور که مشخص است، با وجود بالاتر بودن بیش از حد جمعیت هر نسل و بالا رفتن چند برابر زمان اجرا، میزان برازندگی بهترین ترکیب همچنان از میزان برازندگی معادل در روش تلفیقی ضعیف‌تر است. لازم به ذکر است که این نتایج، میانگین ۱۰ بار اجرای الگوریتم برای هر حالت است. یادآوری می‌شود که در اجرای این مسئله، کمینه بودن تابع برازندگی به معنای بهتر بودن آن است. در مورد میزان تأثیر پارامترهای کیفی امواج باید به این نکته توجه داشت که میزان این تأثیر در عمل به حداقل کیفیت مطلوب موج دریافتی در هر فرکانس بستگی دارد. به دلیل اینکه این تحقیق، به طور کلی برای طیف امواج الکترومغناطیس به عمل آمده است، عدد خاصی به عنوان حداقل کیفیت در یک فرکانس خاص مبنا قرار نگرفته و به عبارتی برای هر کاربری این عدد و میزان تأثیر می‌تواند متغیر باشد. اما در حالت کلی، مطابق رابطه (۵)، می‌توان گفت که میزان این تأثیر با افزایش ابعاد منطقه و افزایش فرکانس موج، افزایش می‌یابد. بدین ترتیب در این تحقیق، بهترین توزیع برای استقرار نقاط دید یا منابع انتشار امواج الکترومغناطیس به طوری که بهترین پوشش کیفی در منطقه ایجاد گردد (در نظر گرفتن مدل تضعیف) و در مناطق وسیع قابل اجرا باشد (تلفیق مدل TIN و GRID) مشخص گردید.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مهم‌ترین هدف این تحقیق یافتن بهترین چینش نقاط دید یا منابع انتشار موج بود. با توجه به پیچیدگی‌های توپوگرافی زمین، یافتن رابطه تحلیلی ریاضی برای بیشینه کردن کمیت و کیفیت میدان پوشش موج در عمل ناممکن است. بنابراین در این تحقیق از روش‌های بهینه‌سازی عددی از نوع تصادفی استفاده شد و در این میان ساختار الگوریتم ژنتیک بیشترین تطابق را برای حل این مسئله نشان داد. بنابراین با تعریف اجزای الگوریتم ژنتیک برای مسئله OMVP، امکان یافتن بهترین چینش فراهم آمد. در این میان یکی از اجزای اصلی، تابع تناسب (Fitness) است که با لحاظ کردن مدل انتشار موج (مدل هوای آزاد) به گونه‌ای تعریف شد که نه تنها بیشینه شدن سطح میدان دید موج در آن تأثیرگذار باشد، بلکه کیفیت موج دریافتی نیز یکی از پارامترهای اصلی در مقدار این تابع باشد. از طرفی با در نظر گرفتن رئوس TIN متناظر، عملاً جمعیت اولیه در الگوریتم ژنتیک از تعداد کل پیکسل‌های GRID به تعداد رئوس TIN کاهش یافت و به عبارتی دیگر، از ابتدا فقط ژن‌های قوی در این رقابت دخالت داده شدند.

در نتیجه این عملیات مدلی بر پایه الگوریتم ژنتیک حاصل گردید که بهترین نقاط استقرار منابع انتشار موج را معرفی می‌کند. یکی از امتیازات اصلی این مدل، در نظر گرفتن کیفیت پوشش در محاسبات است و امتیاز مهم دیگر قابلیت پیاده‌سازی آن در مقیاس واقعی به واسطه تلفیق مدل TIN و GRID است. برای تحقیقات آینده در نظر گرفتن مدل‌های جامع‌تری از پدیده تضعیف موج که در آنها توان‌های تفکیک متفاوتی وجود دارد، می‌تواند درخور توجه باشد. همچنین استفاده از مدل‌های کامل‌تر که تأثیرات تضعیف ناشی از سازه‌های طبیعی و مصنوعی را نیز در نظر می‌گیرند، برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌گردد.

افزون بر اینها، ارائه راهکارهایی برای کاهش هر چه بیشتر ژن‌های نامناسب و در نتیجه افزایش سرعت اجرا و همگرایی الگوریتم ژنتیک در مسئله OMVP ارزشمند خواهد بود. در این تحقیق، در عمل برتری رئوس TIN نسبت به پیکسل‌های GRID در جمعیت اولیه، مشخص گردید. اما ارائه مدل ریاضی کامل برای اثبات برتری رئوس TIN به پیکسل‌های GRID در مسئله OMVP نیز ارزشمند است. تحقیقات دیگری در زمینه‌های مشابه، به‌وسیله سایر روش‌های بهینه‌سازی عددی تصادفی صورت گرفته است. استفاده از سایر روش‌های بهینه‌سازی نظیر Simulated Annealing برای حل مسئله OMVP و ارزیابی نتایج حاصل از روش‌های مختلف نیز برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌گردد.

۵- منابع

[1] De Floriani, L., Marzano, L. and Puppo, P.E., 1994. Line-of-sight Communication on Terrain Models. *International Journal of Geographical Information Systems*, 8 (4), 329–342.

[2] Mattikalli, R., Fresnedo, R., Frank, P., Locke, S.,Thunemann, Z., 2007. Optimal Sensor Selection and Placement for Perimeter Defense. In: *3rd Annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering Scottsdale*, AZ, USA.

[3] Kidner, D., Sparkes, A. and Dorey, M., 1999. GIS and Wind Farm Planning. In: J. Stillwell, S. Geertman, S. Openshaw, eds. *Geographical Information and Planning*. London: Springer, 203-223.

[4] Kim, Y.H., Rana, S., Wise, S., 2004. Exploring Multiple Viewshed Analysis using Terrain Features and Optimisation Techniques. *Computers & Geosciences*, 30, 1019–1032.

[5] Rana, S., 2003. Fast Approximation of Visibility Dominance Using Topographic Features as Targets and the Associated Uncertainty. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69 (8), 881–888.

[6] Qoraishi, N., Mohammadi, M., Robatmaily, M. and Fathi, M., 2007. A New Genetic Algorithm for Designing Optimized Cellular GSM networks. In: *13th Conference of Computer Society of Iran*, Kish, Iran. (Persian)

[7] Rappaport T.S., 2002. *Wireless Communications Principles and Practices*. New Jersey: Prentice-Hall.

[8] Burrough, P.A. and McDonnel, R.A., 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. London: Oxford University Press, 346 pp.

[9] Fisher, P.F., 1996. Extending the Applicability of Viewsheds in Landscape Planning. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62 (11), 1297–1302.

[10] Bavari, O. and Salehi, M., 2008. *Genetic Algorithms and Optimization of Composite Structures*. Iran: Abed Press (In Persian language), 200 pages.

[11] Das A., and Chakrabarti, B.K., eds. 2005. *Quantum Annealing and Related Optimization Methods.* Lecture Note in Physics, 679, Heidelberg: Springer.

[12] Bies, Robert, R., Muldoon, Matthew, F., Pollock, Bruce, G., Manuck, Steven, Smith, Gwenn and Sale, Mark, E., 2006. A Genetic Algorithm-Based, Hybrid Machine Learning Approach to Model Selection. *Journal of Pharmacokinetics and Pharmacodynamics*, 33(2), 196–221.

[13] Poli, R., Langdon, W.B. and McPhee, N. F., 2008. *A Field Guide to Genetic Programming*. Uk: Lulu Enter prises.

[14] Pedersen, M.E.H. and Chipperfield, A.J., 2010. Simplifying Particle Swarm Optimization. *Applied Soft Computing* 10, 618–628.

[15] National Communications System Technology & standard Division, 2000. *Telecom Glossary 2000*. http://www.its.bldrdoc.gov/projects/devglossary/, http://en.wikipedia.org/wiki/Path_loss, Accessed September 2009.

[16] AIRCOM International, 2002. *GSM System Overview*, London: Crosvenor House press (Technical Report).

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.1, No.2, Winter 2014
15-32

Optimal Spatial Distribution of Sources of Electromagnetic Wave Propagation for Acquiring Best Qualitative Coverage (Using Genetic Algorithms in GIS)

Omidi Garakani Eb.*[1], Mansourian A.[2], Mesgari M.S.[2], Omidi Garakani Eh.[3]

1- Ph.D. Candidate in GIS. Geodesy & Geomatics Faculty, K.N. Toosi University of Technology
2- Assistant Prof., GIS Dep., Geodesy & Geomatics Faculty, K.N. Toosi University of Technology
3- B.Sc. Student, Amirkabir University of Technology

Abstract

Optimal multiple viewpoints problem (OMVP) is an optimization problem, which could not be solved by using analytical methods, since there is not any distinct mathematical relationship between the positions of viewpoints and combinatorial viewshed. Due to the variety of applications of OMVP in communications, surveying, military, urban planning, etc., it is necessary to find a solution. Current solutions include many shortcoming, and disadvantages such as: "not considering the quality of coverage (quality of the received signal)" and "not being applicable because of high number of calculations". In this paper, a new genetic method has been used to solve OMVP which resolves the mentioned shortcomings, considerably. In this method, each viewpoint is considered as a gene and each N viewpoint compose a chromosome. The quality problem is solved by considering electromagnetic wave attenuation model as the fitness function. The number of calculations has also been considerably reduced by integrated utilization of DEM and TIN, Were TIN vertices are used as the first genes instead of DEM pixels. The results of the practical test showed the flexibility and applicability of the proposed method for OMVP.

Keywords: Viewshed, Wave propagation model, Optimal multiple viewpoints problem (OMVP), Wave attenuation, Genetic algorithm, Optimization, TIN.

* Correspondence Address: 1364, Valiasr street, Mirdamad intersection, Tehran, Iran. Tel: 021-77907111.
Email: ebrahim. omidi@gmail.com