

الگوریتم بهینه‌سازی ذرات ازدحامی تعدیل شده به منظور حل مسأله مکان یابی بر روی معابر شهری (مطالعه موردی: مکان یابی ایستگاه های پلیس راهنمایی و رانندگی)

سینا ابوالحسینی^۱، محمدسعدی مسگری^{۲*}، رضا محمدی سلیمانی^۱

۱- کارشناسی ارشد، گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۱۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۰۴

چکیده

امروزه در شهرهای بزرگ جهان، ترافیک یکی از معضلات اصلی محسوب می‌شود که در اثر رشد جمعیت و عدم رشد متناسب ظرفیت خیابانها و سیستم حمل‌ونقل عمومی به وجود می‌آید. وقوع حوادث رانندگی یا ازدحام جمعیت در منطقه‌ای خاص به دلیل رویدادی مختلف، میتواند سبب وخامت وضعیت ترافیکی شود. این‌گونه مشکلات ترافیکی نیاز به دخالت مستقیم پلیس راهنمایی و رانندگی دارد. غیر از مراکز پلیس راهنمایی و رانندگی موجود در محیط های شهری، احداث کانکس‌های راهنمایی و رانندگی با تعداد محدودی نیرو، در محل‌هایی که امکان تأسیس مراکز راهنمایی و رانندگی وجود ندارد، یکی از رویکردهایی بوده که برای تسریع خدمت‌رسانی مورد استفاده قرار گرفته است. یافتن مکانی مناسب برای احداث این کانکس‌ها یک مسأله مکان‌یابی به شمار می‌آید که می‌توان از تجزیه و تحلیل‌های سیستم اطلاعات مکانی برای حل آن استفاده کرد. در این مقاله، مکان‌یابی کانکس‌های پلیس راهنمایی و رانندگی با توجه به تعداد آن‌ها و سرعت دسترسی به مکانهای حادثه‌خیز، با استفاده از الگوریتم ذرات ازدحامی گسسته مورد بررسی قرار گرفته است. این الگوریتم که از دسته الگوریتم‌های جمعیت مبنای هوش مصنوعی بوده، سرعت بالایی در حل مسائل از خود نشان داده است. به همین دلیل امکان استفاده از این الگوریتم با اعمال یک سری تغییرات بر روی این مسأله ترکیبی آزمایش شده است. بدین منظور عملگرهای تلفیق و جهش از الگوریتم ژنتیک در این الگوریتم مدل شده‌اند. پس از استخراج شبکه راه قسمتی از شهر تهران و اجرای الگوریتم بهبودیافته، نتایج این الگوریتم بهبودیافته با الگوریتم کلونی زنبورعسل، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق بیان می‌کند که عملگرهای انتخاب‌شده برای بهبود الگوریتم PSO به خوبی عمل می‌کنند. الگوریتم PSO بهبودیافته در مکان‌یابی ۲ و ۴ کانکس همانند الگوریتم ABC عمل کرده است اما زمانی که مکان‌یابی برای ۱۰ کانکس و بر روی محیط بزرگتری صورت می‌گیرد، نتایج الگوریتم PSO بهبودیافته از نظر دقت، صحت و تکرارپذیری بسیار بهتر از الگوریتم ABC است.

کلید واژه‌ها: مکان‌یابی، کانکس پلیس راهنمایی و رانندگی، بهینه‌سازی ذرات ازدحامی، کلونی زنبورعسل، شبکه راه شهری.

* نویسنده مکاتبه کننده: تقاطع خیابان ولیعصر و میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه برداری و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

۱- مقدمه

مسئله ترافیک از مسائلی است که باگذشت سال‌ها هنوز موضوع بسیاری از مطالعات و پژوهش‌هاست [۱]. امروزه با افزایش جمعیت و گسترش شهرها، ترافیک تبدیل به یکی از مهم‌ترین معضلات در کلان‌شهرها شده است و گریبان‌گیر بسیاری از شهرهای بزرگ دنیا است. ترافیک می‌تواند نقش بسیار مخربی از لحاظ اقتصادی، سلامتی و محیط زیستی در این کلان‌شهرها داشته باشد. افزایش آلودگی هوا، هدر رفتن زمان، افزایش مصرف سوخت و آلودگی صوتی تنها بخشی از مشکلاتی هستند که در نتیجه ترافیک سنگین، به وجود می‌آیند [۲].

برای حل مسئله ترافیک تاکنون رویکردهای مختلفی همچون توسعه معابر، تشویق مردم با استفاده از وسایل نقلیه عمومی، هوشمند کردن چراغ‌های راهنمایی تقاطع‌ها، مسیریابی و هدایت هوشمند خودروها و غیره پیشنهاد شده است و بسیاری از آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این حال، دلایلی همچون وقوع تصادفات، وجود مراکز خرید، برگزاری رویدادها و غیره سبب ایجاد ترافیک شده و تردد عادی خودروها را مختل می‌سازد. در این وقایع، حضور به موقع پلیس‌های راهنمایی و رانندگی نقش بسیار مهمی دارد. پلیس‌های راهنمایی و رانندگی معمولاً در مراکز یا کانکس‌های راهنمایی و رانندگی مستقر می‌شوند و در صورت به وجود آمدن اختلالی در وضعیت ترافیک، به محل اعزام می‌شوند. ساخت مراکز راهنمایی و رانندگی اصلی در بسیاری از مناطق میسر و مقرون به صرفه نیست. از طرف دیگر، به دلیل هزینه ساخت کانکس‌های پلیس راهنمایی، امکان ساخت این کانکس‌ها به تعداد بسیار زیاد وجود ندارد. بنابراین با مشخص بودن بودجه، تعداد این کانکس‌ها مشخص می‌شود، اما اینکه این کانکس‌ها در چه مکان‌هایی نصب و اجرا شوند وابسته به معیارهای مختلفی است. از این معیارها می‌توان به نزدیک بودن موقعیت کانکس به مکان‌های حادثه‌خیز اشاره کرد [۳].

مسئله مکان‌یابی، یکی از مسائل مهم مکانی است که در بسیاری از حوزه‌ها و زمینه‌ها مورد مطالعه قرار می‌گیرد. این مسئله قدمتی ۱۰۰ ساله دارد اما هنوز کاربردهای آن توجه بسیاری از محققین را به خود جلب می‌کند. کتابی که آلفرد وبر^۱ در سال ۱۹۰۹ از خود منتشر کرده است نقطه شروع بحث در رابطه با مسئله مکان‌یابی است [۴]. مسئله مکان‌یابی را از می‌توان به دودسته مسئله مکان‌یابی پیوسته و مسئله مکان‌یابی گسسته تقسیم‌بندی کرد. در دسته اول، به دنبال یافتن مکان بهینه در فضای پیوسته هستیم. یعنی مکان بهینه می‌تواند در هر نقطه‌ای در فضای مدنظر قرار بگیرد. در دسته دوم، مجموعه‌ای گسسته از نقاط کاندید وجود دارند که هدف یافتن بهترین نقطه از بین آن‌هاست [۵] و [۶]. هر دو این مسائل زمانی که در شرایط واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرند تبدیل به یک مسئله *NP-hard* می‌شوند که با افزایش ابعاد مسئله، پیچیدگی محاسباتی روش‌های دقیق برای حل آن‌ها بیشتر می‌شود. در بسیاری از موارد این افزایش پیچیدگی محاسباتی منجر به ناکارآمدی این روش‌ها می‌شود [۵]. یکی از این روش‌هایی که برای حل این نوع مسائل وجود دارد، استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و فرا ابتکاری است [۷]. از جمله این الگوریتم‌ها می‌توان به الگوریتم ژنتیک، کلونی مورچگان، زنبور عسل (ABC^2)، ذرات ازدحامی (PSO^3) و الگوریتم جستجوی ممنوعه اشاره کرد. الگوریتم *PSO* از الگوریتم‌های هوش ازدحامی^۴ است که دریافتن جواب‌های بهینه بسیار خوب عمل می‌کند. این الگوریتم در بسیاری از مسائل مکان‌یابی مورد استفاده قرار گرفته است. به طور مثال، از این الگوریتم در مکان‌یابی مراکز اورژانسی با در

^۱ Alfred Weber^۲ Artificial Bee Colony (ABC)^۳ Particle Swarm Optimization (PSO)^۴ Swarm Intelligence

توسط هر دو الگوریتم با یکدیگر مقایسه شد که در نهایت الگوریتم *PSO* در مقدار بهینگی تابع، شیب نمودار همگرایی، سرعت همگرایی، پایداری، تکرارپذیری و زمان اجرا بهتر از الگوریتم *ACO* عمل کرده بود [۱۴]. به همین دلیل در این مقاله نیز برای حل مسأله مکان‌یابی بر روی شبکه راه نیز، سعی شده است تا با بهبود الگوریتم *PSO* به جواب بهینه برسیم.

در پژوهش‌هایی که تاکنون مورد بررسی نگارندگان این مقاله قرار گرفته است، این الگوریتم به صورت محدود برای مکان‌یابی بر روی شبکه راه مورد استفاده قرار گرفته است. ویژگی‌ای که در مسأله مکان‌یابی بر روی شبکه راه وجود دارد، عدم امکان استفاده از فرمول سرعت موجود در الگوریتم *PSO* به منظور بروز رسانی مکان ذرات است. همان‌طور که ذکر شد، الگوریتم *PSO* به منظور بهینه‌سازی در فضاها پیوسته طراحی شده است [۱۲ و ۱۵]، حال آنکه در مسأله پیش‌رو، با فضایی ترکیبی (پیوسته-گسسته) روبرو هستیم که در ادامه به شرح آن خواهیم پرداخت.

هدف این مقاله، بهبود الگوریتم *PSO* به منظور حل مسأله مکان‌یابی بر روی شبکه راه‌های شهری است. این الگوریتم به دلیل عملکرد بسیار خوبی که در یافتن بهترین جواب، سرعت همگرایی، پایداری و تکرارپذیری داشته است، به منظور بررسی‌های بیشتر انتخاب شده است. مورد مطالعاتی این پژوهش، مکان‌یابی کانکس‌های پلیس راهنمایی و رانندگی به گونه‌ای است که سریع‌ترین دسترسی را به نقاط حادثه‌خیز داشته باشند. الگوریتم *PSO* با توجه به اینکه برای مسائل پیوسته توسعه یافته است، نیازمند تغییراتی است تا عملکرد خوب خود در حل مسائل پیچیده را، در شرایط این مسأله حفظ کند [۱۳]. تاکنون روش‌های بسیاری برای این موضوع ارائه شده‌اند، اما همچنان بسته به پیچیدگی و ماهیت مسأله، می‌توان روش‌های بهتری ارائه داد.

تفاوت این مقاله با مقاله مرجع [۱۲]، در مدل کردن حرکت بر روی یال‌ها به صورت پیوسته است. این در

نظر گرفتن فاصله هر مرکز تا بیمارستان‌ها و بیشینه موارد اورژانسی که هر بیمارستان می‌توان مدیریت کند، استفاده شده است [۸]. لازم به ذکر است که در این پژوهش موقعیت مراکز نسبت به شبکه راه در نظر گرفته نشده است. همین‌طور در تحقیقی دیگر، هدف یافتن مکان مناسب برای تعدادی تولیدی است که باید فاصله‌ای مناسب با خرده‌فروشان مدنظرشان داشته باشند. در این تحقیق نیز، فاصله بین خرده‌فروش و تولیدی فاصله اقلیدسی در نظر گرفته شده است [۹]. الگوریتم *PSO* در پژوهش‌های بسیاری در زمینه مکان-یابی مورد استفاده قرار گرفته است که نتایج آن حاکی از عملکرد خوب این الگوریتم بوده است [۱۰، ۱۱ و ۱۲]. این الگوریتم تعداد پارامترهای کمتری نسبت به الگوریتم‌های موجود، همچون الگوریتم، ژنتیک دارد و همچنین درک آن راحت‌تر از الگوریتم‌هایی همچون کلونی مورچگان است [۱۲].

در سال ۲۰۱۵ از این الگوریتم *PSO* به منظور تخصیص پناهگاه‌های زلزله در چین استفاده شده است. در این مقاله به دلیل همگرایی سریع و پایداری بالا، از الگوریتم *PSO* استفاده شده است. فضای این مسأله فضایی گسسته است. همان‌طور که ادامه نیز ذکر خواهد شد، الگوریتم *PSO* را نمی‌توان به صورت مستقیم در چنین مسائلی بکار برد و نیاز به تغییراتی در نحوه حرکت ذرات دارد. در این مقاله به حلقه‌های ابتدایی، ساختار *von Neumann* اضافه شده است تا تمامی فضا مورد جستجو قرار بگیرد و یک ساختار جستجو نیز به حلقه‌های انتهایی افزوده شده تا استخراج بهترین جواب بهتر صورت بگیرد [۱۳]. در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۱۸، تخصیص پناهگاه‌ها به صورت چند معیاره توسط الگوریتم *PSO* مورد بررسی قرار گرفت که از الگوریتم *PSO* بهبود یافته استفاده شد [۱۳].

در سال ۲۰۱۸ مسأله مکان‌یابی و تخصیص پناهگاه زلزله توسط دو الگوریتم *PSO* و *ACO* مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش نتایج حاصل از حل مسأله

خود ذره از ابتدای بهینه‌سازی^۱ و بهترین موقعیت کل ذرات از شروع بهینه‌سازی^۲ حرکت می‌کند تا در نهایت به جواب بهینه همگرا شوند.

هر ذره (i) یک موقعیت $X_i(t)$ دارد که با سرعت $V_i(t)$ در حال حرکت، در زمان t است. موقعیت و سرعت هر ذره طبق روابط (۱) و (۲) در هر تکرار به‌روزرسانی میشوند.

رابطه (۱)

$$V_i(t+1) = \omega(t)V_i(t) + c_1r_1(X_i^p(t) - X_i(t)) + c_2r_2(X^g(t) - X_i(t))$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$X_i^p(t)$ نماینده بهترین موقعیت ثبت‌شده از ذره i تا زمان t است و $X^g(t)$ بهترین موقعیت ثبت‌شده بین تمامی ذرات تا زمان t است. پارامترهای c_1 و c_2 ضرایب یادگیری و r_1 و r_2 اعدادی تصادفی میان ۰ و ۱ هستند. $\omega(t)$ نیز ضریب اینرسی نامیده می‌شود. در رابطه (۱)، قسمت اول رابطه، حرکت ذره در جهت مسیر قبلی خود را نشان می‌دهد؛ قسمت دوم حرکت به سمت بهترین موقعیت قبلی خود ذره را شامل می‌شود و قسمت سوم حرکت به سمت بهترین موقعیت میان ذرات. در حقیقت قسمت دوم تفکر مستقل برای هر ذره قائل می‌شود درحالی‌که قسمت سوم تفکر جمعی و همکاری بین ذرات را در حل مسأله دخیل می‌کند.

به‌طورمعمول، یک مقدار حداکثر (مرز بالا) برای سرعت هر ذره در نظر گرفته می‌شود. این کار به منظور جلوگیری از حرکت ذره به سمت خارج از فضای مسأله انجام می‌شود [۱۷]. همچنین ضریب انقباض نیز برای محدود کردن سرعت هر ذره ارائه‌شده است [۱۸]. شبه کد الگوریتم PSO را می‌توان در شکل (۱) مشاهده کرد.

حالی است که در مقاله مذکور یال‌ها به صورت یک فضای گسسته از اعداد صحیح در نظر گرفته‌شده و به صورت باینری حل می‌شود. همچنین مطالعه موردی مسأله نیز از مقاله مرجع [۳] الهام گرفته‌شده که در این مقاله تنها با گرد کردن اعداد مربوط به شماره گره‌های شبکه، سعی در حل مسأله به صورت ترکیبی شده است. این در حالی است که مقاله پیش‌رو سعی دارد با تلفیق عملگرهای الگوریتم ژنتیک (عملگر تلفیق و جهش) در معادله سرعت الگوریتم PSO این مسأله را به شکل بهتری حل نماید.

ادامه مقاله در پنج بخش به شرح زیر تدوین شده است: در بخش دوم مروری کلی بر الگوریتم PSO و روند استاندارد پیاده‌سازی آن انجام می‌شود. در بخش سوم مدل مورد استفاده در حل مسأله مکان‌یابی کانکس‌های پلیس توضیح داده می‌شود. بخش چهارم به تغییراتی که در الگوریتم PSO اعمال شده است اختصاص دارد. بخش پنجم به معرفی داده‌های مورد استفاده و منطقه مورد مطالعه، تنظیم پارامترها، پیاده‌سازی و ارزیابی الگوریتم PSO با استفاده از الگوریتم ABC می‌پردازد. در نهایت نتیجه‌گیری در بخش ششم ارائه‌شده است.

۲- الگوریتم PSO استاندارد

الگوریتم PSO یک الگوریتم هوش ازدحامی الهام‌یافته از حرکت جمعی پرندگان یا ماهی‌ها در رسیدن به هدفی خاص است. این الگوریتم اولین بار توسط کندی و ابرهارت در سال ۱۹۹۵ ارائه شد [۱۶]. در PSO هر ذره یک جواب برای مسأله‌ای است که قصد حل کردن آن را داریم و بهینگی آن توسط یک تابع هدف صورت می‌گیرد که وابسته به مسأله است. برای هر ذره سرعتی تعریف می‌شود که متأثر از سرعت قبلی خود ذره و سرعت ذرات دیگر است. این الگوریتم با یک جمعیت اولیه تصادفی شروع به جستجوی فضای مسأله می‌کند. در هر تکرار موقعیت هر ذره به سمت بهترین موقعیت

^۱ Local Best

^۲ Global Best

قدم ۱. مقداردهی اولیه
 برای هر ذره $i=1, \dots, N$
 ۱. اختصاص مکان اولیه تصادفی در فضای مسئله
 ۲. ذخیره $gbest$ و $pbest$
 ۳. اختصاص سرعت اولیه
 قدم ۲. تکرار تا زمان رسیدن به شرط توقف
 برای هر ذره $i=1, \dots, N$
 ۱. $P1$ و $P2$ به صورت تصادفی انتخاب شوند
 ۲. بروزرسانی معادله سرعت (رابطه ۱)
 ۳. بروزرسانی موقعیت هر ذره (رابطه ۲)
 ۴. محاسبه تابع بهینگی ذرات و بروزرسانی مقادیر $pbest$
 ۵. $t \leftarrow t+1$
 قدم ۳. ارائه $gbest$ به عنوان بهترین جواب

شکل ۱: شبه کد الگوریتم PSO

۳- مدل مکان‌یابی بر روی معابر شهر

مکان‌یابی کانکس‌های پلیس راهنمایی و رانندگی در معابر شهری از مسائلی است که نه می‌تواند به طور کامل در دسته مسائل پیوسته جای بگیرد و نه در دسته مسائل گسسته؛ بدیهی است که کانکس‌های پلیس را باید بر روی معابر در نظر گرفت. بنابراین فضاهای میان معابر که بلوک‌های شهری را شامل می‌شوند به‌عنوان فضای مسئله در نظر گرفته نمی‌شوند. هنگامی که مکان یک کانکس را می‌خواهیم مشخص کنیم، امکان انتخاب تمامی نقاط موجود در طول یک معبر وجود دارد. بنابراین می‌توان دید که در حقیقت مکان‌یابی باید بر روی گراف انجام بگیرد که گره‌های آن تقاطع‌های معابر شهری را تشکیل می‌دهند و یال‌های آن نماینده خیابان‌ها هستند. سه فرضیه زیر برای ساده‌سازی مسئله در نظر گرفته شده‌اند:

- ۱- با توجه به اینکه بیشتر تصادفات در تقاطع‌ها صورت می‌گیرند، نقاط حادثه‌خیز در این مسئله محل تقاطع‌های خیابان‌ها فرض شده‌اند. این بدین معناست که فاصله کانکس‌های پلیس راهنمایی و رانندگی باید تا تقاطع خیابان‌ها بهینه شود.
- ۲- حرکت نیروهای پلیس راهنمایی و رانندگی مستقل

از وضعیت ترافیکی و جهت خیابان است. زیرا پلیس راهنمایی و رانندگی می‌تواند پیاده و یا سوار بر وسایل نقلیه دوچرخ، خود را به تقاطعی که در آن حادثه رخ داده است، برساند.

۳- تعداد کانکس‌هایی که قصد مکان‌یابی آن‌ها را داریم، با توجه به بودجه، از قبل تعیین شده است.

بنا بر فرضیات ذکر شده، هدف مسئله یافتن مکان‌هایی برای تأسیس تعدادی مشخص کانکس‌های پلیس راهنمایی و رانندگی است که فاصله آن‌ها تا محل تقاطع خیابان‌ها بهینه باشد و دسترسی سریع نیروی راهنمایی را میسر سازد. در اینجا برای مدل‌سازی ریاضی این مسئله در فضای گراف، از مدلی استفاده شد که در یکی از مقاله‌ها ارائه شده است [۳]. در ادامه این مدل به صورت کامل تشریح می‌شود. در این مدل، Y مجموعه موقعیت‌های کانکس‌های پلیس راهنمایی و رانندگی است (رابطه (۳)). هر عضوی از Y (موقعیت یک کانکس)، یک سه‌تایی است که به فرم رابطه (۴) نمایش داده می‌شود. a گره آغازی و b گره پایانی یال را مشخص می‌کنند. c هم فاصله نقطه از a است.

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$y_j = \{a, b, c\} \quad \text{رابطه (۴)}$$

مجموعه تقاطع‌ها نیز با X طبق در رابطه (۵) نمایش داده

می‌شود.

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad \text{رابطه (۵)}$$

یک جواب مسأله به صورت مجموعه‌ای از این سه‌تایی‌ها که نشانگر مکان تعداد مشخصی کانکس می‌باشند، تعریف می‌شود. برای محاسبه تابع بهینگی نیز به این

صورت عمل شده است که ابتدا کوتاه‌ترین فاصله هر کانکس تا تمامی تقاطع‌ها محاسبه می‌شود (رابطه (۶)). $Dpp(u, w)$ در حقیقت کوتاه‌ترین فاصله نقطه u و w است.

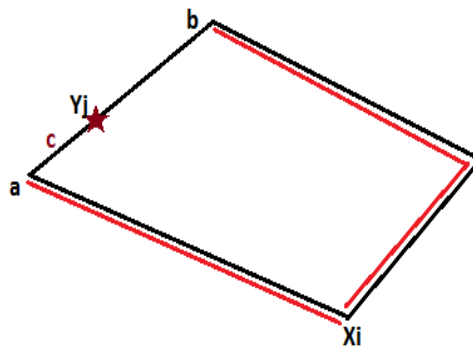
$$Dpp(x_i, y_j) = \min \{ [Dpp(a, x_i) + c], [Dpp(b, x_i) + Dpp(a, b) - c] \} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه (۶) کوتاه‌ترین فاصله بین تقاطع x_i و کانکس y_j محاسبه شده است. زمانی که می‌خواهیم این فاصله را محاسبه کنیم، هر کانکس (y_j) با یک سه‌تایی ($\{a, b, c\}$) مشخص شده است. بنابراین می‌توان این فاصله را کمینه بین دو مقدار ذکر شده در رابطه (۶) دانست. مقدار $Dpp(a, x_i)$ عبارت است از فاصله میان گره ابتدایی یالی که کانکس بر روی آن قرار دارد تا تقاطع x_i و مقدار دوم $Dpp(b, x_i)$ برابر است با فاصله میان گره پایانی یالی که کانکس بر روی آن قرار دارد تا نقاط مدنظر. لازم به ذکر است که در این رابطه $Dpp(a, b)$ همان فاصله بین دو تقاطع a و b است که برابر با وزن یال بین این دو گره خواهد بود.

بنا بر مطالبی که توضیح داده شد، $Dpp(a, x_i) + c$ و $Dpp(b, x_i) + Dpp(a, b) - c$ کوتاه‌ترین فاصله میان کانکس y_j و x_i از دو سمت یالی که کانکس بر روی آن قرار دارد را به دست می‌آورند و سپس کمینه مقدار بین کانکس y_j و تقاطع x_i را به‌عنوان کوتاه‌ترین فاصله لحاظ می‌کند (شکل (۲)).

با داشتن فاصله هر تقاطع تا تمامی کانکس‌ها، نزدیک‌ترین کانکس به هر تقاطع انتخاب می‌شود (رابطه (۷)). دلیل اینکه به این‌گونه کوتاه‌ترین مسیر پیدا می‌شود، عدم تعریف شدن کانکس‌ها به صورت گره در گراف شبکه معابر شهری است.

$$Dps(x_i, Y) = \min Dpp(x_i, y_j) \quad \text{رابطه (۷)}$$



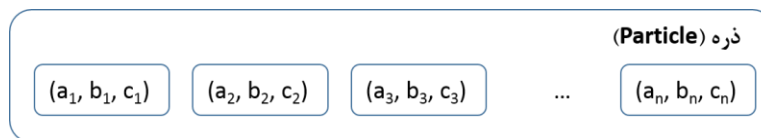
شکل ۲: کوتاه‌ترین فاصله بین تقاطع x_i و کانکس y_j

فاصله بین نقاط تصادف را با نزدیک‌ترین کانکس‌ها با آن‌ها نشان می‌دهد. هدف از بهینه‌سازی کمینه کردن این مقدار است.

$$D(X, Y) = \max Dps(x_i, Y) \quad \text{رابطه (۸)}$$

رابطه (۷) فاصله هر تقاطع را از نزدیک‌ترین کانکس به آن حساب می‌کند. سپس در مرحله بعد، بیشترین فاصله موجود را در میان فواصل محاسبه شده در رابطه (۷) پیدا می‌کنیم (رابطه (۸)). این مقدار حداکثر

بهبودیافته از ساده‌سازی‌های انجام‌شده در مقاله [۱۲] الهام گرفته شده است. در ادامه توضیحات بهترین موقعیت ذره تا تکرار کنونی با استفاده از *pbest* و بهترین موقعیت میان تمامی ذرات تا تکرار کنونی با استفاده از *gbest* نمایش داده شده‌اند. با توجه به توضیحاتی که در بخش ۳ داده شد، ساختار هر ذره در الگوریتم *PSO* برای حل مسأله مکان‌یابی کانکس‌ها، به صورت شکل (۳) است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، هر جواب (ذره) مجموعه‌ای از سه‌تایی‌های رابطه (۴) است که تعداد این سه‌تایی‌ها برابر با تعداد کانکس‌هایی است که قصد مکان‌یابی آن‌ها را داریم.



شکل ۳: ساختار هر ذره در مسأله مکان‌یابی کانکس

بیشتر از مقدار $\omega_2(t)$ باشد، جهش اتفاق می‌افتد و در غیر این صورت تغییر در مقدار c را خواهیم داشت (رابطه (۱۰)). تابع $F1$ عملگر جهش را مشخص می‌کند، که موقعیت کانکس y_i را به صورت کاملاً تصادفی تغییر می‌دهد.

رابطه (۱۰)

$$V_i^{self}(t+1) = \begin{cases} F_1(y_i) & r > \omega_2(t) \\ \omega_1(t)(c_i(t) - c_i(t-1)) & else \end{cases}$$

از طرفی دیگر، هر ذره شامل مجموعه‌ای از سه‌تایی‌هاست که مکان کانکس‌ها را بر روی یال‌ها نشان می‌دهند. برای هر ذره بهترین موقعیت آن در لیستی جداگانه ذخیره شده است. همان‌طور که ذکر شد، این مکان *pbest* خوانده می‌شود. برای حرکت به سمت *pbest* در صورتی که یال‌های متناظر بین موقعیت فعلی ذره و موقعیت *pbest* مشترک نباشند و مقدار تصادفی r از مقدار $c1$ بیشتر باشد، عملگر تلفیق طبق رابطه (۱۱) رخ می‌دهد و موقعیت آن کانکس با موقعیت

حال تابع هدف را روی همین فاصله تعریف می‌کنیم (رابطه (۹)). همان‌طور که در رابطه (۹) مشاهده می‌شود، هرچه مقدار D در یک ذره کمتر باشد، آن ذره بهتر خواهد بود.

$$\text{رابطه (۹)} \quad f(Y) : \text{Minimize } D(X, Y)$$

این تابع هدف در الگوریتم *PSO* برای یافتن مقدار کمینه مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در بخش بعدی نحوه تعدیل رابطه سرعت به منظور استفاده در مسأله مطرح شده، شرح داده می‌شود.

۴- الگوریتم *PSO* بهبودیافته

به منظور تعدیل رابطه سرعت (رابطه (۱))، هر کدام از سه بخش ذکرشده در رابطه به نحوی ابتکاری پیاده‌سازی شده‌اند. برای فرموله کردن رابطه سرعت

به منظور بهبود رابطه سرعت برای حل مسأله مکان‌یابی بر روی شبکه راه، از دو عملگر معروف الگوریتم ژنتیک استفاده شده است (تلفیق و جهش). در رابطه سرعت بهبودیافته، هر کانکس در هر ذره و در هر تکرار با توجه به جهت سرعت قبلی خود، اما با مقداری متفاوت تغییر می‌کند. در رابطه (۱۰) مقدار متفاوت سرعت در هر تکرار ناشی از عدد تصادفی $\omega_1(t)$ در رابطه سرعت است. اگر c در رابطه (۴) در تکرار قبل رو به افزایش بوده است، در تکرار بعدی نیز افزایش می‌یابد و بالعکس. این تغییر موقعیت بر روی پارامتر c سبب حفظ پیوستگی فضای مسأله در هنگام یافتن مکان مناسب بر روی یال‌ها می‌شود. اما به منظور جستجوی فضای بهتر، از الگوریتم جهش نیز در این حرکت استفاده شده است. این عملگر از هیچ قاعده‌ای پیروی نمی‌کند و به صورت کاملاً تصادفی به جستجوی فضا می‌پردازد. در حل این مسأله، در صورتی که مقدار r

بر روی یال‌های متفاوتی قرار داشته باشند و اگر r بزرگ‌تر از c_2 باشد، عمل تلفیق اتفاق می‌افتد و موقعیت کانکس از یالی که بر روی آن قرار داشته به یالی که در $gbest$ وجود دارد تعویض می‌شود. پارامتر c در یال تعویض شده، به صورت تصادفی تعریف می‌شود تا با حرکت ذره در تکرار بعدی به سمت بهترین ذره، فضای روی یال نیز جستجو شود. در رابطه (۱۳)، تابع F_2 همان نماینده عملگر تلفیق است.

رابطه (۱۳)

$$V_i^{gbest}(t+1) = c_2 \otimes F_2(y_i^{gbest}(t), y_i(t))$$

این روش به روزرسانی موقعیت برای حل مسأله ترکیبی در فضای پیوسته-گسسته به چند دلیل مناسب است. اول اینکه موقعیت هر ذره با اعدادی صحیح مشخص می‌شوند که در کل پروسه به روزرسانی موقعیت صحیح باقی می‌ماند. دوم اینکه عملگر تلفیق و جهش سبب پراکندگی ذرات می‌شوند که جستجوی بهتر فضای مسأله را در پی دارد. همچنین جهت تکامل ذرات به سمت $gbest$ و $pbest$ حفظ می‌شود که در نهایت سبب همگرایی ذرات به بهترین جواب می‌شود. رابطه (۱۴) را می‌توان به عنوان رابطه سرعت الگوریتم PSO بهبودیافته در نظر گرفت.

$$V_i(t+1) = c_2 \otimes F_2 \left\{ c_1 \otimes F_2 \left\{ w_2(t) \otimes F_1(y_i(t)), y_i^{pbest}(t) \right\}, y_i^{gbest}(t) \right\} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

کوتاه‌ترین فاصله میان تمامی زوج گره‌ها محاسبه شوند و در رابطه (۷) محاسبات سریع‌تر انجام شود [۲۰].

۵- نتایج و بحث

در این بخش ابتدا خصوصیات داده‌های مورد استفاده در بخش ۵-۱ توضیح داده شده و سپس پارامترهای الگوریتم PSO در بخش ۵-۲ تنظیم و گزارش شده است. معیارهای ارزیابی الگوریتم PSO بهبودیافته با استفاده از الگوریتم ABC در بخش ۵-۳ توضیح داده شده و در نهایت در بخش ۴-۵ نتایج عددی گزارش شده‌اند.

متناظر آن در ذره $pbest$ تعویض می‌شود. این عمل الهام گرفته شده از عملگر تلفیق ($Crossover$) در الگوریتم ژنتیک است که سبب حرکت جمعیت اولیه به سمت جواب بهینه می‌شود. در صورتی که r کوچک‌تر از c_1 باشد، موقعیت کانکس به سمت $pbest$ تغییر نمی‌کند.

رابطه (۱۱)

$$V_i^{pbest}(t+1) = \begin{cases} F_2(y_i(t), y_i^{pbest}(t)) & r > c_1 \\ y_i(t) & \text{else} \end{cases}$$

در حرکت به سمت $pbest$ در حقیقت هر ذره به دنبال حرکت بر اساس تجربیات قبلی خود و تفکر به صورت مستقل است. با انجام این عمل، ذره به موقعیت $pbest$ خود نزدیک‌تر می‌شود (رابطه (۱۲)). رابطه (۱۱) برای سادگی به صورت رابطه (۱۲) نشان می‌دهیم. در این رابطه تابع F_2 نمایانگر عملگر تلفیق است.

رابطه (۱۲)

$$V_i^{pbest}(t+1) = c_1 \otimes F_2(y_i^{pbest}(t), y_i(t))$$

در حرکت به سمت $gbest$ همانند حرکت به سمت $pbest$ اعمال تغییرات بر روی خود یال‌ها صورت می‌گیرد. در این حرکت که بر اساس اطلاعات جمعی ناشی از حرکت تمامی ذرات است، در صورتی که کانکس‌های متناظر بین دو ذره موقعیت کنونی و $gbest$

توضیح دیگری که بیان آن ضروری است، استفاده از الگوریتم فلویید-وارشال در محاسبات تابع بهینگی است. در این تحقیق تمامی فواصل، فواصل شبکه است. برای محاسبه کوتاه‌ترین فاصله میان کانکس‌ها و تقاطع‌ها (رابطه (۵))، به منظور افزایش سرعت اجرا الگوریتم PSO ، از الگوریتم فلویید-وارشال برای محاسبه کوتاه‌ترین فاصله استفاده شد. الگوریتم فلویید-وارشال، الگوریتمی است که کوتاه‌ترین فاصله را بین تمامی زوج گره‌های گراف محاسبه می‌کند [۱۹]. این الگوریتم در ابتدای محاسبات بر روی شبکه اعمال می‌شود تا

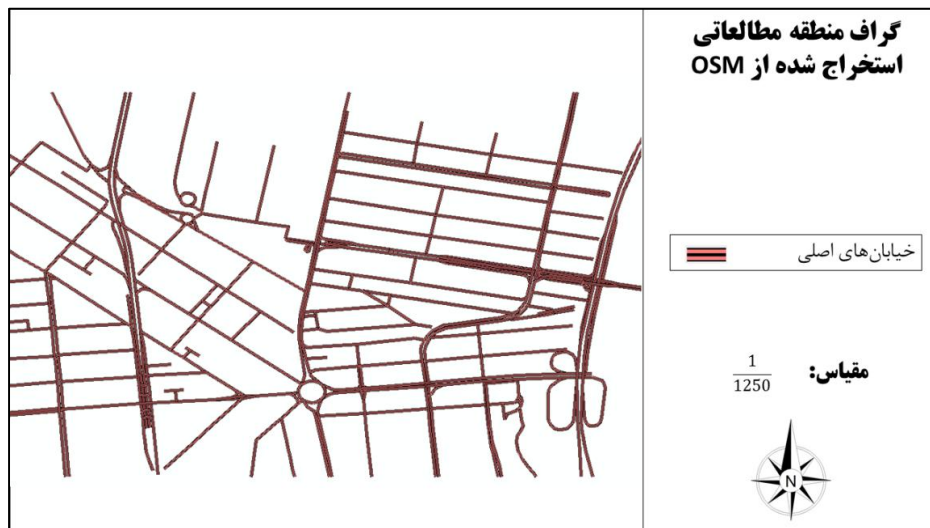
بعدی ماتریس مجاورت گراف خیابان‌ها توسط نرم افزار جی آی اس استخراج شد (شکل (۴) و (۵)). همچنین مشخصات داده‌های مورد استفاده در جدول (۱) گزارش شده است.

۵-۱- داده‌های مورد استفاده

برای ارزیابی نتایج الگوریتم *PSO* و مقایسه آن با الگوریتم *ABC*، از میان خیابان‌های شهر تهران، گراف قسمتی از منطقه ۳ تهران استخراج شد. این داده‌ها از سایت *OpenStreetMap* برداشت شد و برای تحلیلهای



شکل ۴: بخشی از منطقه ۳ شهر تهران که داده‌های آزمون از آن استخراج شده است



شکل ۵: گراف منطقه مطالعاتی استخراج شده از داده‌های *OSM*

جدول ۱: مشخصات داده‌های مورد استفاده

پارامتر	مقدار
تعداد گره	۳۷۱
تعداد یال	۹۵۱
کمینه طول یال‌ها (متر)	۱,۸۶۷
میانگین طول یال‌ها (متر)	۱۱۷
بیشینه طول یال‌ها (متر)	۷۱۲,۵۸۶

احتمال تلفیق در PSO بهبود یافته معادل ضرایب یادگیری در الگوریتم PSO استاندارد هستند که میزان تأثیر تفکر مستقل خود ذره و تفکر جمعی ذرات را نشان می‌دهند. در این تحقیق مقادیر c_1 و c_2 در رابطه (۱۴) برابر با مقادیر ثابت ۰/۹ و ۰/۱ در نظر گرفته شده‌اند. همچنین مقدار ω_2 برابر با ۰/۹ قرار داده شد. تعداد تکرارها مشخص می‌کنند که الگوریتم چه زمانی دست از محاسبات بردارد و جواب نهایی را گزارش کند. این مقدار معمولاً به صورت سعی و خطا تعیین می‌شود و معمولاً آزمایش‌های بین ۱۰۰ تکرار تا ۱۰۰۰ با بازه ۵۰ تکرار می‌شوند [۱۷]. سایر پارامترها نیز در یک بازه مشخص و با گام‌های مشخص مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پارامترهای تنظیم شده الگوریتم PSO بهبود یافته در این مقاله به صورت خلاصه در جدول (۲) گزارش شده است.

۵-۲- تنظیم پارامترها

پارامترهایی که در الگوریتم PSO باید تنظیم شوند عبارت‌اند از تعداد جمعیت ذرات، تعداد تکرار الگوریتم، پارامتر ω_2 ، c_1 و c_2 که در PSO بهبود یافته به ترتیب با احتمال جهش، احتمال تلفیق در $pbest$ و احتمال تلفیق در $gbest$ برابر هستند. جمعیت اولیه ذرات تأثیر بسیار زیادی در همگرایی و محاسبات الگوریتم PSO دارد. اگر تعداد جمعیت ذرات زیاد باشد، برای محاسبات الگوریتم مدت زمان زیادی صرف می‌شود؛ در نقطه مقابل اگر تعداد جمعیت ذرات خیلی کم باشد، عملاً تنوع جواب کم شده و الگوریتم به راحتی به بهینه محلی دچار می‌شود. در مسائل بهینه‌سازی به صورت معمول جمعیت اولیه‌ای بین ۳۰ تا ۵۰ ذره در نظر گرفته می‌شود [۱۶]. از نقطه نظر جامعه‌شناسی، سرعت یادگیری هر فرد به دو عامل شناخت فردی و تعامل اجتماعی فرد بازمی‌گردد [۲۱].

جدول ۲: پارامترهای تنظیم شده برای الگوریتم PSO

پارامتر	مقدار
ω_2	۰/۹
c_1	۰/۹
c_2	۰/۱
تعداد تکرارها	۱۰۰۰
جمعیت اولیه	۵۰

ساختاری ندارد. پس بدون استفاده از هر روش اضافه ای، جواب بهینه را می‌یابد. برای حل این مسأله با الگوریتم ABC ابتدا ۵۰ زنبور به‌عنوان جمعیت اولیه در فضای شبکه پخش می‌شوند. هر زنبور یک جواب برای مسأله است، بدین معنا که به‌عنوان مثال در مکان‌یابی چهار کانکس، هر زنبور شامل چهار سه‌تایی است که در برگیرنده محل هر چهار کانکس است. از میان این ۵۰ زنبور، تعداد ۶ زنبور نخبه به‌عنوان بهترین جواب‌ها پذیرفته می‌شوند. این ۶ زنبور در حقیقت محل جستجوی محلی را مشخص می‌کنند [۲۶]. در مرحله بعدی زنبورها به صورت تصادفی در همسایگی این زنبورهای نخبه تولید می‌شوند تا فضای اطراف زنبورهای نخبه بررسی شود. همسایگی زنبورهای نخبه به معنای این است که زنبورهای جدید بر روی همان یال‌هایی تولید می‌شوند که زنبورهای نخبه بر روی آن‌ها قرار گرفته‌اند. در نهایت تعداد ۳ زنبور پیشاهنگ نیز تولید می‌شوند که وظیفه دارند فضای مسأله را به صورت تصادفی جستجو کنند. با تعیین مقدار بهینگی هر زنبور و انتخاب زنبورهای نخبه، این روند تا ۱۰۰۰ تکرار ادامه پیدا می‌کند.

۴-۵- معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از الگوریتم PSO بهبودیافته و مقایسه آن با الگوریتم ABC ، مکان‌یابی دو و چهار کانکس پلیس راهنمایی و رانندگی بر روی داده‌هایی که در بخش ۵-۱ توضیح داده شد، انجام شد و مورد بررسی قرار می‌گیرد. الگوریتم‌های فرا ابتکاری به دلیل اینکه فضا را به صورت کامل مورد جستجو قرار نمی‌دهند، ممکن است به تقریبی از جواب بهینه دست پیدا کنند [۱۸]. به همین دلیل برای ارزیابی بهتر نتایج، هر الگوریتم ۲۰ مرتبه مورد آزمایش قرار می‌گیرد. سپس مقدار میانگین، انحراف معیار، کمینه و بیشینه مقادیر گزارش می‌شود.

در مکان‌یابی دو کانکس پلیس راهنمایی و رانندگی در شبکه راه مدنظر، با توجه به پارامترهای گزارش شده در جدول (۲)، در ۲۰ اجرای مستقل، نتایج جدول (۳)

۵-۳- معیارهای ارزیابی

ارزیابی نتایج حاصل از این الگوریتم با مقایسه آن با الگوریتم ABC انجام شد. این دو الگوریتم از نظر مقدار میانگین در چند آزمایش؛ انحراف معیار و همین‌طور کمترین مقدار به‌دست‌آمده با یکدیگر مقایسه شدند. همین‌طور نمودار همگرایی دو الگوریتم برای مقایسه سرعت همگرایی آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد. زمان محاسبات یکی دیگر از معیارهای مقایسه دو الگوریتم است. به‌طورمعمول الگوریتم‌های فرا ابتکاری را می‌توان با استفاده از روش‌های جستجوی محلی بهبود بخشید، اما در بیشتر مواقع جستجوی محلی زمان‌بر است و برای استفاده در شرایط واقعی مناسب نیستند. به همین دلیل زمان محاسبات برای مقایسه دو الگوریتم به‌عنوان یک معیار مؤثر در نظر گرفته‌شده است تا ببینیم مقدار زمان محاسبات دستخوش چه تغییراتی می‌شود.

۵-۳-۱- الگوریتم ABC

الگوریتم ABC از دسته الگوریتم‌های هوش ازدحامی است که با الهام گرفتن از شیوه یافتن غذا در زنبورهای عسل سعی در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی دارد [۲۲]. در این مقاله الگوریتم PSO بهبودیافته توسعه یافته است و برای ارزیابی عملکرد آن از الگوریتم ABC که هردو از الگوریتم‌های هوش ازدحامی هستند، استفاده شده است. هدف اصلی این مقاله مقایسه این دو الگوریتم نیست، و به دلیل اینکه از الگوریتم PSO اصلی نمی‌توان برای حل این مسأله استفاده کرد، از الگوریتم ABC استفاده شده است. این الگوریتم در تحقیقات بسیاری برای مکان‌یابی به‌کاررفته است و نتایج بسیار خوبی داشته است [۲۳، ۲۴ و ۲۵]. الگوریتم ABC به دو دلیل برای مقایسه انتخاب شده است:

- (۱) این الگوریتم از هم‌خانواده‌های الگوریتم PSO است و رفتار مشابه الگوریتم PSO دارد. پس برای بررسی نتایج الگوریتم PSO بهبودیافته گزینه مناسبی است.
- (۲) قرابت ذاتی خوبی با مسأله دارد. به این معنا که این الگوریتم برای حل مسأله پیش‌رو، نیاز به تغییرات

نقشه ترسیم شده‌اند. مکان‌های بهینه الگوریتم *PSO* با علامت قرمز و مکان‌های بهینه الگوریتم *ABC* توسط علامت سبزرنگ مشخص شده است. همان‌طور که مشخص است در هر دو مورد، مکان‌هایی نزدیک به هم به‌دست آمده است. لازم به ذکر است که این اتفاق در حالی رخ داده است که مقدار بیشینه فاصله در مجموعه نزدیک‌ترین کانکس به هر تقاطع، در هر دو الگوریتم *PSO* و *ABS* بهبودیافته نزدیک به هم و برابر با ۱۷۸۲/۴۱ متر است. یعنی مقدار تابع نهایی این دو تقریباً باهم برابر است و تنها در چند میلی‌متر با یکدیگر تفاوت دارد. مورد دیگری که از تحلیل نقشه شکل (۸) می‌توان دریافت، پراکندگی مناسب هر دو الگوریتم در منطقه مطالعاتی است.

به‌دست آمد. همان‌طور که در این جدول مشخص است، هر دو الگوریتم به مقدار کمینه‌ای یکسان دست پیدا کرده‌اند. مقدار تفاوت در میانگین که معیاری از صحت الگوریتم‌هاست، تنها ۱ متر با یکدیگر تفاوت دارد ولی الگوریتم *ABC* با دقت بیشتری نتایج را ارائه داده است. بهتر بودن دقت الگوریتم *ABC* با مقایسه مقدار انحراف معیار دو الگوریتم قابل تشخیص است. مقدار بیشینه تابع نهایی در ۲۰ اجرای الگوریتم‌ها با یکدیگر تفاوت ۸ متری دارد که در این کاربرد خاص قابل چشم‌پوشی است. به‌منظور بررسی بهتر نتایج حاصل از مکان‌یابی این دو الگوریتم، مکان‌های بهینه انتخاب‌شده توسط الگوریتم *PSO* بهبودیافته و الگوریتم *ABC* در شکل (۶) بر روی

جدول ۳: مقایسه بزرگ‌ترین فاصله موجود بین تقاطع‌ها و کانکس‌ها در مکان‌یابی دو کانکس با استفاده از الگوریتم *PSO*

بهبودیافته و الگوریتم *ABC*

معیار	<i>PSO</i> بهبودیافته	<i>ABC</i>
کمینه (متر)	۱۷۸۲/۴	۱۷۸۲/۴
میانگین (متر)	۱۷۸۳/۶	۱۷۸۲/۵
انحراف معیار (متر)	۰/۲۵	۰/۱۴
بیشینه (متر)	۱۷۸۳/۳	۱۷۸۲/۸
میانگین زمان اجرا (ثانیه)	۵/۳	۶/۸

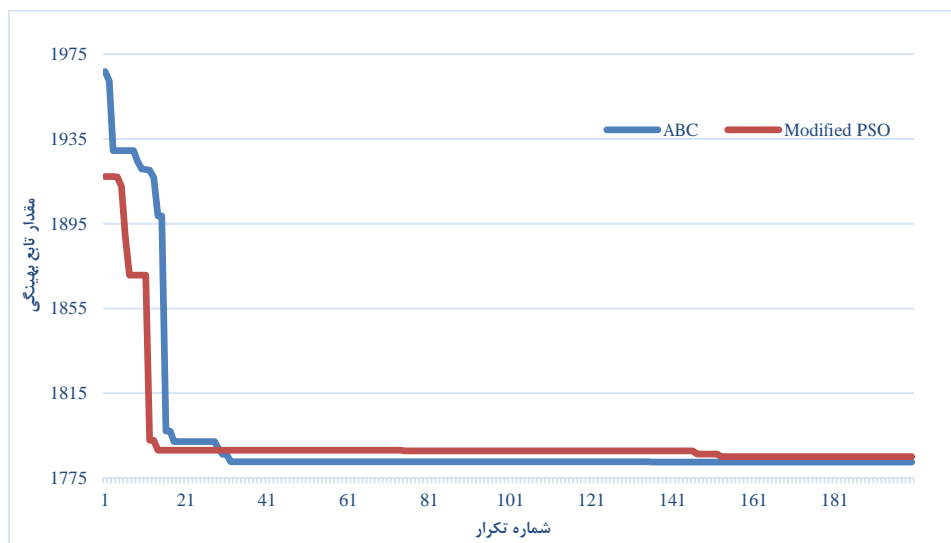
که تفاوت اندک زمان محاسبات را در این دو الگوریتم نشان می‌دهد.

همچنین نمودار همگرایی هر دو الگوریتم در نمودار شکل (۷) ترسیم شده است. همان‌طور که مشخص است شیب نمودار همگرایی هر دو الگوریتم و میزان همواری^۱ آن‌ها تقریباً با یکدیگر برابر است. هر دو تقریباً از جمعیت اولیه‌ای مشابه شروع می‌کنند و در تکرار ۱۴۰ام به تقریبی از جواب بهینه دست پیدا می‌کنند. روند هر دو الگوریتم نشان‌دهنده سرعت همگرایی قابل توجه و مشابه است. همچنین میانگین زمان اجرا در الگوریتم *PSO* بهبودیافته تقریباً ۱٪ بیشتر از میانگین زمان اجرا در الگوریتم *ABC* است

^۱ Smoothness



شکل ۶: مکان بهینه دو کانکس به دست آمده از الگوریتم *PSO* بهبود یافته و *ABC*



شکل ۷: نمودار همگرایی دو الگوریتم *PSO* بهبود یافته و *ABC* در مکان‌یابی دو کانکس پلیس راهنمایی و رانندگی

الگوریتم به هنگام بدست آوردن جواب نهایی است، زیرا نسبت انحراف معیار بر میانگین هر دو الگوریتم تقریباً برابر با ۰/۱۰۸ است.

مکان‌های بهینه انتخاب شده توسط الگوریتم *PSO* بهبود یافته و الگوریتم *ABC* در شکل ۸ بر روی نقشه ترسیم شده‌اند. مکان‌های بهینه الگوریتم *PSO* با علامت قرمز و مکان‌های بهینه الگوریتم *ABC* توسط علامت سبزرنگ مشخص شده است. همان‌طور که در نقشه

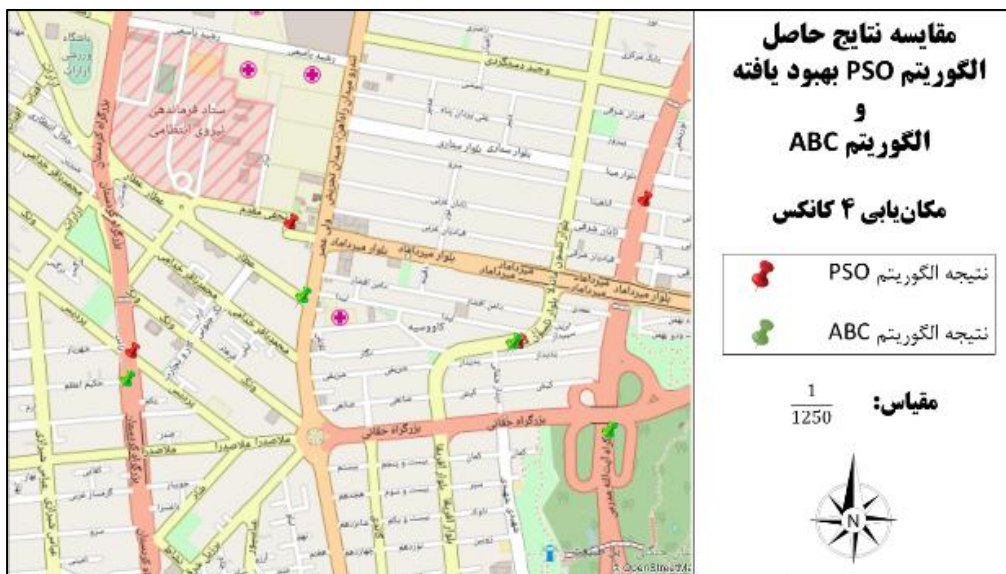
مکان‌یابی چهار کانکس پلیس راهنمایی و رانندگی در شبکه راه مدنظر نیز توسط الگوریتم *PSO* بهبود یافته و الگوریتم *ABC* انجام شد. نتایج به شرح جدول ۴ است. همان‌طور که در جدول ۴ گزارش شده، مقدار کمینه به دست آمده توسط هر دو الگوریتم حدود ۲۵ سانتی‌متر با یکدیگر تفاوت دارند. مقدار میانگین الگوریتم *ABC* حدود ۵/۵ متر بهتر است و مقدار انحراف معیار هر دو الگوریتم نشان‌دهنده وجود ثبات نسبی در هر دو

به عبارت دیگر علیرغم اینکه هر دو الگوریتم به مقادیر خوبی همگرا شده‌اند ولی جواب‌های آن‌ها لزوماً تطابق ندارند. مورد دیگری که از تحلیل نقشه شکل ۸ می‌توان دریافت، پراکندگی مناسب هر دو الگوریتم در منطقه مطالعاتی است.

شکل (۸) مشخص است، با اینکه مقدار تابع نهایی هر دو الگوریتم برابر با ۱۲۱۰ متر بوده است، اما تنها در دو مکان یافته شده توسط دو الگوریتم می‌توان تطابق نسبی را مشاهده کرد. این امر گستردگی و تنوع زیاد در حالات مختلف جواب‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۴: مقایسه بزرگ‌ترین فاصله موجود بین تقاطع‌ها و کانکس‌ها در مکان‌یابی چهار کانکس با استفاده از الگوریتم PSO بهبود یافته و الگوریتم ABC

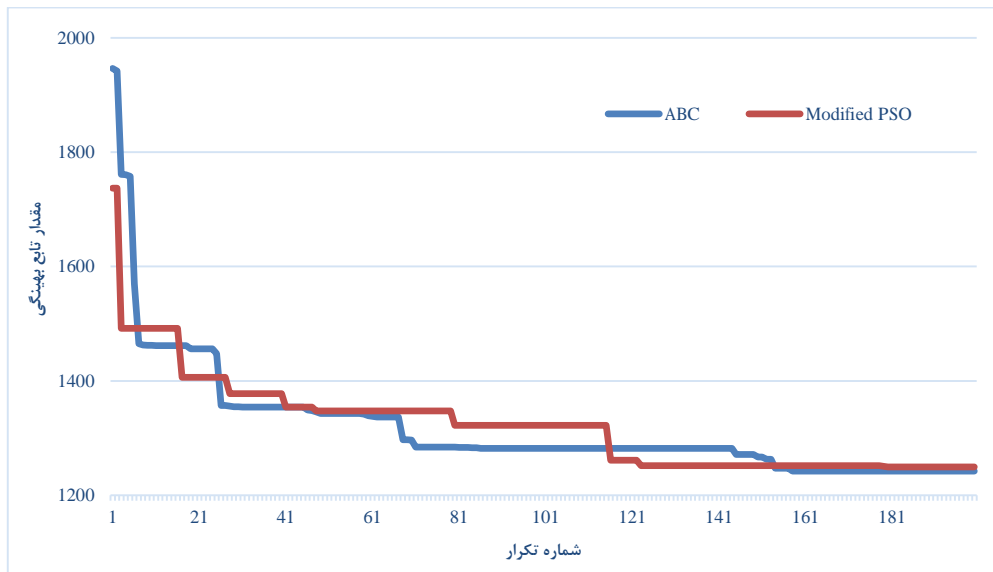
معیار	PSO بهبود یافته	ABC
کمینه (متر)	۱۲۱۱٫۵	۱۲۲۲٫۳
میانگین (متر)	۱۲۳۳	۱۲۷۷٫۳
انحراف معیار (متر)	۱۲٫۸	۳۱٫۷
بیشینه (متر)	۱۲۵۵٫۳	۱۳۴۱٫۱
میانگین زمان اجرا (ثانیه)	۹٫۹	۱۱٫۳



شکل ۸: مکان بهینه چهار کانکس به دست آمده از الگوریتم PSO بهبود یافته و ABC

نشان‌دهنده عملکرد مناسب عملگرهای انتخاب شده برای الگوریتم PSO بهبود یافته است. همچنین میانگین زمان اجرا در الگوریتم PSO بهبود یافته تقریباً ۱٪ بیشتر از میانگین زمان اجرا در الگوریتم ABC است که تفاوت اندک زمان محاسبات را در این دو الگوریتم نشان می‌دهد.

همچنین نمودار همگرایی هر دو الگوریتم در نمودار شکل (۹) ترسیم شده است و واضح است که هر دو الگوریتم هم با شیبی یکسان و هم با همواری نمودار تقریباً مشابه از جمعیت اولیه تصادفی خود به سمت بهترین جواب‌ها حرکت می‌کنند. سرعت همگرایی در دو الگوریتم تقریباً با یکدیگر برابر است و این امر



شکل ۹: نمودار همگرایی دو الگوریتم *PSO* بهبودیافته و *ABC* در مکان‌یابی چهار کانکس پلیس راهنمایی و رانندگی

الگوریتم *PSO* هم به لحاظ مقادیر، هم به لحاظ دامنه تغییرات مقادیر، بسیار بهتر از الگوریتم *ABC* عمل کرده است. می‌توان نتیجه گرفت که این الگوریتم هم دریافتن بهترین جواب و هم در تکرار بهترین جواب عملکرد بهتری داشته است.

مکان‌های بهینه انتخاب شده توسط الگوریتم *PSO* بهبودیافته و الگوریتم *ABC* در شکل (۱۱) بر روی نقشه ترسیم شده‌اند. مکان‌های بهینه الگوریتم *PSO* با علامت قرمز و مکان‌های بهینه الگوریتم *ABC* توسط علامت سبزرنگ مشخص شده است.

همان‌طور که در شکل (۱۱) مشخص است، ۱۰ کانکسی که الگوریتم *PSO* بهبودیافته مکان‌یابی کرده است، به لحاظ مکانی، پراکندگی بسیار بهتری و پوشش بهتری دارند و تأییدکننده مقدار کمینه‌ای است که این الگوریتم در جدول (۵) یافته است. پراکندگی جواب بهینه الگوریتم *ABC* کم است و بیشتر کانکس‌ها در جوار یکدیگر و یا بر روی یک خیابان مکان‌یابی شده‌اند.

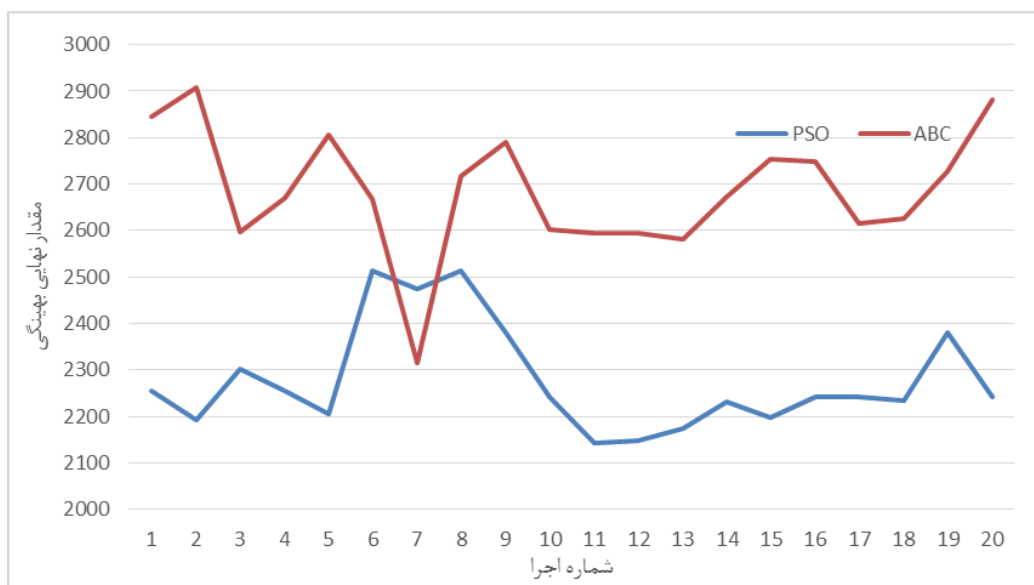
همین مقایسه برای مکان‌یابی ۱۰ کانکس نیز انجام شد. همچنین به منظور اینکه بررسی بهتری در این مورد انجام شود، کل منطقه ۳ شهر تهران به عنوان ورودی در محاسبات وارد شد. این داده شامل ۴۱۳۸ خیابان و ۱۳۱۱ تقاطع است. در جدول ۵ می‌توان مقادیر مختلف به دست آمده توسط هر الگوریتم را برای معیارهای مختلف مشاهده نمود. با اینکه در دو آزمایش قبل (مکان‌یابی ۲ و ۴ کانکس) الگوریتم *PSO* تفاوت زیادی با الگوریتم *ABC* از خود نشان نداده بود، اما در مکان‌یابی ۱۰ کانکس، در یافتن مقدار بهینه، میانگین مقادیر یافته شده، بیشینه مقادیر یافته شده و انحراف مقادیر بهتر از الگوریتم *ABC* عمل کرده است. این مقایسه نشان‌دهنده عملکرد بهتر الگوریتم *PSO* در دقت و صحت و پایداری مقادیر است.

به منظور بررسی بیشتر عملکرد الگوریتم‌ها، نمودار مقادیر نهایی هر الگوریتم در ۲۰ اجرای آن‌ها در شکل ۱۰ ترسیم شده است. همان‌طور که مشخص است،

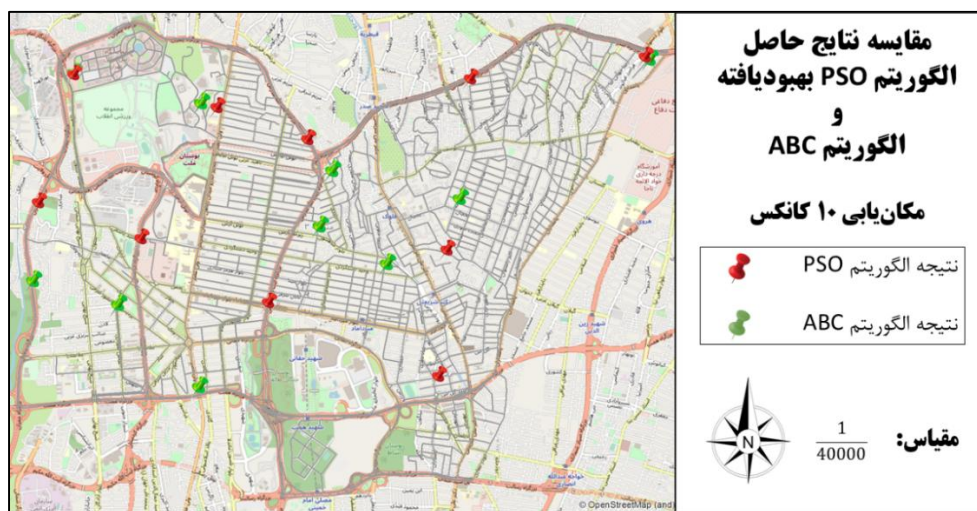
جدول ۵: مقایسه بزرگ ترین فاصله موجود بین تقاطع ها و کانکس ها در مکان یابی ده کانکس با استفاده از الگوریتم PSO

بهبود یافته و الگوریتم ABC

معیار	PSO بهبود یافته	ABC
کمینه (متر)	۲۱۴۳	۲۳۱۶٫۱
میانگین (متر)	۲۲۷۸٫۷	۲۶۸۵٫۹
انحراف معیار (متر)	۱۱۰٫۸	۱۳۰٫۲
بیشینه (متر)	۲۵۱۲٫۷	۲۹۰۸٫۸
میانگین زمان اجرا (ثانیه)	۱۶۷	۱۱۹٫۶



شکل ۱۰: نمودار مقادیر نهایی دو الگوریتم PSO بهبود یافته و ABC در مکان یابی ده کانکس پلیس راهنمایی و رانندگی و ۲۰ اجرا



شکل ۱۱: مکان بهینه ده کانکس به دست آمده از الگوریتم PSO بهبود یافته و ABC

آن حتی از الگوریتم ABC که به لحاظ ذاتی توانایی حل این مسأله را دارد بهتر عمل می‌کند. همچنین نتایج نشان‌دهنده این بود که عملگرهای استفاده‌شده در این تحقیق برای گسسته سازی معادله سرعت الگوریتم PSO بسیار خوب عمل کرده و الگوریتم بهبودیافته توانسته است هم فضای مسأله را به خوبی جستجو کند و هم به خوبی مقادیر بهینه را استخراج کند. لازم به ذکر است که با این حال الگوریتم ABC سرعت بهتری در یافتن بهترین جواب داشته است. الگوریتم ABC با توجه به تحقیقات مختلفی که روی آن انجام شده، اثبات شده که در مسأله گسسته به خوبی پاسخگو بوده و با توجه به المان‌های اصلی آن، هم در کشف^۱ و هم در استخراج بهترین جواب^۲ فضای جستجو، بسیار قوی عمل می‌کند.

یکی از محدودیت‌هایی که در مدل مسأله مشاهده شد، رسیدن هر دو الگوریتم به جواب‌های بهینه است درحالی‌که جواب‌ها لزوماً بر یکدیگر انطباق ندارند. این نتیجه می‌تواند ناشی از ضعف تابع هدف در یافتن بهترین جواب باشد. به نظر می‌رسد که اگر مجموع فاصله تقاطع‌ها به نزدیک‌ترین کانکس را به عنوان تابع هدف در نظر بگیریم، بتوان جواب‌های منطبق بر یکدیگر یافت. همچنین در چنین مسائلی معمولاً هر گره، دارای وزنی به خصوص است. به طور مثال، میزان حادثه‌خیزی هر تقاطع با تقاطع‌های دیگر حتماً متفاوت خواهد بود. بنابراین بهتر است در تحقیقات آتی این مسأله در نظر گرفته شود. همچنین می‌توان به جای تعریف تنها یک تابع هدف، با دسته‌ای از اهداف، مسأله را به صورت چندمعیاره حل کرد. البته پیشنهاد می‌شود الگوریتم PSO توسعه داده شده در این تحقیق در سناریوهای متفاوتی مورد ارزیابی قرار گیرد تا نقاط ضعف احتمالی و نقاط قوت آن بیشتر مشخص شود.

^۱ exploration

^۲ exploitation

۶- نتایج و پیشنهادها

در این مقاله راه‌حلی برای مکان‌یابی بر روی شبکه معابر شهری با استفاده از الگوریتم PSO ارائه شد. به طور خاص مکان‌یابی کانکس‌های پلیس راهنمایی و رانندگی در بخشی از سطح شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت. الگوریتم PSO به طور ذاتی در حل مسائل پیوسته کاربرد دارد، درحالی‌که این مسأله به دلیل لزوم قرارگیری کانکس‌ها بر روی شبکه راه و همچنین آزادی انتخاب در طول خیابان‌ها، مسأله‌ای ترکیبی به شمار می‌رود. لذا برای حل این مسأله، معادله سرعت PSO بایستی دستخوش تغییراتی شود. در این تغییرات از دو عملگر معروف الگوریتم ژنتیک تحت عناوین تلفیق و جهش استفاده شد. برای ارزیابی الگوریتم PSO بهبودیافته، نتایج آن با الگوریتم ABC مقایسه شد که از خانواده الگوریتم‌های هوش ازدحامی است و قرابت ذاتی بیشتری با این مسأله دارد.

بر اساس نتایج عددی که در مقایسه بین الگوریتم PSO بهبودیافته و الگوریتم ABC گزارش شد، در مکان‌یابی ۲ و ۴ کانکس، الگوریتم PSO بهبودیافته بسیار نزدیک به الگوریتم ABC از نظر لحاظ دقت و صحت، عمل می‌کند. اما زمانی که برای مکان‌یابی ۱۰ کانکس و بر روی منطقه مطالعاتی بزرگتری (منطقه ۳ تهران) نتایج بررسی شد، مشاهدات نشان‌دهنده عملکرد بهتر الگوریتم PSO بهبودیافته در مقایسه با الگوریتم ABC بود. الگوریتم PSO بهبودیافته از نظر دقت، صحت، پایداری و تکرارپذیری، بهتر از الگوریتم ABC بود. لازم به ذکر است که در این الگوریتم‌ها از هیچ‌گونه جستجوی محلی استفاده نشده است؛ بنابراین می‌توان با اعمال روش‌های جستجوی محلی معروف، از این الگوریتم در مسائلی که نیاز به دقت بیشتری دارند، استفاده کرد. نکته مهمی که در این تحقیق تجربه شد این است که الگوریتم بهبودیافته PSO علی‌رغم مفهوم ذاتی حرکت در PSO که خاص محیط‌های پیوسته است، با اعمال تغییرات لازم از آن می‌توان به خوبی در مسائل گسسته هم استفاده کرد؛ به گونه‌ای که عملکرد

مراجع

- [1] Aslani, M., M. S. Mesgari, and H. Motieyan. "An Actor-Critic Reinforcement Learning Approach in Multi-Agent Systems for Urban Traffic Control." *Journal of Geomatics Science and Technology* 5, no. 3 (2016): 233-246.
- [2] Mahdavian, Zahra, and ALI AKBAR NIKNAFS. "Forecasting Traffic Load using GPS data, a data mining approach." (2015): 43-59.
- [3] Zhao, Ningyu, and Zhiheng Li. "Optimize traffic police arrangement in easy congested area based on improved particle swarm optimization." *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 138 (2014): 408-417.
- [4] Weber, Alfred. *Theory of the Location of Industries*. University of Chicago Press, 1929.
- [5] Arabani, Alireza Boloori, and Reza Zanjirani Farahani. "Facility location dynamics: An overview of classifications and applications." *Computers & Industrial Engineering* 62, no. 1 (2012): 408-420.
- [6] Melo, M. Teresa, Stefan Nickel, and Francisco Saldanha-Da-Gama. "Facility location and supply chain management—A review." *European journal of operational research* 196, no. 2 (2009): 401-412.
- [7] Zheng, Yu-Jun, Sheng-Yong Chen, and Hai-Feng Ling. "Evolutionary optimization for disaster relief operations: A survey." *Applied Soft Computing* 27 (2015): 553-566.
- [8] Uno, Takeshi, Kosuke Kato, and Hideki Katagiri. "An application of interactive fuzzy satisficing approach with particle swarm optimization for multiobjective emergency facility location problem with a-distance." In *2007 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multi-Criteria Decision-Making*, pp. 368-373. IEEE, 2007.
- [9] Mousavi, Seyed Mohsen, Ardeshir Bahreininejad, S. Nurmaya Musa, and Farazila Yusof. "A modified particle swarm optimization for solving the integrated location and inventory control problems in a two-echelon supply chain network." *Journal of intelligent manufacturing* 28, no. 1 (2017): 191-206.
- [10] TAN, Zi-jian, Jing-jing ZHOU, Su-hua ZHANG, and Dong-fang ZHAO. "Based on Immune Optimization Algorithm and Hybrid Particle Swarm Optimization Algorithm Research on Customized Bus Station Setting and Route Planning—A Case Study of Customized Public Transport in Wuhan, China." *DEStech Transactions on Computer Science and Engineering mcse* (2016).
- [11] Liao, Yilan, Wenwen Chen, Kaichao Wu, Dongyue Li, Xin Liu, Guanggang Geng, Zheng Su, and Zheng Zheng. "A site selection method of DNS using the particle swarm optimization algorithm." *Transactions in GIS* 21, no. 5 (2017): 969-983.
- [12] Hu, Fuyu, Wei Xu, and Xia Li. "A modified particle swarm optimization algorithm for optimal allocation of earthquake emergency shelters." *International Journal of Geographical Information Science* 26, no. 9 (2012): 1643-1666.
- [13] Zhao, Xiujuan, Wei Xu, Yunjia Ma, and Fuyu Hu. "Scenario-based multi-objective optimum allocation model for earthquake emergency shelters using a modified particle swarm optimization algorithm: a case study in Chaoyang District, Beijing, China." *PloS one* 10, no. 12 (2015): e0144455.
- [14] Saeidian, Bahram, Mohammad Saadi Mesgari, Biswajeet Pradhan, and Mostafa Ghodousi. "Optimized location-allocation of earthquake relief centers using PSO and ACO, complemented by GIS, clustering, and TOPSIS." *ISPRS International Journal of Geo-Information* 7, no. 8 (2018): 292.
- [15] Zheng, Yu-Jun, Sheng-Yong Chen, and Hai-

- Feng Ling. "Evolutionary optimization for disaster relief operations: A survey." *Applied Soft Computing* 27 (2015): 553-566.
- [16] Eberhart, Russell, and James Kennedy. "A new optimizer using particle swarm theory." In *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, pp. 39-43. Ieee, 1995.
- [17] Jin, Yi-Xiong, Hao-Zhong Cheng, Jian-yong Yan, and Li Zhang. "New discrete method for particle swarm optimization and its application in transmission network expansion planning." *Electric Power Systems Research* 77, no. 3-4 (2007): 227-233.
- [18] Pahlavani, Parham, Farhad Samadzadegan, and Mahmood Reza Delavar. "A GIS-based approach for urban multi-criteria quasi optimized route guidance by considering unspecified site satisfaction." In *International Conference on Geographic Information Science*, pp. 287-303. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.
- [19] Cormen, Thomas H., Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, and Clifford Stein. *Introduction to algorithms*. MIT press, 2009.
- [20] Abolhoseini, S., and A. Sadeghi Niaraki. "Survey on certain and heuristic route finding algorithms in GIS." *Geospatial Engineering Journal* 7, no. 4 (2016): 49-65.
- [21] Benson, David, Irene Lorenzoni, and Hadrian Cook. "Evaluating social learning in England flood risk management: an 'individual-community interaction' perspective." *Environmental Science & Policy* 55 (2016): 326-334.
- [22] Akay, Bahriye Basturk, and Dervis Karaboga. "Artificial bee colony algorithm variants on constrained optimization." *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA)* 7, no. 1 (2017): 98-111.
- [23] Ozturk, Celal, Dervis Karaboga, and Beyza Gorkemli. "Probabilistic dynamic deployment of wireless sensor networks by artificial bee colony algorithm." *sensors* 11, no. 6 (2011): 6056-6065.
- [24] Nozohour-leilabady, Behzad, and Babak Fazelabdolabadi. "On the application of artificial bee colony (ABC) algorithm for optimization of well placements in fractured reservoirs; efficiency comparison with the particle swarm optimization (PSO) methodology." *Petroleum* 2, no. 1 (2016): 79-89.
- [25] Das, Priyanka. "Placement of distributed generation in a radial distribution system using loss sensitivity factor and cuckoo search algorithm." *IJREAT International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology* 3, no. 2 (2015).
- [26] Motieyan, Hamid, Mohammad Saadi Mesgari, and Ahid Naeimi. "Space allocation within building in GIS by using of multi-objective bee colony algorithm." (2014): 1-16.



Modified particle swarm optimization algorithm to solve location problems on urban transportation networks (Case study: Locating traffic police kiosks)

Sina Abolhoseini¹, Mohammad Saadi Mesgari^{2*}, Reza Mohammadi Soleimani¹

1- Master degree, GIS Dept., Faculty of Geodesy&Geomatics Eng., K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, GIS Dept., Geoinformation Technology Center of Excellence, Faculty of Geodesy&Geomatics Eng, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

Nowadays, traffic congestion is a big problem in metropolises all around the world. Traffic problems rise with the rise of population and slow growth of urban transportation systems. Car accidents or population concentration in particular places due to urban events can cause traffic congestions. Such traffic problems require the direct involvement of the traffic police, and it is urgent for them to be present at the scene as soon as possible. Due to the shortage of space, constructing traffic police centers in all areas is not possible. As a result, building traffic police kiosks with limited number of personnel and small cabins is a solution to solve this problem. Finding suitable places to build kiosks is a location optimization problem that can be solved by geospatial analyses. Artificial intelligent algorithms are suitable approaches to solve such problems. Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm proved to be a fast and exact algorithm in solving continuous space problems. However, this algorithm cannot be used for discrete space problems without any modifications. In this paper, we modified PSO to solve problems in combinatorial space. Crossover and mutation operators from Genetic Algorithm were used to modify the behavior of particles. After conducting experiments on a part of Tehran's transportation network, results were compared to the results of Artificial Bee Colony algorithm. In experiments with 2 and 4 kiosks, both algorithms are performing the same in accuracy, stability, convergence trend, and computation time. But in experiments with 10 kiosks on a bigger environment, results are in favor of the modified PSO algorithm in obtaining the optimum value; stability and better distribution in the area of interest. Results indicate that the proposed algorithm, is capable of solving combinatorial problems in a fast and accurate manner.

Key words: Location Problem, Traffic Police Kiosk, Particle Swarm Optimization, Artificial Bee Colony, Urban Transportation Network.