نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هشتم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۹

Vol.8, No.3, Autumn 2020

۱ -۱۹

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.1.5

الگوریتم بهینه‌سازی ذرات ازدحامی تعدیل شده به‌منظور 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 مورداستفاده قرارگرفته 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 قرارگرفته 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 آزمایش‌شده 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 قرارگرفته است. نتایج این تحقیق بیان می‌کند که عملگرهای انتخاب‌شده برای بهبود الگوریتم *PSO* به‌خوبی 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.

تلفن: ۸۸۰۷۷۰۷۱

Email: mesgari@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

مسأله 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 گریبان گیر 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 مسأله 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 مورداستفاده قرارگرفته‌اند. 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 به‌موقع 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 مقرون‌به‌صرفه 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].

مسأله مکان‌یابی، یکی از مسائل مهم مکانی است که در بسیاری از حوزه‌ها و زمینه‌ها موردمطالعه قرار می‌گیرد. این مسأله 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 مسأله مکان‌یابی است [۴]. مسأله مکان‌یابی را از می‌توان به دودسته مسأله مکان‌یابی پیوسته و مسأله 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 مسأله *NP-hard* می‌شوند که با افزایش ابعاد مسأله، 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، زنبورعسل (*ABC*[۲])، ذرات ازدحامی (*PSO*[۳]) 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 مورداستفاده قرارگرفته 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*

نظر گرفتن فاصله هر مرکز تا بیمارستان‌ها و بیشینه موارد اورژانسی که هر بیمارستان می‌توان مدیریت کند، استفاده‌شده 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 گرفته‌شده است [۹]. الگوریتم *PSO* در پژوهش‌های بسیاری در زمینه مکان-یابی مورداستفاده قرارگرفته 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* به‌منظور تخصیص پناهگاه‌های زلزله در چین استفاده‌شده است. در این مقاله به دلیل همگرایی سریع و پایداری بالا، از الگوریتم *PSO* استفاده‌شده 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* اضافه‌شده است تا تمامی فضا مورد جستجو قرار بگیرد و یک ساختار جستجو نیز به حلقه‌های انتهایی افزوده‌شده 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* بهبودیافته 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 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 قرارگرفته است، این الگوریتم به صورت محدود برای مکان‌یابی بر روی شبکه راه مورداستفاده قرارگرفته است. ویژگی ای که در مسأله مکان‌یابی بر روی شبکه راه وجود دارد، عدم امکان استفاده از فرمول سرعت موجود در الگوریتم *PSO* به‌منظور برروز رسانی مکان ذرات است. همان‌طور که ذکر شد، الگوریتم *PSO* به‌منظور بهینه‌سازی در فضاهای پیوسته طراحی‌شده است [۱۲ و ۱۵]، حال‌آنکه در مسأله پیش‌رو، با فضایی ترکیبی (پیوسته-گسسته) روبرو هستیم که در ادامه به شرح آن خواهیم پرداخت.

هدف این مقاله، بهبود الگوریتم *PSO* به‌منظور 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، به‌منظور بررسی‌های بیشتر انتخاب‌شده است. مورد مطالعاتی این پژوهش، مکان‌یابی کانکس‌های پلیس راهنمایی و رانندگی به‌گونه‌ای است که سریع‌ترین دسترسی را به نقاط حادثه‌خیز داشته باشند. الگوریتم *PSO* با توجه به اینکه برای مسائل پیوسته توسعه‌یافته 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 ارائه‌شده‌اند، 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

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 گره-های 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 تدوین‌شده است: در بخش دوم مروری کلی بر الگوریتم *PSO* و روند استاندارد پیاده‌سازی آن انجام می‌شود. در بخش سوم مدل مورداستفاده در حل مسأله مکان‌یابی کانکس‌های پلیس توضیح داده می‌شود. بخش چهارم به تغییراتی که در الگوریتم *PSO* اعمال‌شده است اختصاص دارد. بخش پنجم به معرفی داده‌های مورداستفاده و منطقه موردمطالعه، تنظیم پارامترها، پیاده‌سازی و ارزیابی الگوریتم *PSO* با استفاده از الگوریتم *ABC* می‌پردازد. درنهایت 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 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)

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

رابطه(۲)

$$X_i(t+1)=X_i(t)+V_i(t+1)$$

$X_i^p(t)$ 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 ۱ و ۰ 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.

---

[۱] *Local Best*

[۲] *Global Best*

قدم ۱. مقداردهی اولیه
برای هرذره $i=1, \ldots, N$
۱. اختصاص مکان اولیه تصادفی در فضای مسئله
۲. ذخیره $pbest$ و $gbest$
۳. اختصاص سرعت اولیه
قدم ۲. تکرار تا زمان رسیدن به شرط توقف
برای هرذره $i=1, \ldots, N$
۱. r_1 و r_2 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 $pbest$ و $gbest$
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 پلـیس راهنمـایی و رانـندگی در معابر شهری از مسائلی است که نـه مـی‌توانـد بـه طـور کامل در دسـته مسـائل پیوسـته جـای بگیـرد و نـه در دسته مسائل گسسته؛ بـدیهی اسـت کـه کـانکس‌هـای پلیس را بایـد بـر روی معـابر در نظـر گرفـت. بنـابراین فضاهای میان معابر که بلوک‌های شهری را شامل مـی-شوند به‌عنوان فضای مسأله در نظر گرفتـه نمـی‌شـوند. هنگامی‌که مکان یک کـانکس را مـی‌خـواهیم مشـخص کنیم، امکان انتخاب تمامی نقاط موجود در طـول یـک معبر وجود دارد. بنابراین می‌توان دیـد کـه در حقیقـت مکان‌یابی باید بر روی گراف انجام بگیرد که گره‌های آن تقاطع‌های معابر شهری را تشکیل می‌دهند و یـال‌هـای آن نماینده خیابان‌ها هستند.

سه فرضیه زیر برای ساده‌سازی مسأله در نظـر گرفتـه-شده‌اند:

۱- با توجه به اینکه بیشتر تصادفات در تقاطع‌ها صورت می‌گیرند، نقاط حادثه‌خیز در این مسأله محـل تقـاطع-های خیابان‌ها فرض شده‌اند. ایـن بـدین معناسـت کـه فاصله کانکس‌های پلیس راهنمایی و رانـندگی بایـد تـا تقاطع خیابان‌ها بهینه شود.

۲- حرکت نیروهای پلیس راهنمایی و رانندگی مسـتقل از وضعیت ترافیکی و جهت خیابـان اسـت. زیـرا پلـیس راهنمایی و رانندگی می‌تواند پیاده و یا سوار بـر وسـایل نقلیه دوچـرخ، خـود را بـه تقـاطعی کـه در آن حادثـه رخ‌داده است، برساند.

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

بنا بر فرضیات ذکرشده، هدف مسأله یافتن مکـان‌هـایی برای تأسـیس تعـدادی مشـخص کـانکس‌هـای پلـیس راهنمایی و رانندگی اسـت کـه فاصـله آن‌هـا تـا محـل تقاطع خیابان‌ها بهینه باشد و دسترسـی سـریع نیـروی راهنمایی را میسـر سـازد. در اینجـا بـرای مـدل‌سـازی ریاضی این مسأله در فضای گراف، از مدلی استفاده شد که در یکی از مقاله ها ارائه‌شده است [۳]. در ادامه ایـن مدل به صورت کامل تشریح می‌شـود. در ایـن مـدل، Y مجموعه موقعیت‌های کانکس‌هـای پلـیس راهنمـایی و رانندگی است (رابطه (۳)). هـر عضـوی از Y (موقعیـت یک کانکس)، یک سه‌تایی است که بـه فـرم رابطـه (۴) نمایش داده می‌شود. $\boldsymbol{a}$ گره آغازی و $\boldsymbol{b}$ گره پایانی یال را مشخص می‌کنند. $\boldsymbol{c}$ هم فاصله نقطه از $\boldsymbol{a}$ است.

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

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

مجموعه تقاطع‌ها نیز با $\boldsymbol{X}$ طبق درابطه(۵) نمـایش داده

می‌شود.

رابطه(۵) $X=\{x_1,x_2,...,x_n\}$

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.

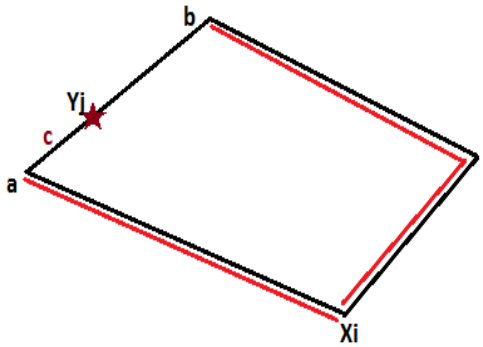
رابطه(۶) $$Dpp(x_i,y_j)=\min\{[Dpp(a,x_i)+c],[Dpp(b,x_i)+Dpp(a,b)-c]\}$$

در رابطه (۶) کوتاه‌ترین فاصله بین تقاطع x_i و کانکس y_j محاسبه‌شده است. زمانی که می‌خواهیم این فاصله را محاسبه کنیم، هر کانکس (y_j) با یک سه‌تایی ($\{a,b,c\}$) مشخص‌شده است. بنابراین می‌توان این فاصله را کمینه بین دو مقدار ذکرشده 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.

رابطه(۷) $$Dps(x_i,Y)=\min Dpp(x_i,y_j)$$



شکل ۲: کوتاه‌ترین فاصله بین تقاطع X_i و کانکس Y_j

رابطه (۷) فاصله هر تقاطع را از نزدیک‌ترین کانکس به آن حساب می‌کند. سپس در مرحله بعد، بیشترین فاصله موجود را در میان فواصل محاسبه‌شده در رابطه(۷) پیدا می‌کنیم (رابطه (۸)). این مقدار حداکثر فاصله بین نقاط تصادف را با نزدیک‌ترین کانکس‌ها با آن‌ها نشان می‌دهد. هدف از بهینه‌سازی کمینه کردن این مقدار است.

رابطه(۸) $$D(X,Y)=\max Dps(x_i,Y)$$

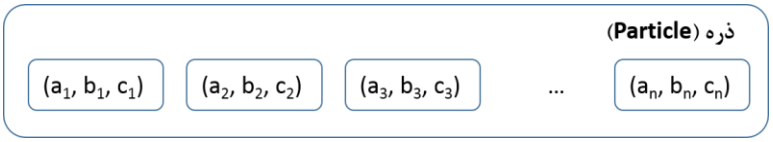
حال تابع هدف را روی همین فاصله تعریف مـی‌کنـیم (رابطـه (۹)). همـان‌طـور کـه در رابطـه (۹) مشـاهده می‌شود، هرچه مقدار D در یک ذره کمتر باشد، آن ذره بهتر خواهد بود.

رابطه(۹) $$f(Y): MinimizeD(X,Y)$$

این تابع هـدف در الگـوریتم PSO بـرای یـافتن مقـدار کمینه مورد محاسبه قـرار مـی‌گیـرد. در بخـش بعـدی نحوه تعدیل رابطه سرعت به‌منظـور اسـتفاده در مسـأله مطرح‌شده، شرح داده می‌شود.

۴- الگوریتم PSO بهبودیافته

به‌منظور تعدیل رابطه سـرعت (رابطـه (۱))، هرکـدام از سـه بخـش ذکرشـده در رابطـه بـه نحـوی ابتکـاری پیاده‌سازی شده‌اند. برای فرمولـه کـردن رابطـه سـرعت بهبودیافته از ساده‌سازی‌های انجام‌شـده در مقالـه [۱۲] الهام گرفتـه‌شـده اسـت. در ادامـه توضـیحات بهتـرین موقعیـت ذره تـا تکـرار کنـونی بـا اسـتفاده از $pbest$ و بهترین موقعیت میان تمامی ذرات تـا تکـرار کنـونی بـا اسـتفاده از $gbest$ نمـایش داده‌شـده‌انـد. بـا توجـه بـه توضیحاتی که در بخش ۳ داده شد، ساختار هـر ذره در الگوریتم PSO برای حل مسأله مکان‌یابی کانکس‌ها، بـه صورت شکل (۳) است. همـان‌طـور کـه در ایـن شـکل مشخص است، هر جواب (ذره) مجموعه‌ای از سـه‌تـایی های رابطه (۴) است که تعداد این سه‌تـایی‌هـا برابـر بـا تعداد کانکس‌هایی است کـه قصـد مکـان‌یـابی آن‌هـا را داریم.



شکل ۳: ساختار هر ذره در مسأله مکان‌یابی کانکس

به‌منظور بهبود رابطه سرعت برای حل مسأله مکان‌یابی بر روی شبکه راه، از دو عملگر معروف الگوریتم ژنتیـک استفاده‌شده است (تلفیق و جهـش). در رابطـه سـرعت 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) مقـدار متفـاوت سـرعت در هـر تکرار ناشـی از عـدد تصـادفی $\omega_1(t)$ در رابطـه سـرعت است. اگر c در رابطه (۴) در تکرار قبـل رو بـه افـزایش بـوده اسـت، در تکـرار بعـدی نیـز افـزایش مـی‌یابـد و بالعکس. این تغییـر موقعیـت بـر روی پـارامتر c سـبب حفظ پیوستگی فضای مسـأله در هنگـام یـافتن مکـان مناسب بر روی یال‌ها می‌شود. اما به‌منظـور جسـتجوی فضـای بهتـر، از الگـوریتم جهـش نیـز در ایـن حرکـت استفاده شده است. این عملگر از هیچ قاعـده‌ای پیـروی نمی‌کند و به صورت کاملاً تصادفی بـه جسـتجوی فضـا می‌پردازد. در حل ایـن مسـأله، درصـورتی‌کـه مقـدار r بیشتر از مقدار $\omega_{2(t)}$ باشد، جهش اتفاق مـی‌افتـد و در غیر این صورت تغییـر در مقـدار c را خـواهیم داسـت (رابطه (۱۰)). تابع F_1 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 شـامل مجموعـه‌ای از سـه‌تـایی هاست که مکان کانکس‌ها را بر روی یال‌ها نشـان مـی-دهنـد. بـرای هـر ذره بهتـرین موقعیـت آن در لیسـتی جداگانه ذخیره‌شده است. همان‌طور که ذکـر شـد، ایـن مکان $pbest$ خوانده می‌شـود. بـرای حرکـت بـه سـمت $pbest$، درصورتی‌که یال‌های متناظر بین موقعیت فعلـی ذره و موقعیت $pbest$ مشترک نباشند و مقدار تصـادفی r از مقـدار c_1 بیشـتر باشـد، عملگـر تلفیـق طبـق رابطه(۱۱) رخ می‌دهد و موقعیت آن کانکس با موقعیت

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

رابطه(۱۱)

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

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، درصورتی‌که کانکس‌های متناظر بین دو ذره موقعیت کنونی و ***gbest*** 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، به‌صورت 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 به‌روزرسانی 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 به‌روزرسانی 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 ***pbest*** و ***gbest*** 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.

رابطه(۱۴)

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

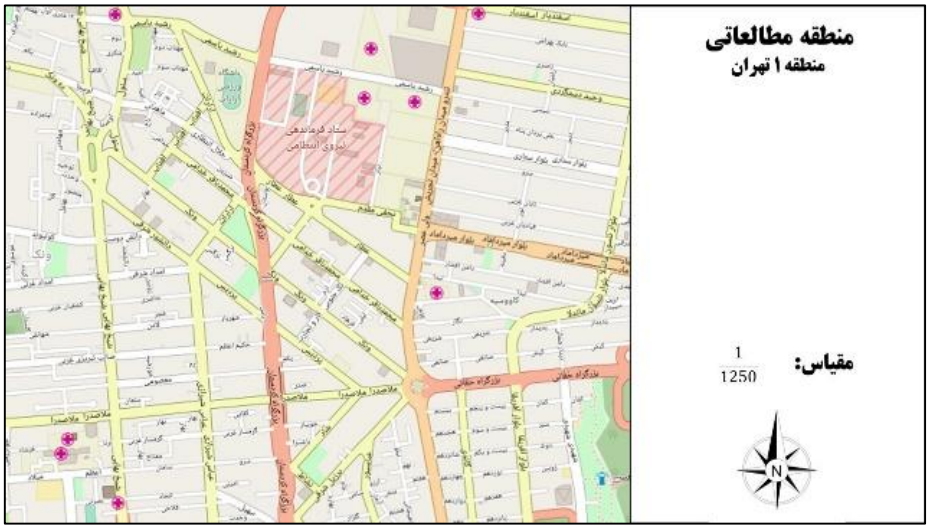
توضیح دیگری که بیان آن ضروری است، استفاده از الگوریتم فلوید-وارشال در محاسبات تابع بهینگی است. در این تحقیق تمامی فواصل، فواصل شبکه است. برای محاسبه کوتاه‌ترین فاصله میان کانکس‌ها و تقاطع‌ها (رابطه (۵))، به‌منظور افزایش سرعت اجرا الگوریتم *PSO*، از الگوریتم فلوید-وارشال برای محاسبه کوتاه‌ترین فاصله استفاده شد. الگوریتم فلوید-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 کوتاه‌ترین فاصله میان تمامی زوج گره‌ها محاسبه شوند و در رابطه (۷) محاسبات سریع‌تر انجام شود [۲۰].

۵- نتایج و بحث

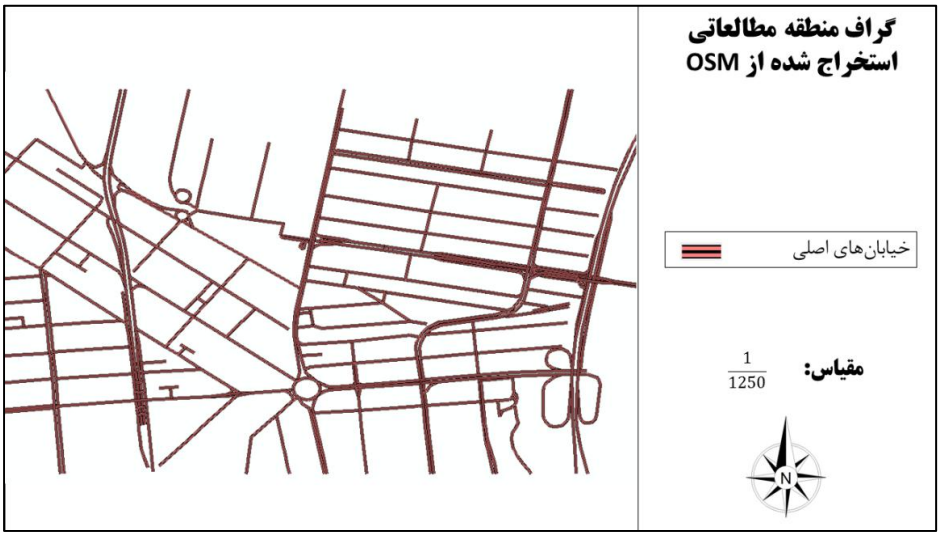
در این بخش ابتدا خصوصیات داده‌های مورداستفاده در بخش ۵-۱ توضیح داده‌شده و سپس پارامترهای الگوریتم *PSO* در بخش ۵-۲ تنظیم و گزارش‌شده است. معیارهای ارزیابی الگوریتم *PSO* بهبودیافته با استفاده از الگوریتم *ABC* در بخش ۵-۳ توضیح داده‌شده و در نهایت در بخش ۵-۴ نتایج عددی گزارش‌شده‌اند.

۵-۱- داده‌های مورداستفاده

بـرای ارزیـابی نتـایج الگـوریتم *PSO* و مقایسـه آن بـا الگوریتم *ABC*، از میان خیابان‌های شهر تهـران، گـراف قسمتی از منطقه ۳ تهران استخراج شد. ایـن داده‌هـا از سایت *OpenStreetMap* برداشت شد و برای تحلیلهـای بعدی ماتریس مجاورت گراف خیابان‌ها توسط نرم افـزار جی آی اس استخراج شد (شکل (۴) و (۵)). همچنـین مشخصـات داده‌هـای مـورد اسـتفاده در جـدول(۱) گزارش‌شده است.



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



شکل ۵: گراف منطقه مطالعاتی استخراج‌شده از داده‌های *OSM*

جدول ۱: مشخصات داده‌های مورداستفاده

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

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* بهبودیافته 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 مدت‌زمان زیادی صرف می‌شود؛ در نقطه مقابل اگر تعداد جمعیت ذرات خیلی کم باشد، عملاً تنوع جواب کم شده و الگوریتم به‌راحتی به بهینه محلی دچار می‌شود. در مسائل بهینه‌سازی به صورت معمول جمعیت اولیه‌ای بین ۳۰ تا ۵۰ ذره در نظر گرفته می‌شود [۱۶]. ازنقطه‌نظر جامعه‌شناسی، سرعت یادگیری هر فرد به دو عامل شناخت فردی و تعامل اجتماعی فرد بازمی‌گردد [۲۱].

احتمال تلفیق در *PSO* بهبودیافته 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 ۰٫۱در نظر گرفته‌شده‌اند. 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 قرارگرفته‌اند. پارامترهای تنظیم‌شده الگوریتم *PSO* بهبودیافته در این مقاله به صورت خلاصه در جدول(۲) گزارش‌شده است.

جدول ۲: پارامترهای تنظیم‌شده برای الگوریتم ***PSO***

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

۵-۳- معیارهای ارزیابی

ارزیابی نتایج حاصل از این الگـوریتم بـا مقایسـه آن بـا الگوریتم *ABC* انجام شد. این دو الگوریتم از نظر مقـدار میانگین در چند آزمایش؛ انحراف معیـار و همـین‌طـور کمترین مقدار به‌دست‌آمده با یکـدیگر مقایسـه شـدند. همین‌طور نمودار همگرایی دو الگـوریتم بـرای مقایسـه سرعت همگرایی آن‌ها بـا یکـدیگر مقایسـه شـد. زمـان محاسبات یکی دیگر از معیارهای مقایسـه دو الگـوریتم است. به‌طورمعمول الگوریتم‌های فرا ابتکاری را می‌توان با استفاده از روش‌های جستجوی محلی بهبود بخشـید، اما در بیشتر مواقع جستجوی محلـی زمـان‌بـر اسـت و برای اسـتفاده در شـرایط واقعـی مناسـب نیسـتند. بـه همین دلیل زمان محاسبات برای مقایسـه دو الگـوریتم به عنوان یک معیار مؤثر در نظـر گرفتـه‌شـده اسـت تـا ببینیم مقدار زمان محاسبات دستخوش چـه تغییراتـی می‌شود.

۵-۳-۱- الگوریتم *ABC*

الگوریتم *ABC* از دسته الگوریتم‌هـای هـوش ازدحـامی است که با الهام گرفتن از شیوه یافتن غذا در زنبورهای عسل سعی در حل مسـائل پیچیـده بهینـه‌سـازی دارد [۲۲]. در ایـــن مقالـــه الگـــوریتم *PSO* بهبودیافتـــه توسعه‌یافته است و برای ارزیابی عملکرد آن از الگوریتم *ABC* که هردو از الگوریتم‌های هوش ازدحامی هسـتند، استفاده‌شده 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 الگـوریتم *ABC* استفاده‌شـده اسـت. ایـن الگـوریتم در تحقیقـات بسیاری برای مکان‌یابی به‌کاررفته اسـت و نتـایج بسـیار خوبی داشته است [۲۳، ۲۴ و ۲۵]. الگـوریتم *ABC* بـه دو دلیل برای مقایسه انتخاب‌شده است:

۱) این الگوریتم از هم‌خانواده‌های الگوریتم *PSO* اسـت و رفتار مشابه الگـوریتم *PSO* دارد. پـس بـرای بررسـی نتایج الگوریتم *PSO* بهبودیافته گزینه مناسبی است.

۲) قرابت ذاتی خوبی با مسأله دارد. به این معنا که ایـن الگوریتم برای حـل مسـأله پـیش‌رو، نیـاز بـه تغییـرات ساختاری ندارد. پس بدون اسـتفاده از هـر روش اضـافه ای، جواب بهینه را می‌یابد.

برای حل این مسأله با الگـوریتم *ABC*، ابتـدا ۵۰ زنبـور به‌عنوان جمعیت اولیه در فضای شبکه پخش می‌شـوند. هر زنبور یک جواب برای مسأله است، بـدین معنـا کـه به‌عنوان مثال در مکان‌یـابی چهـار کـانکس، هـر زنبـور شامل چهار سه‌تایی‌ست که در برگیرنده محل هر چهـار کانکس است. از میان این ۵۰ زنبور، تعداد ۶ زنبور نخبه به عنوان بهترین جواب‌ها پذیرفته می‌شوند. این ۶ زنبور در حقیقت محل جستجوی محلی را مشخص می‌کننـد [۲۶]. در مرحله بعدی زنبورها بـه صـورت تصـادفی در همسایگی این زنبورهای نخبه تولید می‌شوند تا فضـای اطـراف زنبورهـای نخبـه بررسـی شـود. همسـایگی زنبورهای نخبه به معنای این است که زنبورهای جدیـد بر روی همان یال‌هایی تولید مـی‌شـوند کـه زنبورهـای نخبه بر روی آن‌هـا قرارگرفتـه‌انـد. در نهایـت تعـداد ۳ زنبور پیشاهنگ نیز تولید می‌شـوند کـه وظیفـه دارنـد فضای مسأله را به صـورت تصـادفی جسـتجو کننـد. بـا تعیین مقـدار بهینگـی هـر زنبـور و انتخـاب زنبورهـای نخبه، این روند تا ۱۰۰۰ تکرار ادامه پیدا می‌کند.

۵-۴- معیارهای ارزیابی

بـه منظـور ارزیـابی نتـایج حاصـل از الگـوریتم *PSO* بهبودیافته و مقایسه آن با الگوریتم *ABC*، مکان‌یابی دو و چهار کانکس پلیس راهنمایی و رانندگی بر روی داده-هایی که در بخش ۵-۱ توضیح داده شـد، انجـام شـد و مورد بررسی قرار می‌گیرد. الگوریتم‌های فرا ابتکاری بـه دلیل اینکه فضا را به صورت کامل مـورد جسـتجو قـرار نمی‌دهند، ممکن است به تقریبی از جواب بهینه دسـت پیدا کنند [۱۸]. بـه همـین دلیـل بـرای ارزیـابی بهتـر نتایج، هر الگوریتم ۲۰ مرتبه مورد آزمـایش قـرار مـی-گیرد. سپس مقدار میـانگین، انحـراف معیـار، کمینـه و بیشینه مقادیر گزارش می‌شود.

در مکان‌یابی دو کانکس پلیس راهنمایی و رانـندگی در شبکه راه مدنظر، با توجه به پارامترهای گزارش‌شـده در جـدول(۲)، در ۲۰ اجـرای مسـتقل، نتـایج جـدول(۳)

به‌دست‌آمد. همان‌طور که در این جدول مشخص است، هر دو الگوریتم به مقدار کمینه‌ای یکسان دست پیداکرده‌اند. 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 قابل‌تشخیص است. مقدار بیشینه تابع نهایی در ۲۰ اجرای الگوریتم‌ها با یکدیگر تفاوت ۸ متری دارد که در این کاربرد خاص قابل‌چشم‌پوشی است.

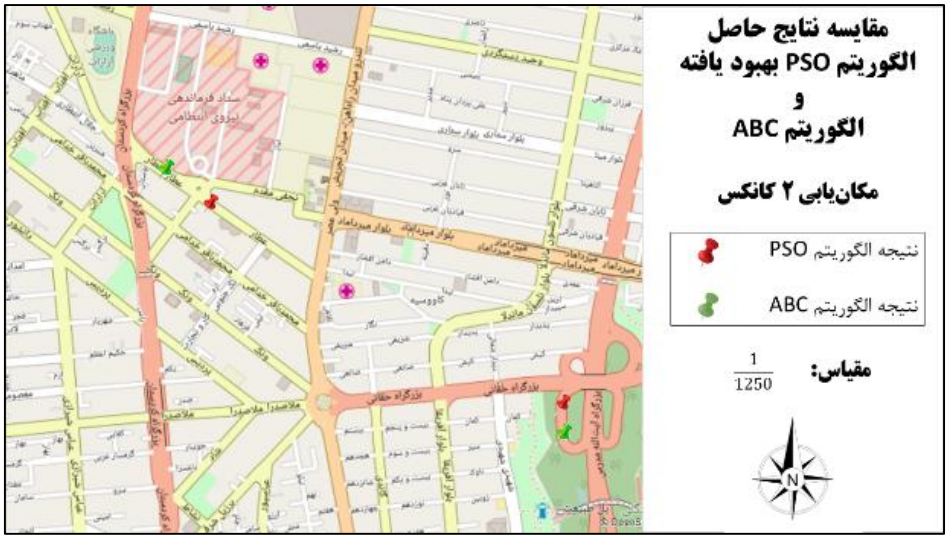
به‌منظور بررسی بهتر نتایج حاصل از مکان‌یابی این دو الگوریتم، مکان‌های بهینه انتخاب‌شده توسط الگوریتم *PSO* بهبودیافته و الگوریتم *ABC* در شکل(۶) بر روی نقشه ترسیم شده‌اند. مکان‌های بهینه الگوریتم *PSO* با علامت قرمز و مکان‌های بهینه الگوریتم *ABC* توسط علامت سبزرنگ مشخص‌شده است. همان‌طور که مشخص است در هر دو مورد، مکان‌هایی نزدیک به هم به‌دست‌آمده است. لازم به ذکر است که این اتفاق در حالی رخداده است که مقدار بیشینه فاصله در مجموعه نزدیک‌ترین کانکس به هر تقاطع، در هر دو الگوریتم *ABS* و *PSO* 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.

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

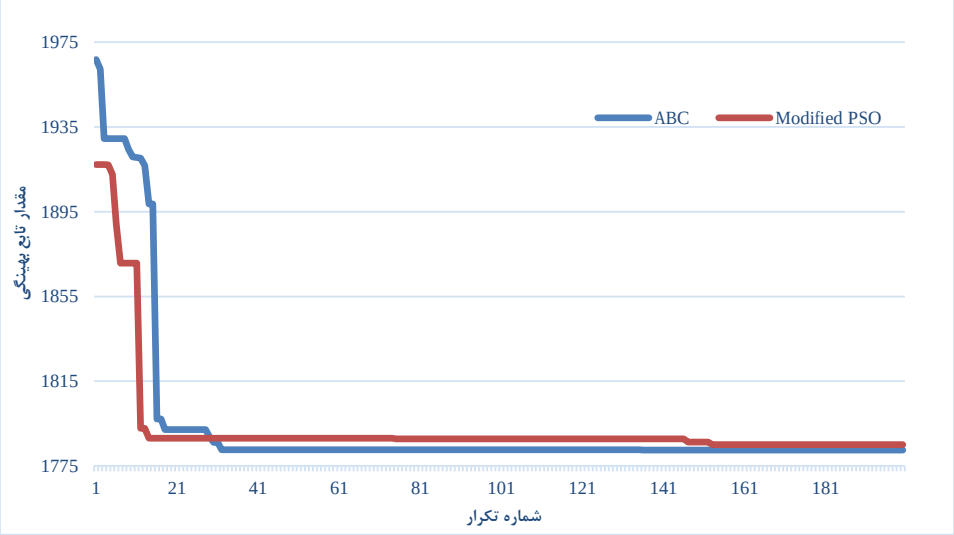
معیار	*PSO* بهبودیافته	*ABC*
کمینه(متر)	۱۷۸۲٫۴	۱۷۸۲٫۴
میانگین(متر)	۱۷۸۳٫۶	۱۷۸۲٫۵
انحراف معیار(متر)	۰٫۲۵	۰٫۱۴
بیشینه(متر)	۱۷۸۳٫۳	۱۷۸۲٫۸
میانگین زمان اجرا (ثانیه)	۵٫۳	۶٫۸

همچنین نمودار همگرایی هر دو الگوریتم در نمودار شکل (۷) ترسیم‌شده است. همان‌طور که مشخص است شیب نمودار همگرایی هر دو الگوریتم و میزان هموار[1] آن‌ها تقریباً با یکدیگر برابر است. هر دو تقریباً از جمعیت اولیه‌ای مشابه شروع می‌کنند و در تکرار ۴۰ام به تقریبی از جواب بهینه دست پیدا می‌کنند. روند هر دو الگوریتم نشان‌دهنده سرعت همگرایی قابل‌توجه و مشابه است. همچنین میانگین زمان اجرا در الگوریتم *PSO* بهبودیافته تقریباً ۱٪ بیشتر از میانگین زمان اجرا در الگوریتم *ABC* است که تفاوت اندک زمان محاسبات را در این دو الگوریتم نشان می‌دهد.

[1] *Smoothness*



شکل ۶: مکان بهینه دو کانکس به‌دست‌آمده از الگوریتم *PSO* بهبودیافته و *ABC*



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

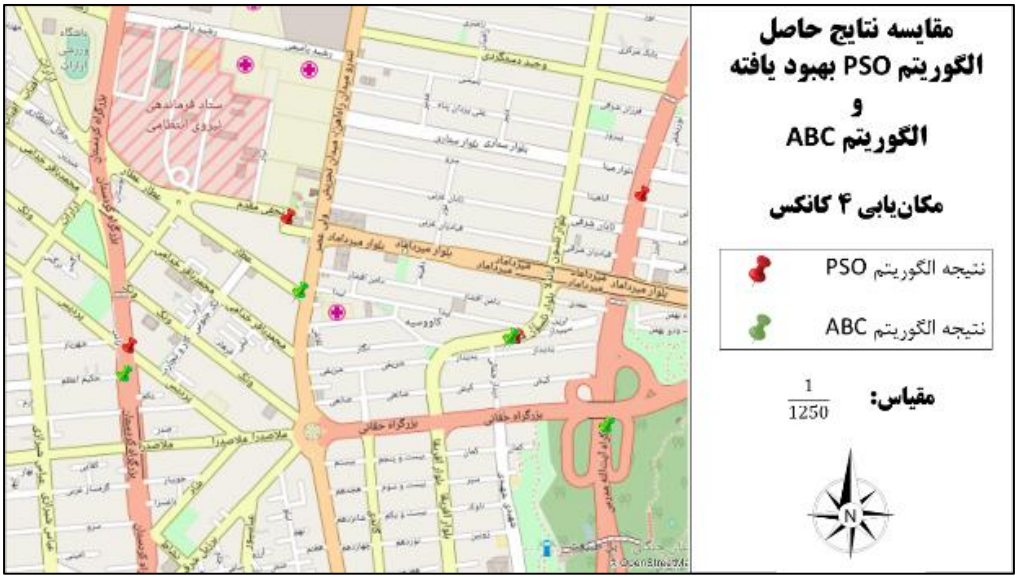
مکان‌یابی چهار کانکس پلیس راهنمـایی و رانـنـدگی در شبکه راه مدنظر نیز توسط الگوریتم *PSO* بهبودیافتـه و الگوریتم *ABC* انجام شد. نتایج به شرح جدول ۴ اسـت. همان‌طور که در جدول ۴ گـزارش‌شـده، مقـدار کمینـه به‌دست‌آمده توسط هر دو الگوریتم حدود ۲۵ سانتی‌متر با یکدیگر تفاوت دارند. مقـدار میـانگین الگـوریتم *ABC* حدود ۵/۵ متر بهتر است و مقدار انحـراف معیـار هـردو الگـوریتم نشـان‌دهنـده وجـود ثبـات نسـبی در هـر دو الگوریتم به هنگام بدست‌آوردن جواب نهایی است، زیـرا نسبت انحراف معیار بر میانگین هر دو الگـوریتم تقریبـاً برابر با ۰/۰۰۸ است.

مکان‌های بهینـه انتخـاب‌شـده توسـط الگـوریتم *PSO* بهبودیافته و الگوریتم *ABC* در شـکل ۸ بـر روی نقشـه ترسیم‌شده‌اند. مکان‌های بهینه الگوریتم *PSO* با علامت قرمز و مکان‌های بهینه الگـوریتم *ABC* توسـط علامـت سبزرنگ مشخص‌شده اسـت. همـان‌طـور کـه در نقشـه

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. به‌عبارت‌دیگر علیرغم اینکه هردو 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.

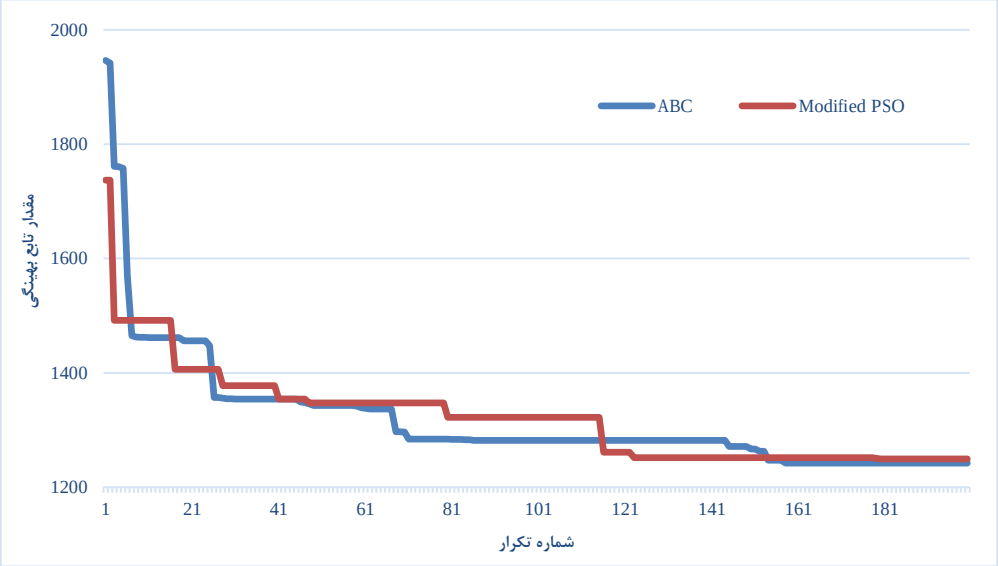
جدول ۴: مقایسه بزرگ‌ترین فاصله موجود بین تقاطع‌ها و کانکس‌ها در مکان‌یابی چهار کانکس با استفاده از الگوریتم *PSO* بهبودیافته و الگوریتم *ABC*

معیار	*PSO* بهبودیافته	*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 به‌دست‌آمده از الگوریتم *PSO* بهبودیافته و *ABC*

همچنین نمودار همگرایی هر دو الگوریتم در نمودار شکل(۹) ترسیم‌شده است و واضح است که هردو الگوریتم هم با شیبی یکسان و هم با هموواری 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 نشاندهنده عملکرد مناسب عملگرهای انتخاب‌شده برای الگوریتم *PSO* بهبودیافته است. همچنین میانگین زمان اجرا در الگوریتم *PSO* بهبودیافته تقریباً ۱٪ بیشتر از میانگین زمان اجرا در الگوریتم *ABC* است که تفاوت اندک زمان محاسبات را در این دو الگوریتم نشان میدهد.



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

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 به‌دست‌آمده 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.

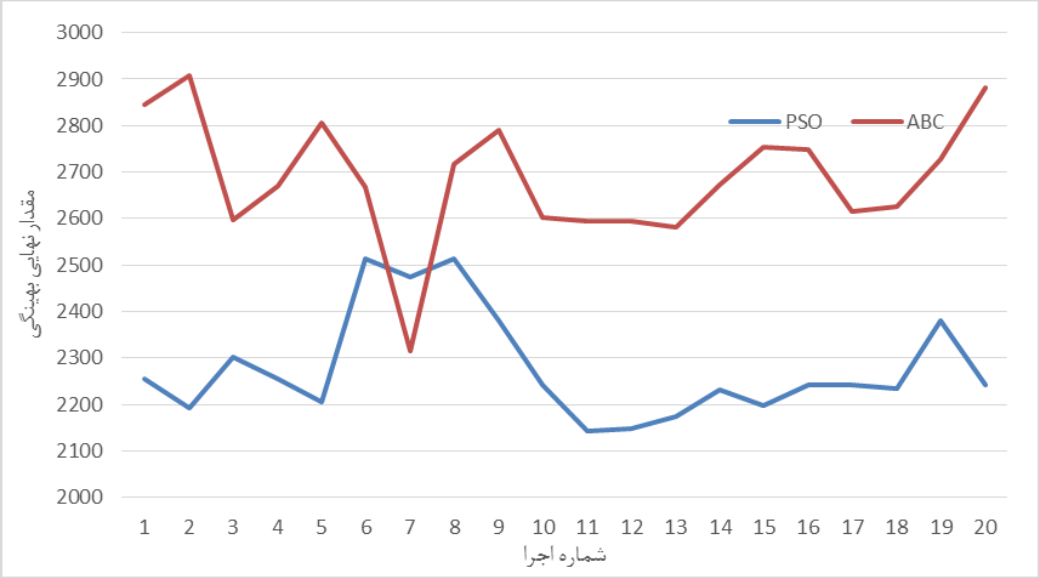
به‌منظور بررسی بیشتر عملکرد الگوریتم‌ها، نمودار مقادیر نهایی هر الگوریتم در ۲۰ اجرای آن‌ها در شکل ۱۰ ترسیم‌شده است. همان‌طور که مشخص است، الگوریتم *PSO* هم به لحاظ مقادیر، هم به لحاظ دامنه تغییرات مقادیر، بسیار بهتر از الگوریتم *ABC* عمل کرده است. می‌توان نتیجه گرفت که این الگوریتم هم دریافتن بهترین جواب و هم در تکرار بهترین جواب عملکرد بهتری داشته است.

مکان‌های بهینه انتخاب‌شده توسط الگوریتم *PSO* بهبودیافته و الگوریتم *ABC* در شکل(۱۱) بر روی نقشه ترسیم‌شده‌اند. مکان‌های بهینه الگوریتم *PSO* با علامت قرمز و مکان‌های بهینه الگوریتم *ABC* توسط علامت سبزرنگ مشخص‌شده است.

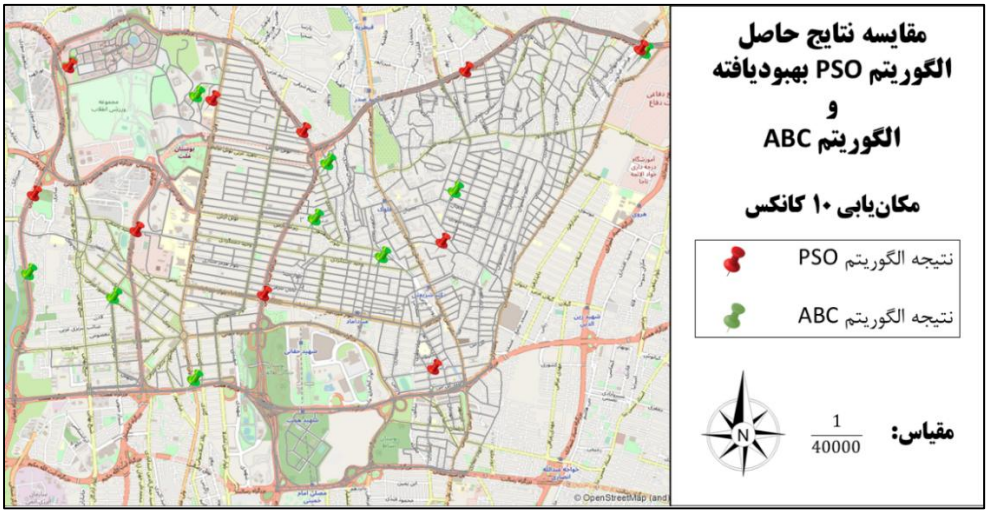
همان‌طور که در شکل(۱۱) مشخص است، ۱۰ کانکسی که الگوریتم *PSO* بهبودیافته مکان‌یابی کرده است، به لحاظ مکانی، پراکندگی بسیار بهتری و پوشش بهتری دارند و تأییدکننده مقدار کمینه‌ای است که این الگوریتم در جدول(۵) یافته است. پراکندگی جواب بهینه الگوریتم *ABC* کم است و بیشتر کانکس‌ها در جوار یکدیگر و یا بر روی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

جدول ۵: مقایسه بزرگ‌ترین فاصله موجود بین تقاطع‌ها و کانکس‌ها در مکان‌یابی ده کانکس با استفاده از الگوریتم *PSO* بهبودیافته و الگوریتم *ABC*

معیار	*PSO* بهبودیافته	*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* بهبودیافته و *ABC* در مکان‌یابی ده کانکس پلیس راهنمایی و رانندگی و ۲۰ اجرا



شکل ۱۱: مکان بهینه ده کانکس به‌دست‌آمده از الگوریتم *PSO* بهبودیافته و *ABC*

۶- نتایج و پیشنهادها

در این مقاله راه‌حلی بـرای مکـان‌یـابی بـر روی شـبکه معابر شهری با استفاده از الگوریتم *PSO* ارائـه شـد. بـه طور خاص مکان‌یابی کـانکس‌هـای پلـیس راهنمـایی و رانندگی در بخشی از سطح شهر تهـران مـورد بررسـی قرار گرفت. الگوریتم *PSO* به طور ذاتی در حل مسـائل پیوسته کاربرد دارد، درحالی‌که این مسأله به دلیل لزوم قرارگیری کانکس‌ها بر روی شبکه راه و همچنین آزادی انتخاب در طول خیابان‌ها، مسأله‌ای ترکیبـی بـه شـمار می‌رود. لذا برای حل این مسـأله، معادلـه سـرعت *PSO* بایستی دستخوش تغییراتی شود. در این تغییرات از دو عملگر معروف الگوریتم ژنتیک تحـت عنـاوین تلفیـق و جهـش اسـتفاده شـد. بـرای ارزیـابی الگـوریتم *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 مکـان‌یـابی ۲ و ۴ کانکس، الگوریتم *PSO* بهبودیافته بسیار نزدیـک به الگوریتم *ABC*، از نظر لحـاظ دقـت و صـحت، عمـل می‌کند. اما زمانی که برای مکان‌یـابی ۱۰ کـانکس و بـر روی منطقه مطالعاتی بزرگتری (منطقه ۳ تهران) نتـایج بررسـی شـد، مشـاهدات نشـان‌دهنـده عملکـرد بهتـر الگوریتم *PSO* بهبودیافته در مقایسه با الگـوریتم *ABC* بود. الگـوریتم *PSO* بهبودیافتـه از نظـر دقـت، صـحت، پایداری و تکرارپذیری، بهتر از الگوریتم *ABC* بـود. لازم بـه ذکـر اسـت کـه در ایـن الگـوریتم‌هـا از هـیچ‌گونـه جستجوی محلی استفاده‌نشده است؛ بنابراین مـی‌تـوان با اعمال روش‌هـای جسـتجوی محلـی معـروف، از ایـن الگوریتم در مسائلی که نیاز بـه دقـت بیشـتری دارنـد، استفاده کرد. نکته مهمی که در این تحقیق تجربه شـد این است که الگوریتم بهبودیافته *PSO* علیـرغم مفهـوم ذاتی حرکت در *PSO* کـه خـاص محـیط‌هـای پیوسـته است، با اعمال تغییرات لازم از آن می‌توان بـه‌خـوبی در مسائل گسسته هم استفاده کرد؛ به‌گونه‌ای که عملکـرد آن حتی از الگوریتم *ABC* که بـه لحـاظ ذاتـی توانـایی حل این مسأله را دارد بهتـر عمـل مـی‌کنـد. همچنـین نتایج نشان‌دهنده این بود که عملگرهـای اسـتفاده‌شـده در این تحقیـق بـرای گسسـته سـازی معادلـه سـرعت الگـوریتم *PSO* بسـیار خـوب عمـل کـرده و الگـوریتم بهبودیافته توانسته است هم فضای مسـأله را بـه‌خـوبی جستجو کند و هم به‌خوبی مقـادیر بهینـه را اسـتخراج کند. لازم به ذکر است که با ایـن حـال الگـوریتم *ABC* سرعت بهتری در یـافتن بهتـرین جـواب داشـته اسـت. الگوریتم *ABC* با توجه به تحقیقـات مختلفـی کـه روی آن انجام‌شده، اثبات‌شده که در مسأله گسسته به‌خـوبی پاسخگو بوده و با توجه به المان‌های اصـلی آن، هـم در کشـف[۱] و هـم در اسـتخراج بهتـرین جـواب[۲] فضـای جستجو، بسیار قوی عمل می‌کند.

یکی از محدودیت‌هایی که در مدل مسأله مشاهده شـد، رسیدن هـر دو الگـوریتم بـه جـواب‌هـای بهینـه اسـت درحالی‌که جواب‌ها لزوماً بر یکدیگر انطباق ندارند. ایـن نتیجه می‌توانـد ناشـی از ضـعف تـابع هـدف در یـافتن بهترین جواب باشد. به نظر مـی‌رسـد کـه اگـر مجمـوع فاصله تقاطع‌ها به نزدیک‌ترین کانکس را به عنوان تـابع هدف در نظـر بگیـریم، بتـوان جـواب‌هـای منطبـق بـر یکدیگر یافت. همچنین در چنین مسـائلی معمـولاً هـر گره، دارای وزنی به‌خصوص است. به‌طور مثـال، میـزان حادثه‌خیزی هـر تقـاطع بـا تقـاطع هـای دیگـر حتمـاً متفاوت خواهد بود. بنابراین بهتر است در تحقیقات آتی این مسأله در نظر گرفته شود. همچنین می‌توان به‌جای تعریف تنها یک تابع هدف، با دسته‌ای از اهداف، مسـأله را به صورت چندمعیاره حل کرد. البته پیشنهاد می‌شود الگـوریتم *PSO* توسـعه داده شـده در ایـن تحقیـق در سناریوهای متفاوتی مورد ارزیابی قـرار گیـرد تـا نقـاط ضعف احتمالی و نقاط قوت آن بیشتر مشخص شود.

---

[۱] *exploration*

[۲] *exploitation*

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 mcsse (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.

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

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.8 No.3, Autumn 2020

Research Paper

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

Sina Abolhoseini[1] , Mohammad Saadi Mesgari[2*] , Reza Mohammadi Soleimani[1]

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.*

Correspondence Address *: The Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Mirdamad Blvd, Tehran, Iran.*
Tel *: 88877071*
Email*: mesgari@kntu.ac.ir*