مجله آمایش جغرافیایی فضا،
فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان
سال هفتم/ شماره مسلسل بیست و سوم/ بهار ۱۳۹۶

کاربرد الگوریتم اجتماع مورچه در مسیریابی بهینهٔ گروه‌های امدادی بین‌شهری

غلامعلی خمر
استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه زابل، زابل، ایران
تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۲

چکیده

سرعت عمل گروه‌های امدادی و در رأس آن‌ها آمبولانس‌های بین‌شهری نقش بسیار مهمی در کارایی آن‌ها در حین حوادث غیرمترقبه دارد. در این راستا مسیریابی بهینه این گروه‌ها به‌منظور پوشش بیشینهٔ مراکز جمعیتی ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور استفاده از هوش مصنوعی و اصطلاح الگوریتم‌های مسیریابی نوین، و بومی‌سازی آن در بخش شهری و بین‌شهری با توجه به وسعت و گستردگی شهرها، می‌تواند در ساماندهی مدیریت شهری و امدادرسانی کارآمد باشد. بنابراین هدف این تحقیق استفاده کاربردی از الگوریتم اجتماع مورچه‌ها به‌منظور مسیریابی بهینه و کمینه‌سازی مسافت طی شده می‌باشد. در این تحقیق مطالعهٔ موردی بر روی بالغ بر ۲۹ نقطه شهری و روستایی به مرکزیت شهر پارس‌آباد در محیط متلب انجام گرفته و در محیط GIS نمایش داده‌شده است. مدل ارائه‌شده در این مقاله، علاوه بر مسئله موردبررسی می‌تواند به‌منظور مسیریابی بهینه توزیع کالاهای اساسی به هنگام وقوع بحران‌های طبیعی و انسانی، مسئله ترافیک و غیره مورداستفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است که در الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب تصادفی همسایگی‌ها از روش Rolette wheel Selection استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داد که با توجه به وسعت کم منطقهٔ مورد مطالعه، زمان و کیفیت دستیابی به مسیر بهینه در الگوریتم اجتماع مورچه با زمانی برابر با ۰,۱۹ میلی‌ثانیه بهینه‌تر از روش تجربی محاسبه شد. همچنین به دلیل وجود بانک داده‌های مکانی و اعمال آن در الگوریتم مورچه‌ها، زمان رسیدن به محل حادثه توسط آمبولانس‌ها نیز با فرض حرکت ۳۰ مورچه، برای الگوریتم اجتماع مورچه‌ها و حالت تجربی به‌ترتیب ۱۹ دقیقه و ۴۵ ثانیه و ۲۷ دقیقه و ۱۵ ثانیه محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم اجتماع مورچه، پارس‌آباد، آمبولانس، مسیریابی

مقدمه

طرح مسئله

مسایل حمل و نقل علاوه بر اینکه یکی از مهم ترین دسته های مسایل بهینه سازی می‌باشد، مسایلی هستند که بسیار در زندگی و مشکلات روزمره زندگی انسان از جمله در زمینه امداد و نجات موثرند (یوسفی، ۱۳۹۰: ۱۸۳). مهم‌ترین مسائل و دغدغه‌هایی که در بخش فوریت‌های پزشکی و در رأس آن‌ها اورژانس‌های بین‌شهری مطرح است مسئله مسیریابی و نحوهٔ حرکت گروه‌های امدادی به‌منظور پوشش حداکثری مناطق در کوتاه‌ترین زمان ممکن به بیماران در شرایط اضطراری است. طبیعی است، هدف از فوریت‌های پزشکی کاهش مرگ‌ومیر و صدمات جسمی افراد حادثه‌دیده یا بیماران و به دنبال آن افزایش سطح سلامت جامعه است. تصمیم-گیران سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی همواره با این مسئله پیچیده روبرو هستند که به‌منظور پاسخ‌دهی سریع و بهینه به تماس‌های درخواست خدمات فوریت‌های پزشکی از نقاطی واقع در مسیر جاده‌های مختلف و چندگانه، آمبولانس‌ها باید کدام مسیر را انتخاب کنند. این مسئله، با افزایش نرخ تماس‌های اضطراری، بدتر شدن شرایط ترافیکی، و افزایش هزینه‌های عملیاتی، پیچیده‌تر خواهد شد. راهبردهای مرتبط با مسیر، و انتخاب بهترین گزینه، یکی از رویکردهایی است که می‌تواند به‌طور چشمگیری از این فشارها کاسته و سطح معیارهای عملکردی را بهبود بخشد (سپهری، ۱۳۹۲: ۱۷۳).

*نویسنده مسئول: ah.khammar.2000@gmail.com

این نوع مسائل مسیریابی به راهبردهایی اشاره دارد که تحت آن، آمبولانس‌های در دسترس، ضمن تضمین سرعت عمل بالا، پوشش مورد نیاز برای مناطقی که به دلیل اعزام یک با چند آمبولانس، حداقل آمادگی خود را ازدست‌داده‌اند تأمین می‌کند.

اهمیت و ضرورت تحقیق

یکی از چالش‌های بسیار مهم در زندگی پرشتاب امروزی و به‌ویژه در امور مدیریت شهری، جلوگیری از اتلاف زمان و انرژی است تا بتوان ضمن ارائه بهتر و سریع‌تر خدمات، از اتلاف هزینه‌های کلان پیشگیری کرد (مولایی، ۱۳۸۷: ۳۷). گسترش علم در حوزهٔ شهری با تمرکز بر روی این دیدگاه و استفاده از هوش مصنوعی و اصطلاح الگوریتم های مسیر یابی نوین، و بومی سازی آن در بخش شهری با توجه به وسعت و گستردگی شهرها، می‌تواند در ساماندهی مدیریت شهری و امداد رسانی، کارآمد باشد (ذوالفقاری و کرکه آبادی، ۱۳۹۱: ۱). کاهش زمان نقل‌وانتقال، منجر به افزایش سطح خدمات‌دهی به شهروندان و جلب رضایت آنان می‌شود که این امر، در بخش امدادرسانی و در مواقع بحرانی به شکل پررنگ‌تری نمود می‌یابد.

لازم به ذکر است که مسائل مسیریابی کلاسیک عموماً به گونه‌ای طراحی می‌شود که ارتباط دو نقطه تنها از طریق یک یال یا سویه امکانپذیر است. با این حال گاهی شرایطی پیش می‌آید که از طریق بیش از یک یال از نقطه‌ای به نقطه دیگر می‌توان دسترسی داشت (حبیبی و کریمی، ۱۳۹۲: ۲۶۱). به این منظور، استفاده و اصلاح الگوریتم‌های مسیریابی نوین و بومی‌سازی آن در بخش شهری با توجه به وسعت و گستردگی شهرها، می‌تواند موارد ذکرشده را به شکل بهینه و مؤثرتری در بخش مدیریت شهری و امدادرسانی، ساماندهی کند.

ساختار این مقاله بر این اساس طراحی‌شده است که در بخش اول مروری بر ادبیات موضوع ACO[1] خواهیم داشت. در ادامه در بخش دوم الگوریتم اجتماع مورچگان تشریح گردیده و با استفاده از موقعیت دقیق هرکدام از نقاط مدل‌سازی خواهد شد. در پایان نیز نتایج به‌دست‌آمده از این مقاله به‌تفصیل بیان می‌شود و پیشنهادتی برای مطالعات آتی ارائه می‌گردد.

هدف تحقیق

در بین فاکتورهای مثبت مربوط به گروه‌های امدادی و اورژانس‌ها، سرعت عمل و کمینه‌سازی مسافت برای رسیدن به نقطه هدف یکی از مزیت‌های اساسی این گروه‌ها محسوب می‌شود. ازسوی‌دیگر در ساختار حرکتی مورچگان نیز مساله کمینه‌سازی بعد مسافت از طریق فرومون‌ریزی، جزء ویژگی‌های جدایی‌ناپذیر آن‌ها محسوب می‌شود. بنابرین هدف اصلی این مقاله کمینه‌سازی کل زمان سفر گروه‌های امدادی و هزینه‌های ناشی از آن با هدف اثبات قابلیت‌های کلونی مورچگان می‌باشد، با این شرط که زمان سفر بین روستاها و بخش‌های تابعه و شهر مرکزی و به‌تبع آن هزینه‌های سفر، وابسته به زمانی باشد که سفر طی آن انجام می‌شود. عوامل مختلفی می‌توانند بر تغییر زمان سفر (و درنتیجه هزینه سفر) بین دو محل مشخص مؤثر باشد. ازجمله این عوامل می‌توان به شرایط آب و هوایی، تصادفات و از همه مهم‌تر وضعیت ترافیکی مسیر اشاره کرد (Malandraki and Daski, 1992:190). بنابرین اهداف کلی این مقاله را می‌توان به شکل ذیل بیان کرد:

- پاسخگویی به‌موقع به نیاز حادثه دیدگان در زمینه امدادرسانی
- ساماندهی و افزایش بهره‌وری سازمان‌های مرتبط با امدادرسانی
- ایجاد ابزاری مفید در جهت تصمیم‌گیری مدیران جهت افزایش سرعت و دقت کار امدادرسانی
- در نظر گرفتن ترجیحات مسیریابی کاربر با نرم‌افزار توسط هوشمندی نرم‌افزار
- انجام عملیات هدایت مسیر در حین مأموریت و اتخاذ تصمیمات مربوط به هدایت قبل از رسیدن به نقاط هدف
- حداقل برخورد با گره‌های ترافیکی با بهره‌گیری از اطلاعات تصادفات ترافیکی در مسیرهای پرترافیک

1. Ant Colony

پیشینه تحقیق

در زمینه پیدا کردن بهترین مسیر برای شبکه‌های حمل‌ونقل کـه زمـان و مسـافت در آن نقـش اساسـی داشته باشد، کارهای بسیاری انجام‌شده است.

حسینی و زمانی‌فـر در سـال (۱۳۸۷) در مقالـه‌ای تحت عنوان "استفاده از الگوریتم Ant Colony در حل مسئله مسیریابی در شبکه‌های پویـا" بـه دنبـال ارائـه الگوریتمی برای انجام انواع مختلف مسیریابی در شبکه راه‌هایی بودند که در آن‌ها باگذشت زمان امکان تغییـر وجود داشته باشد. برای این منظور از الگوریتم کولـونی مورچه‌ها (ACO) بهـره گرفتنـد و در نهایـت بـه ایـن نتیجـه رسـیدند کـه از آنجـا کـه الگـوریتم کولـونی مورچه‌ها به حل چند جمله‌ای مسئله پرداخته و علاوه بـر آن دارای سـاختار انعطاف‌پـذیر اسـت پـس در شبکه‌های حجـیم بـا تعـداد مسـیریاب زیـاد می‌توانـد نسبت به سایر الگوریتم‌های موجود عملکـرد بهتـری را از خود نشان دهد. صادقی و همکاران در سال (۱۳۸۴) در مقالـه‌ای تحـت عنـوان "الگـوریتم مسـیریابی چندبخشی مبتنی بر کیفیـت سـرویس بـا اسـتفاده از کولونی مورچه‌ها" دو الگوریتم توزیع‌شده همـه‌منظوره بر اساس کولونی مورچـه‌ها را بـه‌منظور حـل هـر چـه مؤثرتر و کارآمـدتر مسـئله مسـیریابی چندبخشـی بـر اسـاس تحقـق چنـدین محـدودیت کیفیـت سـرویس پیشنهاد دادند. اساس الگوریتم‌هـای پیشـنهادی آن‌هـا برگرفته از قابلیت و توانایی مورچـه‌هـا در پیـدا کـردن کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و منبع غـذایی اسـتوار بـود. نتـایج شبیه‌سـازی انجـام شـده آن‌هـا نشـان داد کـه شیوه‌های پیشنهادی می‌توانـد بـه‌طور مـؤثر و کارآمـد مسیریابی چندبخشی مبتنی بر کیفیت سـرویس را بـه انجام رساند. رحمانی و همکـاران در سـال (۱۳۸۶) در مقالـه‌ای تحـت عنـوان "تـوازن بـار ترافیـک شـبکه و مسیریابی مبتنی بـر مهندسـی ترافیـک بـا اسـتفاده از کولونی مورچه‌ها" به‌منظور حل مسئله شبکه‌های پویـا که در آن‌ها هزینه اتصالات به‌طور پی‌درپی تغییر کنـد به‌طوری‌کـه بسـته‌های داده از مسـیرهایی بـا حـداقل تـراکم بـه مقصـد برسـند از الگوریتم‌هـای مبتنـی بهینه‌سازی چندگانه کولونی مورچه‌ها در یک سیسـتم ABC استفاده کرده‌اند. نتایج شبیه‌سازی آن‌هـا نشـان داده است که این روش توانسته است به‌طور کارآمـدی بـار ترافیکـی را در شـبکه متعـادل کنـد، به‌طوری‌کـه داده‌ها در هر گام زمانی مسیر بهینه را برای رسیدن به مقصد انتخاب کنند. ماچوفسکی[1] در سـال (۱۹۹۹) در مقاله‌ای تحت عنوان "GIS و سیستم‌های چند معیـار" بـه بررسـی نقـش سیسـتم‌های سلسـله مراتبـی در مسیریابی بهینه با کمک GIS پرداختـه اسـت. اسـتنز[2] در سال (۲۰۰۵) در مقاله‌ای تحت عنوان "برنامـه‌ریزی مسیر بهینه و کارا برای محیط‌های ناشناخته" به درک هدایت و مسیریابی با استفاده از الگوریتم D_* پرداختـه است و منتج به شناخت مسیر در محیط‌های ناشناخته شده است. توزکایا[3] در سال (۲۰۰۸) در مقاله‌ای تحـت عنوان "تحلیل فازی و مدل‌سازی هوش مصنوعی برای رسیدن به بهترین مسیر حمل و نقل ترکیـه و آلمـان" با توجه به حجـم تبـادلات ترانزیتـی ترکیـه و آلمـان، سعی در بهینه‌سازی مسیر جهت کوتاه کـردن زمـان و مسافت برای جلوگیری از تصادفات ناشـی از خسـتگی رانندگان شده است.

مفاهیم، دیدگاهها و مبانی‌نظری

مسیر یابی وسایل نقلیه: یکـی از مهم‌تـرین مسـائل بیان‌شده در زمینه بهینه‌سازی هزینـه‌های حمل‌ونقـل "مسـئله مسـیریابی وسـیله نقلیـه" می‌باشـد. مسـئله مسـیریابی وسـیله حمـل و نقـل در سـال‌های اخیـر مسـئله‌ای جـذاب بـرای محققـان بـوده اسـت. رشـد روزافزون مقالات ارائه‌شده در این زمینه این موضـوع را تأیید می‌کند (Eksioglu et al., 2009:1473). اشـکال متنـوعی از مسـئله مسـیریابی وسـیله نقلیـه یـا VRP وجـود دارد. غالـب مقـالات مـورد بررسـی در زمینـه مسیریابی تا دهه اخیر را مسائل مسیریابی وسیله نقلیه ایستا تشکیل می‌دهد (معصـومی، ۱۳۹۰: ۴۹) در ایـن مسائل پارامترهای مسئله ازجمله زمان لازم جهت طی مسیرها در طول دوره‌های زمانی (اعم از روز، ماه، فصل و سـال) ثابـت فـرض می‌شـود. هرچنـد ایـن شـکل از طراحی مسئله می‌تواند تخمین مناسبی بـرای مسـائل واقعی باشد، اما برای برخی از کاربری‌هـا کـه نیـاز بـه

1. Malczewski
2. Stenze
3. Tuzkaya

نتایج دقیق‌تر دارند، چندان قابل‌قبول نیستند (Samsons, 2010). در این شرایط نوع دیگری از مسائل مسیریابی، "مسئله مسیریابی وسیله حمل‌ونقل پویا" معرفی گردید. این مسائل برخی از مشکلات نتایج حاصل از مسائل ایستا را برطرف می‌نماید.

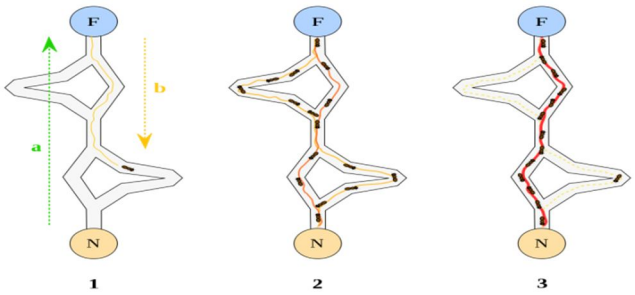
"مسئله مسیریابی مبتنی بر الگوریتم مورچگان یا ACO یکی از انواع مسائل مسیریابی وسیله نقلیه پویاست (سلامی‌پور و همکاران، ۱۳۸۷: ۲) که در این مقاله تحت عنوان مسیریابی آمبولانس‌های بین‌شهری مطرح می‌شود که در آن ناوگانی از آمبولانس‌های بین‌شهری از یک یا چند بیمارستان و اورژانس واقع در شهر مرکزی (پارس‌آباد) جهت امدادرسانی به مجموعه‌ای از روستاها و بخش‌های اطراف اعزام می‌شوند و پس از اتمام عملیات دوباره به مرکز مربوطه بازمی‌گردند.

کلونی مورچه‌ها: الگوریتم کلونی مورچه‌ها اولین بار توسط مارکو دوریگو به‌عنوان تز دکتری مطرح شد (حسینی و همکاران، ۱۳۸۷: ۲)، الگوریتم کلونی مورچه الهام گرفته از مطالعات و مشاهدات روی کلونی مورچه‌هاست. این مطالعات نشان داده که مورچه‌ها حشراتی اجتماعی هستند که در کلونی‌ها زندگی می‌کنند و رفتار آن‌ها بیشتر در جهت بقاء کلونی است تا در جهت بقاء یک جزء از آن (مرادی، ۱۳۸۹: ۴). یکی از مهم‌ترین و جالب‌ترین رفتار مورچه‌ها، رفتار آن‌ها برای یافتن غذا است و به‌ویژه چگونگی پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر میان منابع غذایی و آشیانه. این نوع رفتار مورچه‌ها دارای نوعی هوشمندی توده‌ای است که اخیراً مورد توجه دانشمندان قرارگرفته است (رحمانی و همکاران، ۱۳۸۵: ۳). در دنیای واقعی مورچه‌ها ابتدا به‌طور تصادفی به این‌سو و آن‌سو می‌روند تا غذا بیابند، سپس به لانه برمی‌گردند و ردی از فرومون به‌جا می‌گذارند چنین ردپایی پس از باران به رنگ سفید در می‌آیند و قابل رؤیت‌اند. مورچه‌های دیگر وقتی این مسیر را می‌یابند، گاه پرسه زدن را رها کرده و آن را دنبال می‌کنند (قیصری و مرشد سلوک، ۱۳۸۴: ۴). سپس اگر به غذا برسند به خانه برمی‌گردند و رد دیگری از خود در کنار رد قبل می‌گذارند؛ و به عبارتی مسیر قبل را تقویت می‌کنند. فرومون به‌مرورزمان تبخیر می‌شود که از سه جهت مفید است:

- باعث می‌شود مسیر جذابیت کمتری برای مورچه‌های بعدی داشته باشد. از آنجا که یک مورچه در زمان دراز راه‌های کوتاه‌تر را پیش‌تر می‌پیماید و تقویت می‌کند هر راهی بین خانه و غذا که کوتاه‌تر (بهتر) باشد بیشتر تقویت می‌شود و آن که دورتر است کمتر.
- اگر فرومون اصلاً تبخیر نمی‌شد، مسیرهایی که چند بار طی می‌شدند، چنان بیش از حد جذاب می‌شدند که جستجوی تصادفی را برای غذا بسیار محدود می‌کردند.
- وقتی غذای انتهای یک مسیر جذاب تمام می‌شد ردی باقی می‌ماند (Malczewski: 2004:192).

کاربردهای الگوریتم مورچه‌ها

- مسئله فروشنده دوره‌گرد (TSP)
- مسائل تخصیص منابع (به‌خصوص مسئله تخصیص درجه دو)
- انواع مسائل بهینه‌سازی ترکیب و ترتیب
- انواع مسائل بهینه‌سازی گسسته



شکل ۱: مسیرهای چندگانه قابل انتخاب برای حرکت مورچه‌ها، منبع: (Wikipedia)

روش پژوهش

این پژوهش، توصیفی- تحلیلی است؛ نخست برنامه زمان‌بندی حرکت آمبولانس‌های بین‌شهری به‌سوی مقصد و بازگشت دوباره به نقطه اولیه یعنی مبدأ (در اینجا اورژانس مرکزی شهر پارس‌آباد) تهیه و توصیف می‌شود و دوم با استفاده از نقشه منطقه و مسیرهای آن، نقاط موردمطالعه مشخص و یال‌ها و مسیرهای منتهی به هرکدام ترسیم می‌شود. بدین‌صورت که از سیستم مختصات هرکدام از گره‌ها و مسیرهای منتهی به آن‌ها به جای بعد مسافت آن‌ها استفاده می‌کنیم و با واردکردن اطلاعات مربوطه در محیط متلب و کدنویسی‌های مرتبط با الگوریتم کلونی

$$if\ j \in N_i^k \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که $\eta_{ij} = {}^{1}/_{d_{ij}}$ اطلاعات هیوریستیک بر روی کمان ij است که به‌صورت پیشین بر اساس d_{ij} فاصله بین شهرها در دست است و τ_{ij} مقدار فرومون روی کمان می‌باشد. α و β پارامترهایی هستند که به ترتیب میزان تأثیر اثر فرومون و اطلاعات هیوریستیک را تعیین می‌کند و N_i^k همسایگی شدنی برای مورچه k است. همسایگی شدنی عبارت است از مجموعه شهرهایی که مورچه k هنوز از آن‌ها گذر نکرده است.

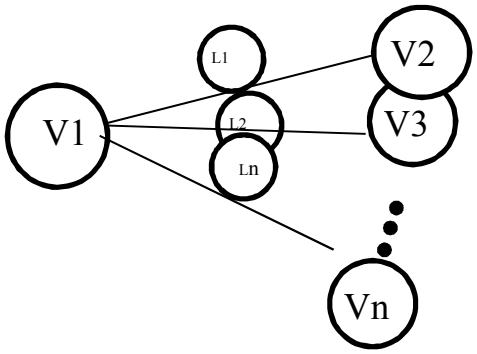
مورچه‌ها اقدام به کمینه‌سازی مسافت نموده و بهینه‌ترین مسیر انتخاب می‌شود. درنهایت در محیط Arc GIS اقدام به معرفی مسیرهای پیشنهادی الگوریتم می‌شود. در ادامه به تفصیل به بیان روش کار با الگوریتم و اصطلاحات مربوطه که در تحقیق استفاده گردیده است، پرداخته می‌شود.

قانون گذر

فرض کنید مورچه k ام در نقطه i ام قرار دارد. در این صورت احتمال انتخاب نقطه j به‌عنوان مقصد و یا به‌عبارت‌دیگر انتخاب مسیر جابجایی ij از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$P_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}]^a * [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{j \epsilon N_i^k}[\tau_{ij}]^a * [\eta_{ij}]^\beta}$$

پارامترهای α و β (Shl hang, 2004; Wang, 2000) بدین گونه روی رفتار الگوریتم تأثیر می‌گذارند که اگر $\alpha = 0$، احتمال‌های انتخاب شهر بعدی نسبتی از η_{ij}^β خواهد بود و احتمال انتخاب شهر نزدیک‌تر بیشتر خواهد بود (Clarke: 1994). شکل (۳) تعاریف ریاضی مربوط به الگوریتم مورچه‌ها برای بیان مباحث تئوریک آن را نشان می‌دهد.



$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$$
$$L = \{l_{ij} | (v_i, v_j) \epsilon W \subseteq V \times V\}$$
$$G = (V, L)$$
$$J: L \to \mathbb{R} \geq \mathbf{0}$$
$$J: (l_{ij}) = d_{ij}$$
$$D = [d_{ij}]_{n \times n}\ ,\ d_{ii=0}$$
$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$$

شکل ۲: شکل شماتیک و تعاریف ریاضی حرکت مورچه‌ها از نقطه مبدأ به نقاط مقصد

ماتریس فرومون

برای انجام الگوریتم اجتماع مورچگان نیازمند یک حافظهٔ مشترک هستیم. این حافظه مشترک با ایجاد یک ماتریس فرومون حاصل می‌شود. برای هر مسیری که مورچه می‌تواند انتخاب کند، مقداری فرومون اولیه در نظر گرفته می‌شود و با انتخاب آن مسیر مقداری فرومون به فرومون موجود افزوده می‌شود (Dorigo, 1999).

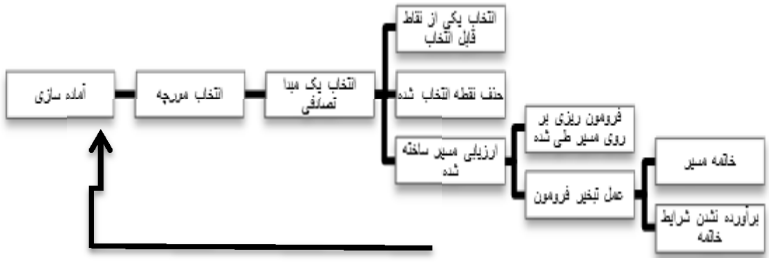
$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho).\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^{m} \Delta\tau_{ij}^k(t), \quad \forall(i,j) \qquad \text{رابطه (۲)}$$

که $o \leq \rho \leq 1$ نرخ تبخیر اثر فرومون است و m تعداد مورچه‌ها است. پارامتر ρ بدین منظور به کار می‌رود تا از تجمع بیش‌ازاندازه فرومون جلوگیری کند و الگوریتم را قادر سازد تا تصمیم‌های بد قبلی را فراموش کند. بدین ترتیب کمان‌هایی که توسط مورچه‌ها انتخاب‌نشده‌اند شدت فرومون روی آن‌ها به‌صورت تابعی نمایی تکرار کاهش می‌یابد. $\Delta\tau_{ij}^{k}$ مقدار فرومونی است که مورچه k بر روی کمان (i, j) به‌جا می‌گذارد که طبق رابطه شماره (۲) محاسبه می‌گردد و در مرحله به‌روزآوری فرومون مورداستفاده قرار می‌گیرد. (Dorigo: 1997)

شرط همگرایی: تکرارهای الگوریتم مورچگان زمانی به پایان می‌رسد که شرط همگرایی برآورده شود. برای این الگوریتم شرط همگرایی را می‌تواند به دو صورت زیر در نظر گرفت: (Samsung:۲۰۱۰)

چگالی فرومون مسیرها: چنانچه چگالی فرومون در مسیرهایی از حدنصاب تعیین‌شده بیشتر شود و یا اختلاف فاحشی با چگالی فرومون در سایر مسیرها داشته باشد می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم به جواب رسیده و مسیرهای یادشده به‌عنوان راه‌حل بهینه انتخاب‌شده‌اند.

دفعات گذر از مسیرها: با توجه به این که عامل مورچه در انتخاب مسیر بعدی به صورت کاملاً چند هدفه و نه بصورت تصادفی عمل می‌کند (معصومی و مسگری، ۱۳۹۰: ۴۸) چنانچه دفعات گذر مورچه‌ها از مسیرهایی خاص از حدنصاب تعیین‌شده بیشتر شود و یا اختلاف فاحشی با دفعات گذر از سایر مسیرها داشته باشد می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم به جواب رسیده و مسیرهای یادشده با عنوان راه‌حل بهینه انتخاب‌شده‌اند.



شکل ۳: مراحل مختلف پیاده‌سازی الگوریتم مورچه‌ها

منبع: نگارنده، سال ۱۳۹۴

باید توجه داشت که اگر هیچ‌کدام از شروط فوق برآورده نگردد الگوریتم همگرا نمی‌شود. برای پیشگیری از این مسئله باید در الگوریتم قیودی را قرارداد تا در صورت واگرا شدن ضمن اعلام آن الگوریتم متوقف گردد. چنانچه دفعات گذر مورچه‌ها از مسیرهایی از حدنصاب تعیین‌شده بیشتر شود و یا اختلاف فاحشی با دفعات گذر از سایر مسیرها داشته باشد می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم به جواب رسیده و مسیرهای یادشده با عنوان راه‌حل بهینه انتخاب‌شده‌اند. (Afshar,2001: 91) باید توجه داشت که اگر هیچ‌کدام از شروط فوق برآورده نگردد الگوریتم همگرا نمی‌شود. برای پیشگیری از این مسئله باید در الگوریتم قیودی را قرارداد تا در صورت واگرا شدن ضمن اعلام آن الگوریتم متوقف گردد.

$$\Delta\tau_{ij}^{k}(t) = \begin{cases} 1/L_K(t) & \text{اگر کمان } (i, j) \text{ به‌وسیله } K \text{ مورچه استفاده شود} \\ o & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \qquad \text{فرمول(۳)}$$

انتخاب تصادفی رولت ویل

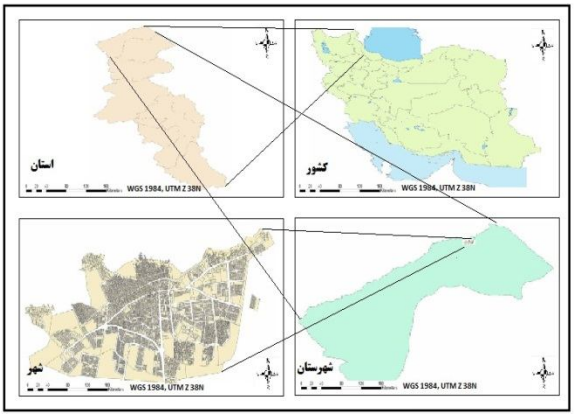
اصولاً در الگوریتم کلونی مورچه‌ها برای حرکت از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر با حالت‌های مختلفی روبرو هستیم بدین‌صورت که مثلاً برای حرکت از گره i به گره j مسیرهای چندگانه‌ای در پیش‌رو داریم و آن‌ها را تصادفی انتخاب می‌کنیم. در این پژوهش به‌دلیل توزیع گسسته احتمالات و همچنین نزدیکی زیاد روش انتخاب تصادفی رولت ویل به هوش محاسباتی که درواقع پایه و اساس الگوریتم‌های فرا ابتکاری را تشکیل می‌دهد (Tuzkaya,2008:3138) از این نوع توابع استفاده می‌شود. قاعدهٔ کلی این نوع توابع به شکل فرمول (۴) می‌باشد.

رابطه (۴) $$P_R = \{j = j_0\} = P_{ij0}^k$$

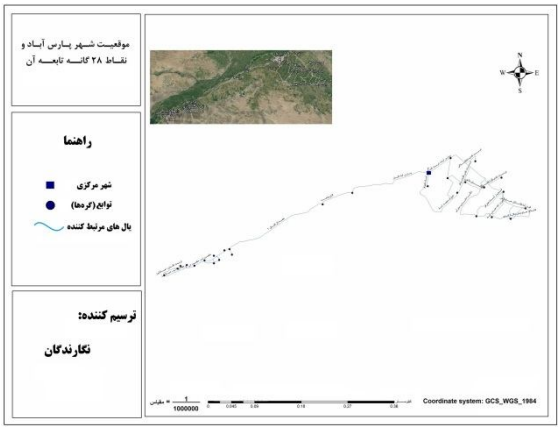
به عبارتی با فرض حرکت از نقطه i، احتمال این‌که شهر بعدی برابر j_0 باشد برابر است با P_{ij0}^k.

منطقه مورد مطالعه

شهرستان پارس‌آباد (شامل چهار شهر پارس‌آباد، اصلاندوز، اسلام آلاد و تازه کند و روستاهای تابعه آن) در مجموع شامل ۲۹ نقطه، در شمال استان اردبیل با مساحتی حدود ۱۳۹۵ کیلومترمربع و جمعیتی برابر ۱۷۳۱۸۲ نفر و ۴۴۰۶۵ خانوار بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ می‌باشد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰). مرکز این شهرستان بین دو عرض جغرافیایی ´۳۹۰،۲۰ تا ´۴۰۰،۳۹ و طول جغرافیایی ´۴۷۰،۴۷ تا ´۴۷۰،۵۷ قرارگرفته است. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه را به‌صورت گره‌ها و یال‌های منتهی به آن را نشان می‌دهد.



شکل ۴: نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه
ماخذ: نگارنده، ۱۳۹۴



شکل ۵: نقاط ۲۹ گانه مورد بررسی و مسیرهای مرتبط کننده
منبع: Google Earth، سال ۱۳۹۴

بحث اصلی

حل مسئلهٔ مسیریابی بهینهٔ آمبولانس‌های بین‌شهری به روش ACO: مسئله بهینه‌سازی مسیرهای طی شده درواقع کمینه‌سازی مسافت و انتخاب کوتاه‌ترین مسیر از بین مسیرهای انتخابی در یک دوره زمانی مشخص تعریف می‌شود. با این شرط که هزینه جانی و مالی مربوط به طرفین درگیر در مسئله به حداقل برسد. و قیود مختلفی مانند رضایتمندی و جلب اعتماد عموم مردم نسبت به خدمت بهداشتی و درمانی ارضا شود (wood and wollenberg,1996).

تعریف مسئله را می‌توان به‌صورت شبکه‌ای از نقاط ۲۹ گانه در نظر گرفت که توسط یال‌ها یا مسیرهای چندگانه به هم متصل شده‌اند به‌گونه‌ای که از نقطه مبدأ مسیرهای چندگانه و با صرف زمان و هزینه متفاوت جهت رسیدن به نقطه مقصد وجود دارد. شکل (۵) و جدول (۱) شبکه‌ای از گره‌ها و یال‌هایی که از منطقه مورد مطالعه استخراج شده است را نشان می‌دهد.

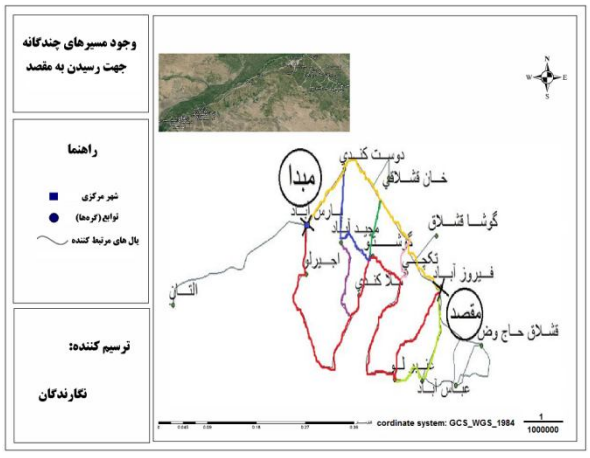
شکل (۵) و جدول (۱) موقعیت سکونتگاههای منطقهٔ مورد مطالعه و شبکه‌بندی جاده‌های دسترسی به آن نقاط را تحت عنوان گره و یال نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول بالا مشهود است در بسیاری از نقاط موردبررسی امکان حرکت از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر از طریق مسیرهای دوگانه و حتی چندگانه امکان‌پذیر است که همین مسئله نقطهٔ قوت و کاربرد بهینه الگوریتم کلونی مورچگان است.

مسیریابی تجربی: اصولاً دسترسی‌های درون شهرستانی بین شهر مرکزی و بخش‌ها و روستاهای متعدد تابعه دارای جاده‌های متعدد و گاه پرپیچ‌وخمی است که اغلب انتخاب مناسب‌ترین مسیر با کمترین زمان ممکن را برای راننده‌ها و در رأس آن‌ها گروه‌های امدادی با مشکل مواجه می‌کند. شکل (۶) مسیرهای چندگانه‌ای را برای حرکت از نقطه مبدأ (پارس‌آباد) به‌سوی نقطه مقصد (فیروزآباد) نشان می‌دهد.

جدول۱: مختصات جغرافیایی نقاط ۲۹ گانه موردبررسی و یال‌های متصل‌کننده نقاط

شماره	گره	طول جغرافیایی			عرض جغرافیایی			یال های مشترک
		ثانیه	دقیقه	درجه	ثانیه	دقیقه	درجه	
۱	پارس‌آباد	۲۶	۵۵	۴۷	۲۱	۳۸	۳۹	۲-۱۴-۱۵
۲	دوست کندی	۳۲	۵۷	۴۷	۱۲	۴۰	۳۹	۳-۴-۸-۷-۹
۳	مجیدآباد	۴۱	۵۷	۴۷	۵۱	۳۸	۳۹	۵-۶-۱۴
۴	خان قشلاقی	۰۰	۰۰	۴۸	۰۲	۴۰	۳۹	۵-۶-۷
۵	گوشت لو	۵۱	۵۹	۴۷	۱۳	۳۷	۳۹	۶-۷-۴
۶	ملاکندی	۳۴	۵۸	۴۷	۴۲	۳۶	۳۹	۵-۷-۴-۱۴
۷	تکچی	۳۱	۰۱	۴۸	۰۸	۳۶	۳۹	۵-۶-۴
۸	قوشاقشلاق	۴۵	۰۳	۴۸	۵۲	۳۷	۳۹	۲-۳-۴-۷-۹
۹	فیروزآباد	۱۱	۰۳	۴۸	۱۰	۳۶	۳۹	۱۲-۱۳-۱۰-۱۱
۱۰	قشلاق اجوض	۱۳	۰۶	۴۸	۴۲	۳۴	۳۹	۹-۱۱-۱۲
۱۱	تکله کندی	۲۹	۰۴	۴۸	۱۶	۳۳	۳۹	۹-۱۰-۱۲
۱۲	عباس‌آباد	۱۶	۰۲	۴۸	۴۲	۳۳	۳۹	۹-۱۰-۱۳
۱۳	عنبر لو	۰۰	۰۰	۴۸	۵۲	۳۳	۳۹	۷-۵-۹-۱۲
۱۴	اجیر لو	۳۱	۵۴	۴۷	۱۰	۳۷	۳۹	۱-۳-۶
۱۵	اولتان	۲۸	۴۶	۴۷	۵۹	۳۶	۳۹	۱-۱۶
۱۶	بقعه	۵۷	۴۲	۴۷	۱۶	۳۴	۳۹	۱۷-۱۸-۱۹
۱۷	قارالار کندی	۱۸	۳۱	۴۷	۲۹	۲۹	۳۹	۱۶-۱۷-۱۸-۲۰-۲۱
۱۸	آق قاباق	۱۲	۳۲	۴۷	۲۰	۲۹	۳۹	۱۷-۱۸
۱۹	آق قاباق ۲	۱۵	۳۲	۴۷	۳۶	۲۸	۳۹	۱۶-۱۷-۱۸
۲۰	محبوب کند	۵۲	۳۰	۴۷	۱۸	۲۸	۳۹	۱۷-۲۱-۲۲-۲۳
۲۱	محبوب کند۲	۵۹	۳۴	۴۷	۳۲	۲۸	۳۹	۱۷-۲۰-۲۲-۲۳
۲۲	نور محمددی	۱۶	۲۹	۴۷	۵۱	۲۸	۳۹	۲۰-۲۱-۲۳
۲۳	مقصود کندی	۴۱	۲۷	۴۷	۱۷	۲۷	۳۹	۲۰-۲۱-۲۲-
۲۴	مقصود کند۲	۴۷	۲۶	۴۷	۴۲	۲۶	۳۹	۲۳-۲۴-۲۵-۲۶
۲۵	اسد کندی	۳۱	۲۵	۴۷	۵۳	۲۷	۳۹	۲۴-۲۶-۲۷
۲۶	اسد کندی۲	۱۱	۲۶	۴۷	۴۱	۲۵	۳۹	۲۵-۲۷-۲۸
۲۷	تربت کندی	۲۵	۲۵	۴۷	۴۶	۲۷	۳۹	۲۵-۲۶-۲۸-۲۹
۲۸	نادر کندی	۵۶	۲۵	۴۷	۵۰	۲۸	۳۹	۲۶-۲۷-۲۹
۲۹	اصلاندوز	۳۵	۲۴	۴۷	۱۷	۲۶	۳۹	۲۶-۲۷-۲۸

منبع: اطلاعات استخراج‌شده از Google Earth توسط نگارنده، سال: ۱۳۹۴



شکل ۶ : وجود مسیرهای چندگانه جهت رسیدن به مقصد

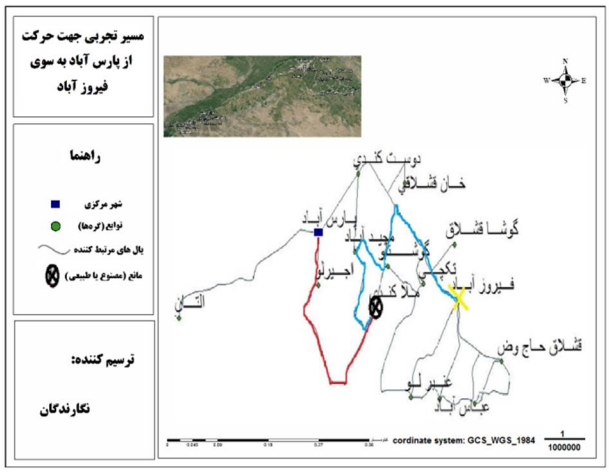
همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود اعزام آمبولانس از مبدأ به‌صورت سنتی توسط مرکز کنترل به‌وسیله ارتباط رادیویی (بی‌سیم) انجام می‌گیرد. سرنشینان گروه بر اساس شناخت خود از مسیرها و یا برحسب‌تصادف، به سمت محل حادثه حرکت کرده، ولی در حین حرکت خود و در هنگام رسیدن به

مسیرهای سه‌راهی و یا حتی گاهی چهارراهی لاجرم باید یکی از مسیرها را انتخاب کنند که ممکن است در صورت انتخاب اشتباه، مسیر انتخابی علاوه برافزایش زمان سفر جهت رسیدن به مقصد شامل موانع ناخواسته‌ای باشد و آمبولانس مجبور به تغییر مسیر شود که این مسئله علاوه بر افزایش هزینه سفر باعث تأخیر در رسیدن گروه‌های امدادی به محل حادثه و درنتیجه به خطر افتادن جان مصدومان می‌شود. در شکل‌های (۷) و (۸) مشاهده می‌شود که اکیپ‌های امدادی با رجوع مجدد به شناخت خود از معابر، می‌توانند مسیرهای دیگر را برای رسیدن به محل حادثه انتخاب نمایند.

مسیریابی توسط الگوریتم ACO کد نویسی:

مسیریابی با شیوه‌ها و با استفاده از الگوریتم‌های مختلفی انجام می‌شود که در شهرهای کوچکی همانند پارس‌آباد، الگوریتم مورچگان به‌خوبی پاسخگویی نیازهای امدادرسانی بوده و با حذف مسیرهای اضافی با استفاده از پردازش اطلاعات لحظه‌ای موجود در بانک داده‌های فضایی، امر مسیریابی را برای اکیپ‌های امدادی و در رأس آن‌ها آمبولانس‌های بین‌شهری انجام می‌دهد. برای این‌که بتوان این الگوریتم را در محیط *MATLAB* اجرا کرد نیاز به کد نویسی در این محیط است. نمونه کدهای نوشته‌شده به‌منظور مسیریابی بهینه با استفاده از *ACO* در ذیل می‌آید.

در نقشهٔ (۹) امر مسیریابی به نرم‌افزار سپرده می‌شود. نرم‌افزار بر اساس داده‌های لحظه‌ای و منطبق با الگوریتم اعمالی به آن، مسیر بهینه را به‌سرعت یافته و برای سرنشین گروه امدادی نمایش می‌دهد. در این حالت به علت عدم برخورد به مانع و عدم‌تغییر مسیر، از هزینه سفر کم شده و اکیپ در زمان قابل قبولی به محل حادثه خواهند رسید.



شکل ۷: مسیریابی به روش تجربی (پارس‌آباد- فیروزآباد)، تغییر مسیر در هنگام برخورد با مانع

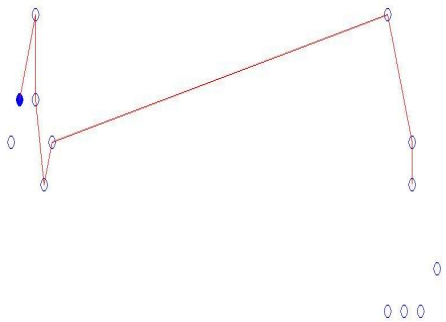
جدول ۱: نمونه کدهای نوشته‌شده به‌منظور مسیریابی بهینه با استفاده از الگوریتم ACO.

معنی	توضیح	کد
ورود داده‌ها	-	data=InsertData( );
تعداد متغیرها (که در این مسئله تعداد شهرها است)	% Number of Variables	nvar=data.N;
استخراج ماتریس فاصله‌ها	% Distance Matrix	Dis=data.Dis;
تعداد مورچه‌ها	% number of ant	n_ant=30;
تعداد تکرار حلقه اصلی الگوریتم	% max of iteration	maxiter=50;
واردکردن نود ابتدایی توسط کاربر	('Start Node = ');	Snode=input
واردکردن نود انتهایی توسط کاربر	('Final Node = ');	Fnode=input

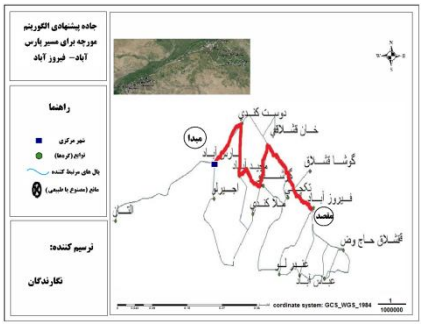
منبع: نگارنده، سال ۱۳۹۴

شکل‌های ۹ و ۱۰ مسیر پیشنهادی الگوریتم ACO برای حرکت از مبدأ (پارس‌آباد) و رسیدن به مقصد (فیروزآباد) با فرض وجود مانع در مسیر دوست کندی- پارس‌آباد را با تعداد ۳۰ مورچه نشان می‌دهد. مسیر پیشنهادی نرم‌افزار شامل گره‌های ۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۴، ۸ و در نهایت گره مقصد یعنی ۹ می‌باشد. گروه امدادی مذکور از نقطه مبدأ یعنی پارس‌آباد حرکت خود را آغاز کرده و در سه‌راهی دوست کندی و پارس‌آباد تغییر مسیر داده و با طی کردن گره‌هایی چون مجیدآباد، گوشت لو، ملاکندی، خان‌قشلاقی و گوشاقشلاق در نهایت بین ۱۹ الی ۲۰ دقیقه به مقصد تعریف‌شده یعنی فیروزآباد رسیده و دوباره از این مسیر بازمی‌گردد. همان طور که در شکل (۹) به تصویر کشیده شده است، گروه امدادی در مسیر حرکت خود علاوه بر تغییر مسیر در سه‌راهی دوست کندی، به‌دلیل وجود مانع (طبیعی یا مصنوع)، در دونقطه دیگر یعنی (سه‌راهی مجیدآباد) و (سه‌راهی گوشلو) نیز مجبور به مراجعه به برنامه و درخواست تعیین مسیر برای هر چه بیشتر کمینه‌تر کردن زمان سفر می‌کند.

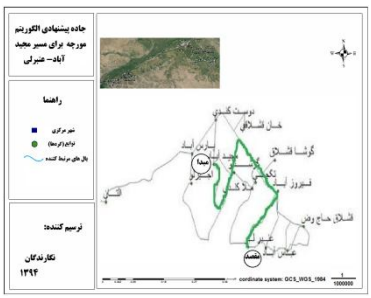
لازم به ذکر است که در الگوریتم طراحی‌شده ACO، تبادل مسیر علاوه بر ارتباط دادن شهر مرکزی با شهرها و روستاهای تابعه، مابین تک‌تک شهرها و روستاهای دیگر نیز می‌تواند صورت بگیرد. به‌عبارت‌دیگر، تعیین مرکزیت، وابستگی مستقیمی به نوع برنامه‌نویسی و تعریف نقاط مبدأ و مقصد دارد و هر شهر یا روستایی می‌تواند در وضعیت خاصی مرکزیت را به خود اختصاص دهد. این ویژگی موجب می‌شود که در مواقع بحرانی ازجمله جنگ و بلایای طبیعی و تخریب شهر مرکزی، به‌راحتی و با تعریف دوباره الگوریتم، نقاط مرکزی جدیدی را با سرعت هر چه بیشتر انتخاب و جایگزین کنیم. شکل (۱۱) مسیر پیشنهادی شبکه برای عنبرلی- مجیدآباد و شکل (۱۲) مسیر پیشنهادی شبکه برای حرکت از آق قاباق به‌سوی عباس‌آباد را نشان می‌دهد.



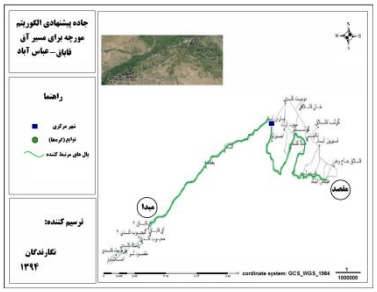
شکل ۸: مسیر پیشنهادی برنامه متلب با الگوریتم ACO برای مسیر پارس‌آباد – فیروزآباد



شکل ۹: مسیریابی بهینه پیشنهادی با ACO با توجه به وجود مانع در مسیر پارس‌آباد- دوست کندی (پارس‌آباد- فیروزآباد)



شکل ۱۰- مسیر پیشنهادی عنبرلی به مجیدآباد با استفاده از الگوریتم ACO (۱،۳،۹،۸،۴،۶،۱۳)



شکل ۱۱- مسیر پیشنهادی آق قاباق به عباس‌آباد با استفاده از الگوریتم ACO (۱۲،۱۳،۵،۶،۱۴،۱،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸)

نتیجه‌گیری

این مقاله در پی استفاده کاربردی از الگوریتم اجتماع مورچه‌ها به‌منظور مسیریابی بهینه و کمینه‌سازی مسافت طی شده بود. در این تحقیق مطالعه موردی بر روی بالغ بر ۲۹ نقطه شهری و روستایی به مرکزیت شهر پارس‌آباد در محیط متلب انجام‌گرفته و در محیط GIS نمایش داده شده است.

نتایج تحقیق نشان داد که با توجه به وسعت کم منطقهٔ مورد مطالعه، زمان و کیفیت دستیابی به مسیر بهینه در الگوریتم اجتماع مورچه با زمانی برابر با ۰/۱۹ میلی‌ثانیه بهینه‌تر از روش تجربی محاسبه شد. همچنین به‌دلیل وجود بانک داده‌های مکانی و اعمال آن در الگوریتم مورچه‌ها، زمان رسیدن به محل حادثه توسط آمبولانس‌ها نیز با فرض حرکت ۳۰ مورچه، برای الگوریتم اجتماع مورچه‌ها و حالت تجربی به‌ترتیب ۱۹ دقیقه و ۴۵ ثانیه و ۲۷ دقیقه و ۱۵ ثانیه محاسبه شد. مدل ارائه شده در این مقاله، علاوه بر مسئله مورد بررسی می‌تواند به‌منظور مسیریابی بهینه توزیع کالاهای اساسی به هنگام وقوع بحران‌های طبیعی و انسانی، مسئله ترافیک و غیره مورد استفاده قرار گیرد. این تحقیق در راستای حل این مسئله بود که با توجه به این که لزوم حضور همزمان سازمان‌های متعدد امدادرسان در مواقع بحرانی نسبت به شرایط عادی، امدادرسانی در شرایط بحرانی را با دشواری‌ها و پیچیدگی‌های بسیار همراه می‌سازد و زمان در شرایط بحرانی، بسیار حائز اهمیت است، راه‌اندازی و استفاده از پایگاه داده مکانی مستقل و مفید برای شهر پارس‌آباد با امکان به‌روزرسانی و اشتراک منابع آن بین سازمان‌های امدادی، برای دسترسی به‌کل شبکه حمل‌ونقل شهری و بین‌شهری می‌تواند باعث مسیریابی بهینه با الگوریتم‌های هوشمند و در رأس آن‌ها الگوریتم اجتماع مورچگان گردد تا در زمان‌ها و شرایط مختلف به خصوص در مواقع بحرانی، تشخیص مناسب‌ترین مسیرها برای گروه‌های میدانی و عملیاتی سازمان‌های امدادی امکان‌پذیر گردد. چون هزینه‌هایی که به‌طور لحظه‌ای در مسیریابی توسط سیستم، مورداستفاده قرار میگیرد بر اساس اطلاعات لحظه‌ای است که از سازمان‌هایی مثل آتش‌نشانی و شهرداری در خصوص گرفتگی‌های معابر، مسیرها و ساخت‌وسازهای شهری و بین‌شهری و یا اورژانس و پلیس در خصوص ترافیک‌های احتمالی و تصادفات و... به سیستم جامع ارسال می‌شود.

استفاده از الگوریتم اجتماع مورچه‌ها در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها با کارکردهای مشابه هم ازنظر زمان رسیدن به مسیر بهینه توسط نرم‌افزار، سریع‌تر عمل می‌نماید و هم با توجه به اطلاعات لحظه‌ای، مسیر بهینه‌تری را با توجه به فاکتورهای هزینه و زمان و مسافت و غیره به‌دست می‌دهد.

به نظر می‌رسد به‌منظور سود بردن از فواید یک مرکز هوشمند و جامع مبتنی بر GIS و متلب در شهر به‌منظور ثبت آنی و لحظه‌ای داده‌ها و اطلاعات مربوط به جاده‌های شهری و بین شهری یا حتی فواصل و مسیرهای بین روستایی و انتقال آن به اکیپ‌ها و گروه‌های در حال حرکت، داشتن هماهنگی‌های لازم بین ارگان‌ها و سازمان‌های مرتبط تأثیرگذار در وضعیت جاده‌های شهری ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین برای رسیدن به این هدف از جمله اقداماتی که پیشنهاد می‌شود تا در برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت مورد توجه قرار گیرد به قرار زیر است:

- شناسایی متولیان اصلی و سازمان‌ها و ارگان‌های مرتبط با امر امدادرسانی
- شناخت محیط
- تعیین اهداف و معیارهای موردنظر
- بررسی نیازها و مسائل حمل‌ونقل
- آشنایی و ارزیابی تکنولوژی‌های مختلف با توجه به شرایط مختلف و شناخت استانداردها
- انطباق نیازها باقابلیت سیستم‌های اطلاعات مکانی هوشمند و تعیین اولویت‌های سرویس‌های کاربران با توجه به ساختار فنی، اقتصادی و اجرایی
- تعیین مسئولیت‌ها و شرح وظایف سازمان‌های مختلف با توجه به نقش و میزان بهره‌برداری آن از بانک‌های اطلاعاتی مشترک
- تعیین نحوه همکاری سازمان‌ها و اطلاعاتی که بین سازمان‌ها به اشتراک گذارده می‌شود

منابع

۱. حبیبی.، مجید. حسین کریمی. مصطفی عابدزاده. ۱۳۹۲. مدل‌سازی و حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه وابسته زمان با پنجره‌های زمانی نیمه نرم در گراف‌های چندگانه. پژوهشنامه حمل و نقل، سال دهم، شماره ۳، تهران.

۲. حسینی سمنانی، سمانه. کامران زمانی‌فر. ۱۳۸۷. استفاده از الگوریتم Ant Colony در حل مسئله مسیریابی در شبکه‌های پویا، پنجمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت فناوری اطلاعات و ارتباطات.

۳. ذوالفقاری، اکرم. زینب کرکه‌آبادی. ۱۳۹۱. مسیریابی هوشمند اکیپ‌های امدادی با استفاده از الگوریتم تئوری بازی‌ها (نمونه موردی شهر سمنان). فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال پنجم، شماره ۱، تهران.

۴. رحمانی، پریسا. مهدی دادبخش. مهدی طرقی‌حقیقت. ۱۳۸۶. توازن بار ترافیک شبکه و مسیریابی مبتنی بر مهندسی ترافیک با استفاده از کولونی مورچه‌ها. اولین کنفرانس فازی و هوش مصنوعی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۵. سپهری، محمدمهدی. ۱۳۹۲. طراحی مدل استقرار مجدد آمبولانس‌های مکان یافته. نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شماره ۲۴(۲).

۶. سلامی پور، اعظم. علی سلامی‌پور. مهدی سلامی‌پور. ۱۳۸۷. مسیریابی بهینه در شبکه‌های Ad Hoc با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه‌ها، یازدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق، دانشگاه زنجان.

۷. قیصری، کیوان. فهیمه مرشد سلوک. ۱۳۸۴. ارائه یک مدل ابتکاری مبتنی بر سیستم اجتماع مورچه‌ها برای حل مسئله زمان‌بندی حرکت قطار. پژوهش‌نامه حمل و نقل، سال دوم، شماره چهارم، تهران.

۸. مرادی، شمیم. ۱۳۸۴. الگوریتم کلونی مورچه‌ها و پیاده‌سازی یک کاربرد.

۹. مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰.

۱۰. معصومی، زهره. ابوالقاسم صادق نیارکی. محمد مسگری. ۱۳۹۰. به‌کارگیری الگوریتم کلونی مورچه چند معیاره در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و کاربر مبنا. پژوهشنامه حمل‌ونقل، سال هشتم، شماره ۱، تهران.

۱۱. مولایی، ناصر. ۱۳۸۷. مسیریابی با استفاده از جی‌ای اس با تأکید بر مقایسه روش‌های وزن دهی و تلفیق لایه‌ها با الگوریتم‌های هوشمند. دانشگاه پیام نور بناب

۱۲. یوسفی، مجید. فرهاد رحمتی. ۱۳۹۰. یک الگوریتم بهبودیافته جمعیت مورچگان برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با دریافت و تحویل همزمان کالا. پژوهشنامه حمل‌ونقل، سال هشتم، شماره ۲، تهران.

13. Dorigo, Marco, Gambardella, Lusa, 1997. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem, IEEE Transaction on Evolutionary Computation, 1:1, Milan.

14. Dorigo, Marco, Caro, Gianni Di., Gambardella, Luca, 1991 Ants Algorithms for Discrete Optimization, Artificial Life , 5: 3, Bruxelles.

15. Eksioglu, Burak, Vural, Arif. Volkan and Reisman, Arnold, 2009. The vehicle routing problem: A taxonomic review, Computers, Industrial Engineering, 57:2, Turkey.

16. Higgins, Arnold, Kozan, Eran, 1998. Modeling train delays in urban networks, Transportation Science, 32:4, Newton.

17. Malandraki, Chryssi, Daskin, Mark, 1992. Time dependent vehicle routing problems, formulations, properties, and heuristic algorithms, Transportation Science, 26: 3.

18. Shil Haoj Zhou, Judy, 2004. Ant Colony Optimization Algorithm with Random Perturbation behavior to the roblem of Optimal Unit Commitment with Probabilistic Spinning Reserve Determination, Elsevier Electric, Power Systems Research, 69 (2): 295-303.

19. Smsons, S, 2010, best routing fix it, MKA University.

20. Wang, Ying, Xie, Jianiling, 1999. Ant Colony Optimization for Multicast Routing, the 2000 IEEE Asian Pacific Conference on Circuits and Systems, IEEE Apcc as 2000, 12:1, Seul.

21. wood, Adrian, wollenberg, Bruce, 1996. Power Generation Operation and Control, 2nd Ed. John Wiley and Sons, New York, 1996.