مطالعه تطبیقی الگوریتم اجتماع مورچگان و ژنتیک در مسیریابی بهینه (مطالعه موردی: شهر پارس‌آباد و حومه)

غلامعلی خمر، استادیار، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه زابل، زابل، ایران

وحید پاسبان عیسی لو (مسئول مکاتبات)، کارشناس ارشد، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه زابل، زابل، ایران

نگاره مژگان، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه زابل، زابل، ایران

E-Mail: vahid.pasban30@gmail.com

دریافت: ۱۳۹٤/۰٤/۱۰ پذیرش:۱۳۹۵/۰۵/۰٦

چکیده

همواره در طول تاریخ، مساله امدادرسانی و سرعت عمل آن از اهمیت بسیاری برخوردار بوده است، بویژه در دوره اخیر که با پیشرفت فراوان علم پزشکی، کمینه‌سازی زمان امدادرسانی نیز ضرورتی بیش‌ازپیش یافته است. به این منظور، استفاده از هوش مصنوعی و اصطلاح الگوریتم‌های مسیریابی نوین، و بومی‌سازی آن در بخش شهری با توجه به وسعت و گستردگی شهرها می‌تواند در ساماندهی مدیریت شهری و امدادرسانی، کارآمد باشد. بنابراین هدف این تحقیق استفاده کاربردی و تطبیقی از دو نوع الگوریتم فرا ابتکاری یعنی الگوریتم اجتماع مورچه‌ها و الگوریتم ژنتیک به‌منظور مسیریابی بهینه و کمینه‌سازی مسافت طی شده است. روش تحقیق نیز توصیفی- تحلیلی و با اهداف کاربردی است، در این تحقیق مطالعه موردی بر روی بیش از ۲۹ نقطه شهری و روستایی به مرکزیت شهر پارس‌آباد در محیط متلب(MATLAB) انجام‌گرفته و در محیط GIS نمایش داده‌شده است. مدل ارائه‌شده در این مقاله، علاوه بر مسأله موردبررسی می‌تواند به‌منظور مسیریابی بهینه توزیع کالاهای اساسی به هنگام وقوع بحرآنهای طبیعی و انسانی، مسئله ترافیک و غیره نیز مورداستفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است که در الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب تصادفی همسایگی‌ها از روش انتخاب چرخ رولت استفاده‌شده است. نتایج تحقیق نشان داد که با توجه به وسعت کم منطقه موردمطالعه، زمان و کیفیت دستیابی به مسیر بهینه در الگوریتم اجتماع مورچه در مقایسه با تئوری ژنتیک بازمانی برابر با ۰/۲۳. میلی‌ثانیه سریع‌تر محاسبه شد، درحالی‌که این زمان برای الگوریتم ژنتیک برابر با۰/۲۷ میلی‌ثانیه بود. همچنین زمان رسیدن به محل حادثه توسط آمبولانس‌ها نیز با فرض حرکت ۳۰ مورچه، برای الگوریتم اجتماع مورچه‌ها و ژنتیک به ترتیب ۱۹ دقیقه و ٤٥ ثانیه و ۲۲ دقیقه و ۱۲ ثانیه محاسبه شد. در پایان نیز پیشنهادهایی به‌منظور بهبود و ارتقا هر چه بیشتر امر امدادرسانی و کمینه سازی زمان حرکت آنها ارایه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم اجتماع مورچه، الگوریتم ژنتیک، پارس‌آباد، گروه‌های امدادی، مسیریابی

۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسایل بیان‌شده درزمینه بهینه یابی هزینه‌های حمل‌ونقل " *مسأله* مسیریابی وسیله نقلیه" است . مسأله مسیریابی وسیله حمل‌ونقل در سال‌های اخیر مسئله‌ای جذاب برای محققان بوده است. رشد روزافزون مقالات ارایه‌شده در این زمینه این موضوع را تأیید می‌کند. [کسایگلو ، ورال و سیزمن، ۲۰۰۹]. اشکال متنوعی از *مسأله* مسیریابی وسیله نقلیه یا VRPوجود دارد که این نوع مسایل عموماً از انواع مسایل تک هدفه هستند [مسعودی، ۱۳۹۳] . غالب مقالات موردبررسی درزمینه مسیریابی تا دهه اخیر را مسایل مسیریابی وسیله نقلیه ایستا تشکیل می‌دهد. در این مسایل پارامترهای مسأله ازجمله زمان لازم جهت طی مسیرها در طول دوره‌های زمانی (اعم از روز، ماه، فصل و سال) ثابت فرض می‌شود. هرچند این شکل از طراحی *مسأله* می‌تواند تخمین مناسبی برای مسایل واقعی باشد، اما برای برخی از کاربری‌ها که نیاز به نتایج دقیق‌تر دارند، چندان قابل‌قبول نیستند [سامسنز، ۲۰۱۰]. در این شرایط نوع دیگری از مسایل مسیریابی، " مسأله مسیریابی وسیله حمل‌ونقل پویا" معرفی گردید. این مسایل برخی از مشکلات نتایج حاصل از مسایل ایستا را برطرف می‌نماید.

سرعت عمل گروه‌های امدادی و در رأس آنها آمبولانس‌های برون‌شهری نقش بسیار مهمی در کارآیی آنها در حین حوادث غیرمترقبه دارد. در این راستا مسیریابی بهینه این گروه‌ها به‌منظور پوشش بیشینه مراکز جمعیتی ضروری به نظر می‌رسد. به این 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 و روستاهای کشور، می‌تواند در ساماندهی مدیریت شهری و امدادرسانی کارآمد باشد.

کاربرد زیاد مسیریابی بهینه وسایط نقلیه در شرایط واقعی و مواجه با مسایل با ابعاد بزرگ از یک طرف و مشکل بودن مسأله از طرف دیگر باعث شده است تا رویکردهای ابتکاری و فرا ابتکاری برای مسئله موردتوجه قرار گیرد.[توکلی مقدم، ۱۳۹۳. مسأله مسیریابی مبتنی بر الگوریتم فرا ابتکاری مورچگان یا ACO[1] یکی از انواع مسایل مسیریابی وسیله نقلیه پویاست [اسلام پور و همکاران،۱۳۷۸] 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. هدف اصلی در این مسأله کمینه‌سازی کل زمان سفر و هزینه‌های ناشی از آن است، با این شرط که زمان سفر بین روستاها و بخش‌های تابعه و شهر مرکزی و به‌تبع آن هزینه‌های سفر، وابسته به زمانی است که سفر طی آن انجام می‌شود [مالاندراکی و داسکین، ۱۹۹۲]. 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.

محیط‌های شهری و بین‌شهری دارای پیچیدگی‌های ساختاری گسترده‌ای هستند. این پیچیدگی‌ها سبب شده است که امکان دسترسی به نقاط مختلف از طریق بیش از یک مسیر (یال) وجود داشته باشد. در شبکه‌های راه‌های برون‌شهری، اغلب حجم ترافیک آن قدر زیاد نیست که زمان سفر واقعی کمتر از زمان سفر آزاد باشد، اما به‌ویژه در جاده‌های دو خطه تأثیر وسایل نقلیه بر یکدیگر باعث ایجاد تأخیر در حرکت می‌شود[امینی، ۱۳۹۱]. در چنین شرایطی، مقررات ترافیکی برای مسیرها ازجمله تعیین حداکثر سرعت مجاز و محدودیت‌های ترافیکی وسایل حمل‌ونقل، در انتخاب مسیر برای ادامه سفر وسایل نقلیه تأثیرگذار است [کوزان و هیگنز، ۱۹۹۸]. انتخاب مسیر مناسب، برای حرکت آمبولانس‌های بین‌شهری و نیز ماشین‌های امداد و نجات حلال احمر می‌تواند بسیار مهم باشد، به‌ویژه آن‌که منطقه موردمطالعه این تحقیق به دلیل برخورداری از موقعیت جغرافیایی

خاص آن، دارای سکونت‌گاه‌هایی با پراکندگی نامنظم و شبکه راه‌های تو در تو و چندگانه است در نتیجه ضرورت انتخاب بهینه‌ترین مسیر جهت رسیدن به‌موقع به محل حادثه و نجات جان یک انسان را بیش‌ازپیش می‌سازد.

در این تحقیق سعی شده است مسئله مسیریابی آمبولانس‌های بین‌شهری وابسته به زمان در گراف‌های چندگانه با در نظر گرفتن ریتم حرکتی مورچه‌ها مدل‌سازی شود. ساختار مقاله نیز بر این اساس طراحی‌شده است که در بخش اول مروری بر ادبیات موضوع ACO و GA داشته‌ایم. در ادامه در بخش دوم الگوریتم‌های مورداستفاده در تحقیق تشریح گردیده و با استفاده از موقعیت دقیق هرکدام از نقاط مدل‌سازی شده است. در پایان نیز نتایج به‌دست‌آمده از این مقاله به‌تفصیل بیان‌شده و پیشنهادتی برای مطالعات آتی ارائه می‌گردد.

۱-۱ بیان مسأله

یکی از مهم‌ترین مسایلی که در حوزه بهداشت و درمان مطرح شود، سرعت عمل و نحوه امدادرسانی آمبولانس‌های بین‌شهری به‌منظور پوشش حداکثری مناطق و خدمت‌دهی مطلوب به بیماران در شرایط اضطراری است. هدف از خدمات 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 مسأله پیچیده روبرو هستند که به‌منظور پاسخ‌دهی سریع و بهینه به تماس‌های درخواست خدمات فوریت‌های پزشکی، آمبولانس‌ها باید در چه مسیرهایی حرکت کنند. این مسأله، با افزایش تعداد تماس‌های اضطراری، ایجاد ترافیک‌های سنگین جاده‌ای ، و افزایش هزینه‌های عملیاتی، پیچیده‌تر خواهد شد [سپهری و همکاران، ۱۳۹۲]. راهبردهای مرتبط با مسیریابی بهینه و کمینه‌سازی مسافت طی شده توسط آمبولانس، یکی از رویکردهایی است که می‌تواند به‌طور چشمگیری از این فشارها کاسته و سطح معیارهای عملکردی را بهبود بخشد.

این نوع مسایل مسیریابی به راهبردهایی اشاره دارد که تحت آن، آمبولانس‌های در دسترس، ضمن تضمین سرعت عمل بالا، پوشش مورد نیاز را برای مناطقی که به دلیل اعزام یک با چند آمبولانس، از کمبود امکانات اورژانسی و امدادی رنج می‌برند، تأمین می‌کند.

شهر پارس‌آباد، روستاها و بخش‌های اطراف آن نیز از این قاعده مستثنی نیست. این منطقه از سویی به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص، و خاک‌های حاصلخیز آن که باعث شکل‌گیری و گسترش پراکنده سکونت‌گاه‌های آن با مسیرها و ورودی-خروجی‌های چندگانه شده است، و از سوی دیگر به دلیل نامطلوب بودن بعضی از جاده‌های آن و همچنین نزدیکی این شهرستان به گسل‌های منطقه (طرح جامع پارس‌آباد، ۱۳۸۵) ضرورت به‌کارگیری برنامه‌هایی مدون و یکپارچه، تشکیل پایگاه داده‌های مکانی مستقل و لزوم به‌کارگیری الگوریتم‌های فرا ابتکاری در امر مسیریابی را بیش‌ازپیش حائز اهمیت می‌کند.

۱-۲ پیشینه تحقیق

درزمینه پیدا کردن بهترین مسیر برای شبکه‌های حمل‌ونقل که زمان و مسافت در آن نقش اساسی داشته باشد، کارهای بسیاری انجام‌شده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ماچوفسکی در سال (۱۹۹۹) در مقاله‌ای تحت عنوان [GIS و سیستم‌های چند معیار] به بررسی نقش سیستم‌های سلسله مراتبی در مسیریابی بهینه با کمک GIS پرداخته است. استنز در سال (۲۰۰۵) در مقاله‌ای تحت عنوان [برنامه‌ریزی مسیر بهینه و کارا برای محیط‌های ناشناخته] به درک هدایت و مسیریابی با استفاده از الگوریتم D* پرداخته است و منتج به شناخت مسیر در محیط‌های ناشناخته شده است. توزکایا در سال (۲۰۰۸) در مقاله‌ای تحت عنوان [تحلیل فازی و مدل‌سازی هوش مصنوعی برای رسیدن به بهترین مسیر حمل‌ونقل ترکیه و آلمان] با توجه به حجم تبادلات ترانزیتی ترکیه و آلمان ، سعی در بهینه‌سازی مسیر جهت کوتاه کردن زمان و مسافت برای جلوگیری از

تصادفات ناشی از خستگی رانندگان شده است. مولایی در سال (۱۳۸۷) در مقاله‌ای تحت عنوان [مسیریابی با استفاده از GIS با تأکید بر مقایسه روش‌های وزن دهی و تلفیق لایه‌ها با الگوریتم‌های هوشمند] با استفاده از ابزار مناسب تلفیق پارامترهای مکانی و وزن دهی آنها به تعیین گرافیکی مسیر بهینه پرداخته است و آن را با مسیر شناسایی‌شده توسط A* مقایسه کرده است. حسین‌علی در مقاله‌ای تحت عنوان [واکاوی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیار (ANP) در مسیریابی بهینه با استفاده از عوامل هوشمند سیستم‌های اطلاعاتی] که با استفاده از قابلیت‌های ANP و تلفیق با سیستم اطلاعات مکانی، بهترین مسیر برای یک رخداد غیرمترقبه را شناسایی کرده است.

لازم به ذکر است که در این تحقیق برای اولین بار به‌صورت کاملاً کاربردی و با تکیه بر مختصات جغرافیایی اقدام به مقایسه دو الگوریتم بسیار کاربردی (ACO و GA) در زمینه مسیریابی کرده‌ایم.

۱-۳ منطقه موردمطالعه

شهرستان پارس‌آباد (شامل چهار شهر پارس‌آباد، اصلاندوز، اسلام آلاد و تازه کند و روستاهای تابعه آن) جمعاً شامل ۲۹ نقطه، در شمال استان اردبیل با مساحتی حدود ۱۳۹۵ کیلومترمربع و جمعیتی برابر ۱۷۳۱۸۲ نفر و ٤٤٠٦٥ خانوار بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ است. مرکز این شهرستان بین دو عرض جغرافیایی ´۳۹۰،۲۰ تا ´٤۰۰،۳۹ و طول جغرافیایی ´٤۷۰،٤۷ تا ´٤۷۰،۵۷ قرارگرفته است. شکل شماره (۱) منطقه موردمطالعه را به‌صورت گره‌ها و یال‌های منتهی به آن را نشان می‌دهد.

۱-٤ روش پژوهش

پژوهش حاضر، در گام اول پژوهشی توصیفی- تحلیلی است، بدین شکل که ابتدا اقدام به تهیه و توصیف برنامه زمان‌بندی حرکت آمبولانس‌های بین‌شهری به‌سوی مقصد و بازگشت دوباره به نقطه اولیه یعنی مبدأ (در اینجا اورژانس مرکزی شهر پارس‌آباد) پرداخته شده است، و در گام دوم با استفاده از نقشه منطقه و مسیرهای آن به مشخص‌سازی نقاط موردمطالعه و ترسیم یال‌ها یا مسیرهای منتهی به هرکدام پرداخته‌شده، بدین‌صورت که از سیستم مختصات جغرافیایی هرکدام از گره‌ها و مسیرهای منتهی به آنها بجای بعد مسافت استفاده کرده‌ایم و با واردکردن اطلاعات مربوطه در محیط متلب و کد نویسی‌های مرتبط با الگوریتم کلونی مورچه‌ها اقدام به کمینه‌سازی مسافت نموده و بهینه‌ترین مسیر انتخاب گردیده و در نهایت در محیط Arc GIS به معرفی مسیرهای پیشنهادی الگوریتم اقدام شده است.

شکل۱. تصویر ماهواره‌ای از شهر پارس‌آباد و توابع آن

۲. معرفی الگوریتم‌های مورداستفاده

۲-۱ الگوریتم اجتماع مورچه‌ها (ACO)

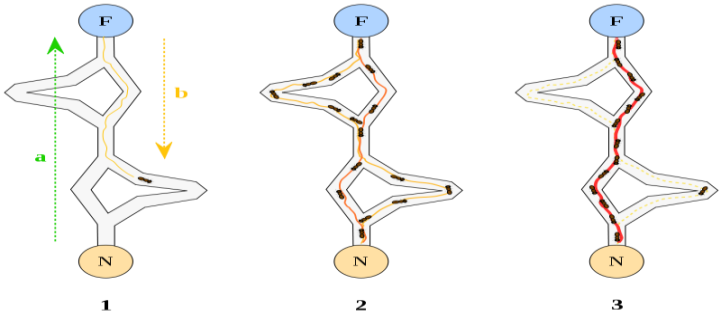
۲-۱-۱ تاریخچه

روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان برگرفته از حرکت واقعی مورچه‌ها در طبیعت است که در پایان‌نامه دکترای مارکو دوریگو[۲] در سال ۱۹۹۲ تحت عنوان سیستم مورچگان[۳] برای اولین بار معرفی شد. این روش نتیجه‌ی یک تحقیقی بود که مارکو دوریگو با همکاری آلبرتو کلونری[٤] و ویتاریو مانیزو[٥] برای حل مسأله فروشنده دوره‌گرد[٦] و دیگر مسایل بهینه‌سازی انجام داد. از سال ۱۹۹۵ دوریگو و گامباردلا[۷] و استوتزل[۸] با کمک یکدیگر روی نسخه‌های تعمیم داده‌شده‌ی دیگری از سیستم مورچگان کارکردند. درنهایت کتاب اخیر دوریگو و استوتزل در سال ۲۰۰۵ تحت عنوان بهینه‌سازی کلونی مورچگان به چاپ رسید که به بررسی بسیاری از کاربردهای موفق این روش پرداخته است. در حقیقت روش اجتماع مورچگان توسط دوریگو و همکارانش برای حل مسایل بهینه‌سازی ارایه‌شده است. [مرادی،۱۳۸۹]

۲-۱-۲ مورچه‌ها

الگوریتم کلونی مورچه‌ها اولین بار توسط Marco Dorigo به‌عنوان تز دکتری مطرح شد [حسینی و همکاران، ۱۳۸۷]، 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. 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 موردتوجه دانشمندان قرارگرفته است. [رحمانی و همکاران،۱۳۸۵]. 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 ردهایی پس از باران به رنگ سفید درمی‌آیند و قابل‌رؤیت‌اند. مورچه‌های دیگر وقتی این مسیر را می‌یابند، گاه پرسه زدن را رها کرده و آن را دنبال می‌کنند [قیصری و مرشد سلوک،۱۳۸٤] 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 به‌مرور زمان تبخیر می‌شود که از سه جهت مفید است:

- باعث می‌شود مسیر جذابیت کمتری برای مورچه‌های بعدی داشته باشد. ازآنجاکه 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 آن‌که دورتر است کمتر.
- اگر فرومون اصلاً تبخیر نمی‌شد، مسیرهایی که چند بار طی می‌شدند، چنان بیش‌ازحد جذاب می‌شدند که جستجوی تصادفی برای غذا را بسیار محدود می‌کردند.
- وقتی غذای انتهای یک مسیر جذاب تمام می‌شد ردی باقی می‌ماند [مالچفسکی، ۲۰۰٤].



شکل ۲. مسیرهای چندگانه قابل انتخاب برای حرکت مورچه‌ها

۲-۱-۳ 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 شماره (۱) به دست می‌آید.

$$P_{ij}^{k}(t) = \frac{[\tau_{ij}]^{a} * [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{j \epsilon N_i^k}[\tau_{ij}]^{a} * [\eta_{ij}]^{\beta}} \qquad if\ j \epsilon N_i^k \qquad (1)$$

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 است. 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. [شلهنگ ، ۱۳۸۵ و وانگ، ۱۳۸۹]. پارامترهای α و β به این 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[کلارک، ۱۳۸۵[1994]. شکل شماره (۳) تعاریف ریاضی مربوط به الگوریتم مورچه‌ها برای بیان مباحث تئوریک آن را نشان می‌دهد.

۲-۱-۴ ماتریس فرومون

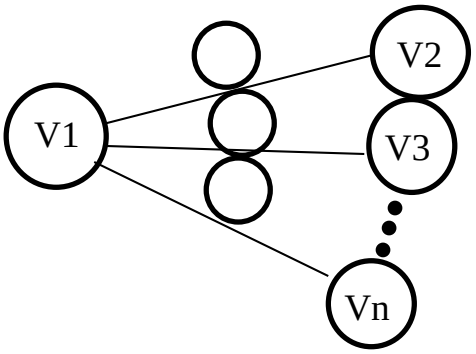
برای انجام الگوریتم اجتماع مورچگان نیازمند یک حافظه مشترک هستیم. این حافظه مشترک با ایجاد یک ماتریس فرومون حاصل می‌شود. برای هر مسیری که مورچه می‌تواند انتخاب کند، مقداری فرومون اولیه در نظر گرفته می‌شود و با انتخاب آن مسیر مقداری فرومون به فرومون موجود افزوده می‌شود. [دوریگو، ۱۹۹۹]

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

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 کمآنهایی 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 . [دوریگو، ۱۹۹۷]

۲-۱-۵ 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 [سامسانگ، ۲۰۱۰]



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

شکل ۳. شکل شماتیک و تعاریف ریاضی حرکت مورچه‌ها از نقطه مبدأ به نقاط مقصد

۲-۱-۵-۱ چگالی فرومون مسیرها

چنانچه چگالی فرومون در مسیرهایی از حد نصاب 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.

۲-۱-۵-۲ دفعات گذر از مسیرها

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. باید توجه داشت که اگر هیچ‌کدام از شروط فوق برآورده نگردد الگوریتم همگرا نمی‌شود. برای پیشگیری از این مسأله 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 [افشار، ۲۰۰۱]. باید توجه داشت که اگر هیچ‌کدام از شروط فوق برآورده نگردد الگوریتم همگرا نمی‌شود. برای پیشگیری از این مسأله باید در الگوریتم قیودی را قرارداد تا در صورت واگرا شدن، ضمن اعلام آن، الگوریتم متوقف گردد.

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

۲-۱-۶ کاربردهای الگوریتم مورچه‌ها

مسأله فروشنده دوره‌گرد (TSP)

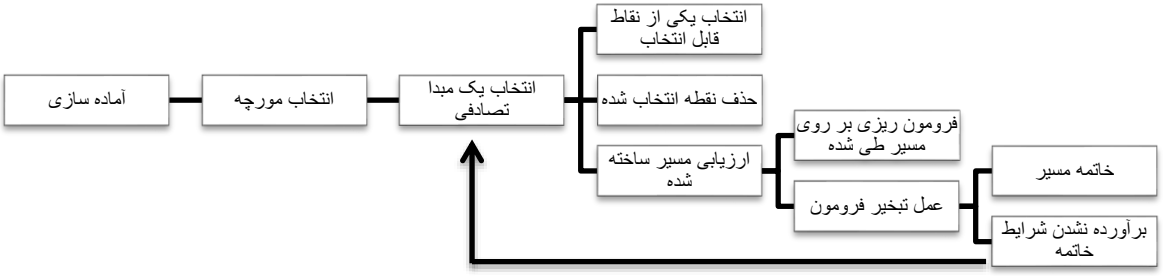
مسأله تخصیص منابع (به‌خصوص مسئله تخصیص درجه‌دو)

انواع مسأله بهینه‌سازی ترکیب و ترتیب

انواع مسأله بهینه‌سازی گسسته

۲-۱-۷ 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 زیر می‌آید.



شکل ٤. مراحل مختلف پیاده‌سازی الگوریتم اجتماع مورچه‌ها

منبع: نگارنده، سال ١٣٩٤

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

معنی	توضیح	کد
ورود داده‌ها	-	data=InsertData();
تعداد متغیرها (که در این مسأله 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

۸-۱-۲ انتخاب چرخ رولت

انتخاب چرخ رولت که اولین بار توسط هالند پیشنهاد شد، یکی از مناسب‌ترین انتخاب‌های تصادفی بوده که ایده آن، احتمال انتخاب است. احتمال انتخاب متناظر با هر کروموزوم، بر اساس برازندگی آن محاسبه‌شده که اگر f_k مقدار برازندگی کروموزوم k باشد، احتمال بقای متناظر با آن کروموزوم عبارت است از [عباسی کیا، ۱۳۹۰]:

$$P_k = P_k / \sum_{i=1}^{n} f_i$$

چرخ رولت به این صورت عمل می‌کند که برای انتخاب هر کروموزوم یک عدد تصادفی بین یک و صفر تولید کرده و عدد مذکور در هر بازه‌ای که قرار گرفت، کروموزوم متناظر با آن انتخاب می‌شود. البته روش پیاده کردن چرخ رولت به این صورت است که ما یک دایره در نظر گرفته و آن را به تعداد کروموزوم‌ها طوری تقسیم می‌کنیم که هر بخش متناظر با مقدار برازندگی کروموزوم مربوط باشد. حال چرخ را چرخانده و هر کجا که چرخ متوقف شد به شاخص چرخ نگاه کرده، کروموزوم مربوط به آن بخش انتخاب می‌گردد.

اصولاً در الگوریتم کلونی مورچه‌ها نیز برای حرکت از نقطه‌ای به نقطه دیگر باحالت‌های مختلفی روبرو هستیم بدین‌صورت که مثلاً برای حرکت از گره i به گره j مسیرهای چندگانه‌ای در پیشرو داریم که اقدام به انتخاب تصادفی از بین آنها می‌کنیم. در این پژوهش به دلیل توزیع گسسته احتمالات و همچنین نزدیکی زیاد روش انتخاب تصادفی چرخ رولت ویل به هوش محاسباتی (که پایه و اساس الگوریتم‌های فرا ابتکاری را تشکیل می‌دهد) از این نوع توابع استفاده می‌شود چتوزکایا، ۱۳۸۹]. قاعده کلی این نوع توابع به شکل فرمول شماره(٤) است.

$$P_R = \{j = j_0\} = P_{ij0}^{k}$$

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

۲-۲ الگوریتم ژنتیک

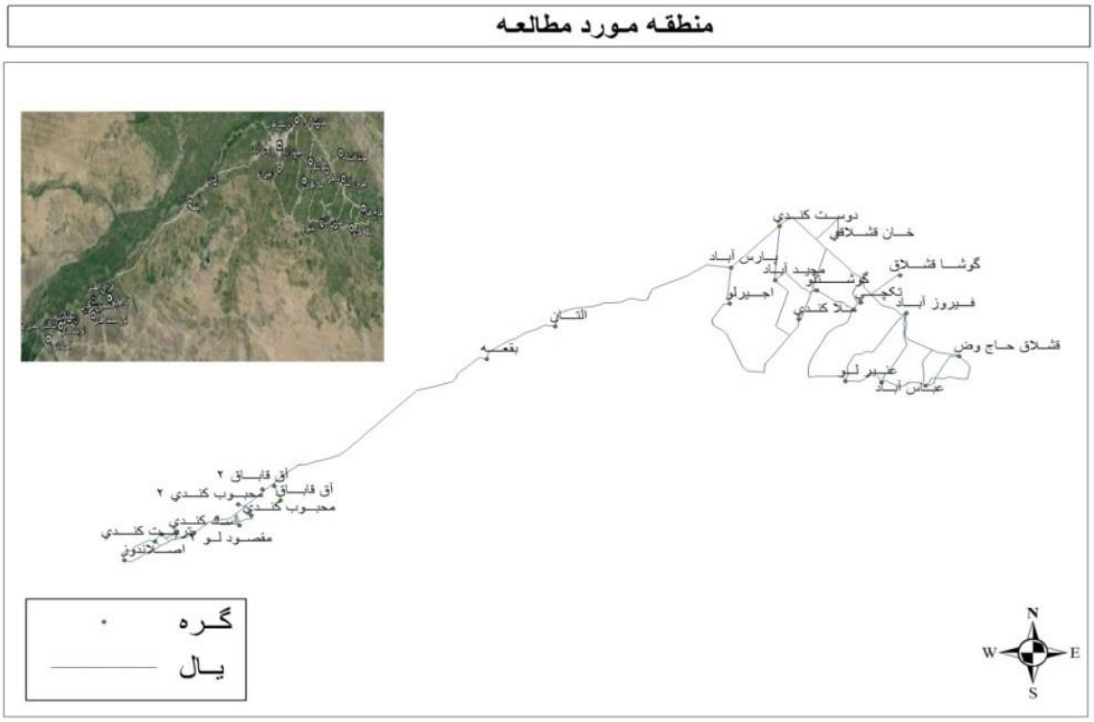
الگوریتم ژنتیک به‌عنوان یک الگوریتم محاسباتی بهینه‌سازی، با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از نقاط فضای جواب در هر تکرار محاسباتی، به نحو مؤثری نواحی مختلف فضای جواب را جست و جو می‌کند. در مکانیزم جست و جو گرچه مقدار تابع هدف تمام فضای جواب محاسبه نمی‌شود ولی مقدار محاسبه‌شده تابع هدف برای هر نقطه، در متوسط گیری آماری تابع هدف برای هر نقطه، در متوسط گیری آماری تابع هدف در کلیه زیر فضاهایی که آن نقطه بدان‌ها واسطه بوده، دخالت داده می‌شود و این زیر فضاها به‌طور موازی از نظر تابع هدف متوسط گیری آماری می‌شوند. این مکانیزم را توازن ضمنی می‌گویند. این روند باعث می‌شود که جست‌وجوی فضا به نواحی از آن که متوسط آماری تابع هدف در آن‌ها زیاد بوده و امکان وجود نقطه بهینه مطلق در

آنها بیشتر است، سوق پیدا کند. چون در این روش بر خلاف روش‌های تک مسیری، فضای جواب به‌طور همه‌جانبه جست و جو می‌شود، امکان کمتری برای همگرایی به یک نقطه بهینه محلی وجود خواهد داشت. امتیاز دیگر این الگوریتم آن است که هیچ محدودیتی برای تابع بهینه شونده، مثل مشتق‌پذیری یا پیوستگی لازم ندارد و روند جست و جو خود تنها به تعیین مقدار تابع هدف در نقاط مختلف نیاز دارد و هیچ اطلاعات کمکی دیگری، مثل مشتق تابع را استفاده نمی‌کند. لذا می‌توان در مسایل مختلف اعم از خطی، پیوسته یا گسسته استفاده می‌شود و به سهولت با مسایل مختلف قابل تطبیق است[عباسی کیا، ۱۳۹۰] .

در این روش، شبکه معابر شهری و بین‌شهری به‌عنوان یک شبکه جهت‌دار برای اجرای الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته‌شده و نمایش داده می‌شود. در این شبکه، گره‌ها به‌عنوان تقاطع‌ها، و یال‌های بین گره‌ها به‌عنوان مسیر در نظر گرفته می‌شوند. تمامی یال‌ها و گره‌های موجود در ناحیه موردمطالعه، شناسایی می‌شوند و درواقع از مدل گره- یال نرم‌افزاری مثل ARC GIS برای بیان ارتباطات مکانی و فضایی شبکه معابر استفاده خواهد شد. برای مشخص کردن میزان نزدیکی جواب‌ها به جواب بهینه، از فاکتور برازش استفاده می‌شود که مقدار تابع هدف برای هر یک از کروموزوم‌های الگوریتم ژنتیک را محاسبه و ارزیابی می‌کند. هرچقدر این مقدار برای یک کروموزوم بیشتر باشد آن مسیر از هزینه کمتری برخوردار بوده و برای انتخاب مناسب‌تر است [مولایی، ۳۸۷۱].

۳. حل مسأله مسیریابی بهینه آمبولانس‌های بین‌شهری

تعریف مسأله 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 شماره (۵) شبکه‌ای از گره‌ها و یال‌هایی که از منطقه موردمطالعه استخراج‌شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۵. نقاط ۲۹ گانه موردبررسی و مسیرهای مرتبط کننده

جدول ۲. مختصات جغرافیایی نقاط ۲۹ گانه موردبررسی و یال‌های متصل‌کننده نقاط

شماره	گره	طول جغرافیایی			عرض جغرافیایی			دارای یال مشترک با شماره
		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	قشلاق‌حاجوض	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 کندی	۵۲	۳۰	۴۷	۱۸	۲۸	۳۹	۱۷- ۲۱- ۲۲- ۲۳
۲۱	محبوب کند ۲	۵۹	۳۴	۴۷	۳۲	۲۸	۳۹	۱۷- ۲۰- ۲۲- ۲۳
۲۲	نور محمدکندی	۱۶	۲۹	۴۷	۵۱	۲۸	۳۹	۲۰- ۲۱- ۲۳
۲۳	مقصود کندی	۴۱	۲۷	۴۷	۱۷	۲۷	۳۹	۲۰- ۲۱- ۲۲-
۲۴	مقصود کندی۲	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

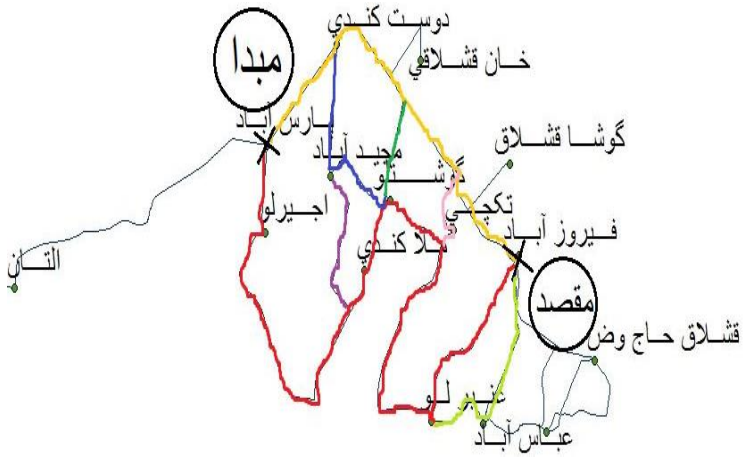
شکل شماره (۶) و جدول شماره (۲) موقعیت سکونتگاه‌های منطقه موردمطالعه و شبکه‌بندی جاده‌های دسترسی به آن نقاط را تحت عنوان گره و یال نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول بالا مشهود است در بسیاری از نقاط موردبررسی امکان حرکت از نقطه‌ای به نقطه دیگر از طریق مسیرهای دوگانه و حتی چندگانه امکان‌پذیر است که همین مسئله نقطه قوت و کاربرد

بهینه الگوریتم کلونی مورچگان است.

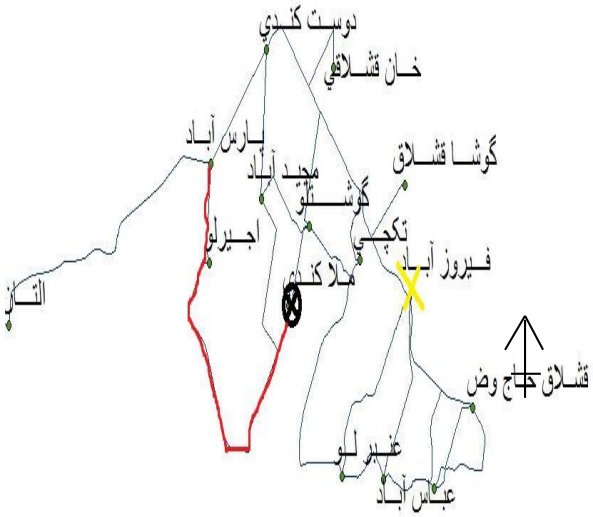
شکل شماره (٦) مسیرهای چندگانه برای حرکت از نقطه مبدأ به مقصد را نشان می‌دهد.

۳-۱ مسیریابی تجربی

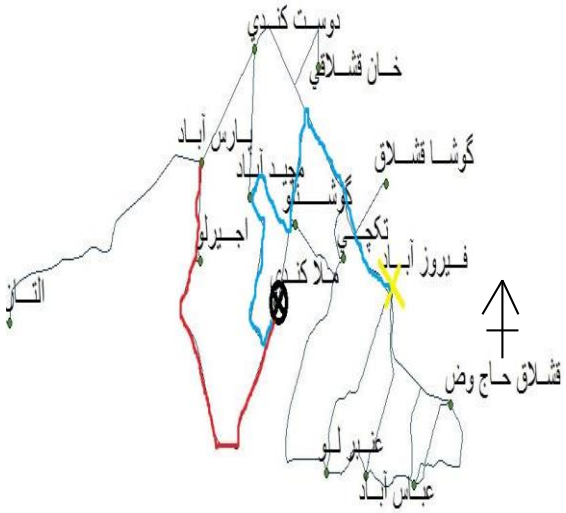
همان‌طور که در شکل شماره (۷) مشاهده می‌شود، اعزام آمبولانس از مبدأ به‌صورت سنتی توسط مرکز کنترل به‌وسیله ارتباط رادیویی (بی‌سیم) انجام می‌گیرد. سرنشینان گروه بر اساس شناخت خود از مسیرها و یا برحسب‌تصادف، به سمت محل حادثه حرکت کرده، ولی در حین حرکت خود و در هنگام رسیدن به مسیرهای سه‌راهی و یا حتی گاهی چهارراهی و یا امکان وجود مانع در مسیر 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 مسأله علاوه برافزایش هزینه سفر باعث دیر رسیدن گروه‌های امدادی به محل حادثه و درنتیجه به خطر افتادن جان مصدومان می‌شود. در نقشه‌های شماره (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 که طبیعتاً این خود نیز باعث اتلاف زمان و انرژی می‌شود.



شکل ٦. وجود مسیرهای چندگانه جهت حرکت از نقطه مبدأ به مقصد



شکل ۷. مسیریابی بهروش تجربی (پارس‌آباد- فیروزآباد) و برخورد با مانع و تغییر مسیر



شکل ۸. مسیریابی به روش تجربی (پارس‌آباد- فیروزآباد)، تغییر مسیر در هنگام برخورد به مانع

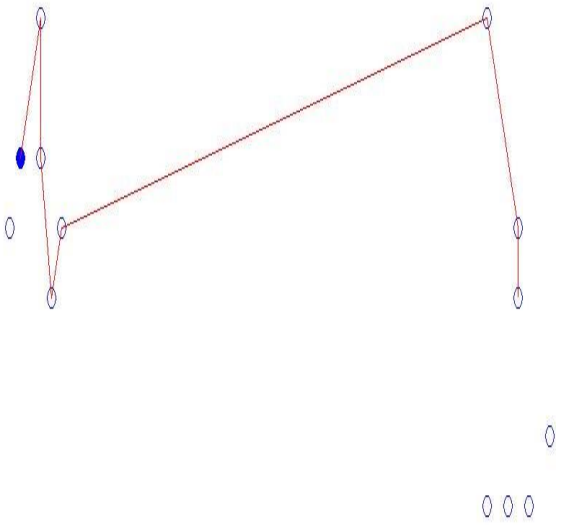
۳-۲ حل مسئله مسیریابی بهینه آمبولانس‌های بین‌شهری به روش ACO

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 خدمات بهداشتی و درمانی ارضا شود [وود و ولنبرگ، ۱۹۹۶].

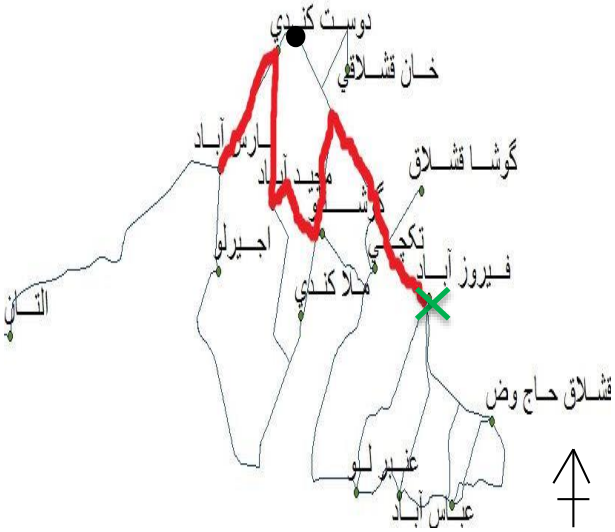
در شکل شماره (۱۰) امر مسیریابی به نرم‌افزار سپرده می‌شود. نرم‌افزار بر اساس داده‌های لحظه‌ای و منطبق با الگوریتم اعمالی به آن، مسیر بهینه را به‌سرعت یافته و برای سرنشین گروه امدادی نمایش می دهد. در این حالت به علت عدم برخورد به مانع و عدم‌تغییر مسیر، از هزینه مسیر کم شده و در زمان قابل قبولی به محل حادثه خواهد رسید.

شکل‌های شماره 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، ٦، ٤ ، ۸ و در نهایت گره مقصد یعنی ۹ است. 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، خان قشلاقی و گوشاقشلاق درنهایت بین ۱۹ الی ۲۰ دقیقه به مقصد تعریف‌شده یعنی فیروزآباد رسیده و دوباره از این مسیر بازمی‌گردد.

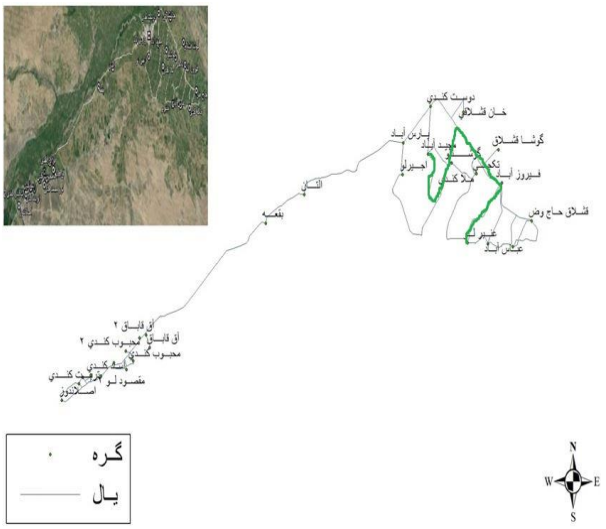
لازم به ذکر است که در الگوریتم طراحی‌شده ACO ، تبادل مسیر علاوه بر ارتباط دادن شهر مرکزی با شهرها و روستاهای تابعه، مابین تک‌تک شهرها و روستاهای دیگر نیز می‌تواند صورت بگیرد. شکل شماره (۱۱) مسیر پیشنهادی شبکه برای عنبرلی- مجیدآباد و شکل شماره (۱۲) مسیر پیشنهادی شبکه برای حرکت از آق قاباق به‌سوی عباس‌آباد را نشان می‌دهد.



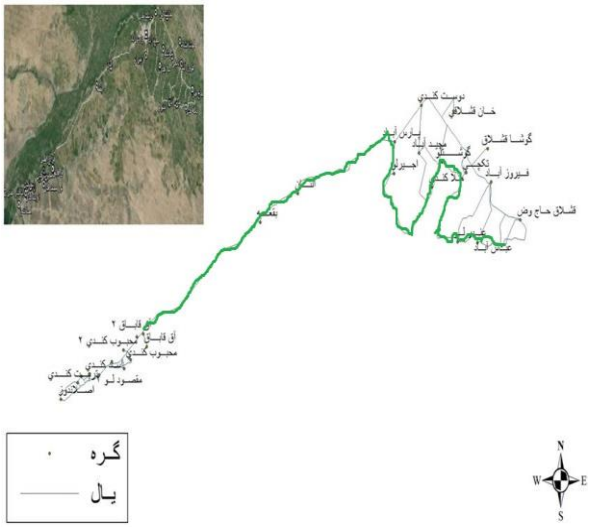
شکل ۹. مسیر پیشنهادی برنامه متلب با الگوریتم ACO برای مسیر پارس‌آباد – فیروزآباد



شکل ۱۰. مسیریابی بهینه پیشنهادی با ACO با توجه به وجود مانع در مسیر پارس‌آباد- دوست کندی (پارس‌آباد- فیروزآباد)



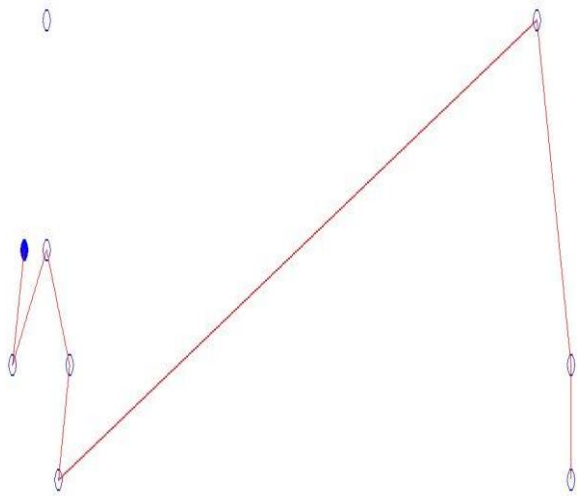
شکل ۱۱. مسیر پیشنهادی عنبرلی به مجیدآباد با استفاده از الگوریتم ACO (۱،۳،۹،۸،٤،٦،۱۳)



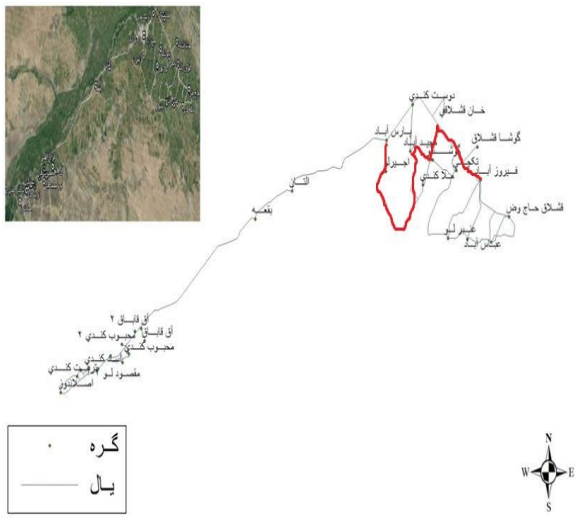
شکل ۱۲. مسیر پیشنهادی آق قاباق به عباس‌آباد با استفاده از الگوریتم ACO (۱۸،۱۷،۱٦،۱۵،۱،۱٤،٦،۵،۱۳،۱۲)

۳-۳ حل مسئله مسیریابی بهینه آمبولانس‌های بین‌شهری به روش الگوریتم ژنتیک

شکل شماره (۱۳) مسیر پیشنهادی زبان برنامه‌نویسی متلب بر پایه الگوریتم ژنتیک برای حرکت از نقطه مبدأ (شهر پارس‌آباد) به‌طرف محل حادثه (روستای فیروزآباد) را باوجود مسیرهای چندگانه نشان می‌دهد که با توجه به محاسبات نرم‌افزار در عرض ۲۱ تا ۲٤ دقیقه به محل حادثه می‌رسد. شکل شماره (۱٤) نیز پیاده‌سازی شماتیک این مسیر را در محیط GIS به تصویر کشیده است.



شکل ۱۳. مسیر پیشنهادی الگوریتم ژنتیک (پارس‌آباد- فیروزآباد) در محیط متلب



شکل ۱٤. مسیر پیشنهادی الگوریتم ژنتیک (پارس‌آباد- فیروزآباد)

٤. نتیجه‌گیری

در این تحقیق باهدف کمینه‌سازی زمان و با فرض نقاط مبدأ و مقصد مشترک برای مقایسه سطح و کیفیت بهینه‌سازی دو الگوریتم ACO و ژنتیک، نسبت به مسیریابی اقدام شد و هر یک از دو الگوریتم با توجه به ساختار خود، مسیری را از مبدأ به محل حادثه برای اکیپ امدادی نمایش دادند.

همان‌طور که در شکل شماره (١٤) مشاهده شد، الگوریتم ژنتیک با مشخص کردن میزان نزدیکی جواب‌ها به جواب بهینه، با استفاده از فاکتور برازش، مسیر بهینه را محاسبه و ارزیابی می‌کند هرچقدر این مقدار برای یک کروموزوم بیشتر باشد آن مسیر از هزینه کمتری برخوردار بوده و برای انتخاب مناسب‌تر است ولی با توجه به اینکه این الگوریتم برای شهرهای بزرگ با گستردگی معابر و جاده‌های وسیع، مناسب است، مسیر پیشنهادی نرم‌افزار، به لحاظ صرف هزینه انجام‌شده برای رسیدن به مقصد مناسب نیست زیرا در مقایسه با الگوریتم کلونی مورچه‌ها، مسیر طولانی‌تری را انتخاب می‌کند که عملاً حتی در مقایسه با حالت تجربی و سنتی نیز قابل‌قبول نیست [ذوالفقاری و کرکه آبادی، ١٣٩١] و هزینه زمانی آن (٢٤ دقیقه) حداقل پنج دقیقه بیش از زمان به‌دست‌آمده با استفاده از الگوریتم اجتماع مورچه‌ها است. علاوه بر آن، مشکل دیگری که کاربرد مطلوب الگوریتم ژنتیک را در امر مسیریابی محدود می‌نماید این است که اگر یک ژنوم که فاصله‌اش با سایر ژنوم های نسل اش زیاد باشد (خیلی بهتر از بقیه باشد) و خیلی زود دیده شود (ایجاد شود) ممکن است محدودیت ایجاد کند و راه حل را به‌سوی جواب بهینه محلی سوق داده و در نتیجه نیازمند بازه زمانی بیشتری برای رسیدن به حالت مطلوب باشد. لازم به ذکر است که این اتفاق معمولاً در جمعیت‌های کم (شهرها و مناطق کوچک) اتفاق می‌افتد.

در مقابل الگوریتم کلونی مورچگان به دلیل ویژگی‌هایی چون به‌روزرسانی محلی و سرتاسری فرومون و شروط هم گرایی و توجه به اصل بهینگی با صرف وقت کافی قادر به یافتن جواب بهینه سرتاسری مسئله است، که قابلیت و برتری آن در این تحقیق با تعریف ٣٠ مورچه و مقدار فرومون های مربوط به آنها و در مجموع برای ٢٩ نقطه شهری و روستایی بازمانی برابر با ١٩ تا ٢٠ دقیقه اثبات شد.

٥. پیشنهادها

مسلماً 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 حایز 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 می‌تواند باعث مسیریابی بهینه با الگوریتم‌های هوشمند گردد تا مخصوصاً در مواقع بحرانی، مسیریابی مناسبی 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 ارسال می‌شود و استفاده از الگوریتم اجتماع مورچه‌ها در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها 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 به دست می‌دهد.

٦. پی نوشتها

1- Ant Colony Optimization
2- Marco Dorigo
3- Ant System
4- Alberto Colorni
5- Vittorio Maniezzo

[6]- Traveling Sales Person= TSP
7- Rolette wheel Selection

۷. مراجع

- امینی، بهنام و اسرافیلی، حنا (۱۳۹۱) "بسط توابع زمان سفر- حجم برای راههای دو خطه دو طرفه برون شهری ایران" ، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل ، سال چهار، شماره ۲، زمستان ۹۱، ص ۱۰۳-۱۱۶.

- بهاالدینی، مهدی، منظوری، فرزاد (۱۳۸٦) "الگوریتم ژنتیک و کاربرد آن در حل مسایل "MILP" ، سمینار مهندسی صنایع، ۱۲ص.

- توکلی مقدم، رضا، علینقیان، رضا و سلامت بخش، رضا (۱۳۹۳) "مساله مسیریابی وسایط نقلیه دوره‌ای با پنجره زمانی در حالت رقابتی با روش شبیه‌سازی تبرید بهبودیافته"، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل، سال پنجم، شماره ٤، تابستان ۹۳، ص ٤٤۹-٤۷۰

- جوادی، محمد (۱۳۸۳) "الگوریتم ژنتیک"، انتشارات دانشگاه امام حسین، موسسه چاپ و انتشارات، ۸۰ص.

- حسینی سمنانی، سمانه و زمانی فر، کامران (۱۳۸۷) "استفاده از الگوریتم **Ant Colony** در حل مسئله مسیریابی در شبکه‌های پویا"، پنجمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت فناوری اطلاعات و ارتباطات، ص ۳.

- ذوالفقاری، اکرم و کرکه آبادی، زینب (۱۳۹۲) "مسیریابی هوشمند اکیپ‌های امدادی با استفاده از الگوریتم تئوری بازی‌ها، نمونه موردی، شهر سمنان"، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل، سال پنجم، شماره اول، ص ۱٦-۳۲

- رحمانی، پریسا، دادبخش مهدی و طرقی حقیقت، مهدی (۱۳۸٦) "توازن بار ترافیک شبکه و مسیریابی مبتنی بر مهندسی ترافیک با استفاده از کلونی مورچه‌ها"، اولین کنفرانس فازی و هوش مصنوعی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران، ص ٤.

- سپهری، محمدمهدی (۱۳۹۲) "طراحی مدل استقرار مجدد آمبولانس‌های مکان یافته"، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شماره دوم، جلد ۲٤، ص. ۱۷۲-۱۸۲.

- سلامی پور، اعظم، سلامی پور، علی و سلامی پور، مهدی (۱۳۸۷) "مسیریابی بهینه در شبکه‌های **Ad Hoc** با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه‌ها" ، یازدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق، دانشگاه زنجان، ص ۲.

- قصیری، کیوان و مرشد سلوک، فهیمه (۱۳۸٤) "ارائه یک مدل ابتکاری مبتنی بر سیستم اجتماع مورچه‌ها برای حل مسئله زمان‌بندی حرکت قطار"، پژوهش‌نامه حمل‌ونقل، سال دوم، شماره چهارم، ص ۱٤.

- مسعودی، شقایق، جوانشیر، حسن و توکلی مقدم، مهدی (۱۳۹۳) "حل مساله مسیریابی وسائط نقلیه ناهمگن چند قرارگاهی با پنجره زمانی توسط الگوریتم تکامل دیفرانسیلی چندهدفه: مطالعه موردی"، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل، سال ششم، شماره ۲، زمستان ۹۳، ص ۳۲۵-۳٤۰

- مولایی، ناصر (۱۳۸۷) "مسیریابی با استفاده از جی ای اس با تأکید بر مقایسه روش‌های وزن دهی و تلفیق لایه‌ها با الگوریتم‌های هوشمند"، انتشارات دانشگاه پیام نور بناب، ص ۱۳-۱٦.

- Dorigo, M. and Gambardella, L. M. (1997) "Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem", IEEE Transaction on Evolutionary Computation, Vol.1, NO. 1, pp. 53-63.

- Dorigo, M., Caro, G. D. and Gambardella, L. M (1999) "Ants algorithms for discrete optimization", Artificial Life, vol. 5, No. 3, pp. 137-172.

- Eksioglu, B., Vural, A. V. and Reisman, A. (2009) "The vehicle routing problem: A taxonomic review, Computers", Industrial Engineering, NO. 57, pp. 1472-1483.

- Higgins, A. and Kozan, E. (1998) "Modeling train delays in urban networks", Transportation Science, Vol. 32, No 4, pp. 346- 357.

- Malandraki, C. and Daskin, M. (1992) "Time dependent vehicle routing problems", formulations, properties, and heuristic algorithms, Transportation Science, No. 26, pp. 185-200.

- Shi, Liao, Hao, Jiu, Zhjou, Jiaqi and Xu, Guoyu (2004) "Ant colony optimization algorithm with random perturbation behavior to the problem of optimal unit commitment with probabilistic spinning reserve determination", Elsevier Electric, Power Systems Research, No 69, pp. 295-303.

- Smsons, S. (2010) "Best routing fix it", MKA University.
- Wang, Y. and Xie, J. (1999) "Ant colony optimization for multicast routing", The 2000 IEEE Asian Pacific Conference on Circuits and Systems, IEEE APCC, as 2000, pp. 54.57.
- Wood, A. J. and Wollenberg, B. F. (1996) "Power generation operation and control", 2nd Ed. John Wiley and Sons, New York, 1996.

دکتر غلامعلی خمر، درجه کارشناسی در رشته جغرافیا را در سال ۱۳۷۰ از دانشگاه سیستان و بلوچستان و درجه کارشناسی ارشد در رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری را در سال ۱۳۷۸ از دانشگاه تهران اخذ نمود. در سال ۱۳۸۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری از دانشگاه تهران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان آسیب شناسی شهری و گردشگری شهری بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیاری در دانشگاه زابل است.

آقای وحید پاسبان عیسی‌لو، درجه کارشناسی در رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی‌شهری را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه تبریز و درجه کارشناسی ارشد در رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری را در سال ۱۳۹٤ از دانشگاه زابل اخذ نمود.

خانم نگاره مژگان، درجه کارشناسی در رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری را در سال ۱۳۸۸ از دانشگاه حکیم سبزواری و درجه کارشناسی ارشد در رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه زابل اخذ نمود.