نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و یکم، شماره ۶۱، تابستان ۱۴۰۰

اجرای الگوریتم TSP در بهینه سازی مسیر حرکت آزمایشگاه سیار پزشکی در مقطع زمانی پس از زلزله با استفاده از GIS و الگوریتم های ACO و ICA (مطالعه موردی: شهر گرگان)

دریافت مقاله: ۹۷/۸/۲ **پذیرش نهایی:** ۹۸/۱/۲۸

صفحات: ۲۰۰-۱۷۷

محمد حسین سرایی: دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران.[1]
Email: msaraei@yazd.ac.ir
محمدرضا رضایی: دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
Email: mrezaei@yazd.ac.ir
محسن عادلی: دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
Email: adeli22000@yahoo.com

چکیده

فرایند بهینه‌سازی مسیر، یکی از تحلیل‌هایی است که می‌تواند در مواقعی که محدودیت منابع و زمان وجود دارد، از جمله شرایط پسازلزله مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق، از تحلیل مذکور جهت حل مسأله فروشنده دوره‌گرد و به منظور بهینه سازی مسیر حرکت آزمایشگاه‌های سیار پزشکی استفاده شده است. در این مسأله، هدف پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر حرکت بین یکسری از نقاط بوده و الگوریتم‌های مورد استفاده سعی در کمینه‌سازی هزینه‌های انتقال و تابع هدف را خواهند داشت. تحقیق حاضر از نظر هدف، کاربردی و توسعه‌ای، از نظر شیوه انجام تحقیق، توصیفی و تحلیلی و از نظر شیوه جمع‌آوری اطلاعات، اسنادی، میدانی و پیمایشی است. جهت اجرای این مسأله با در نظر گرفتن سناریوی سخت‌گیرانه در دسترسی به منابع، از دو الگوریتم کلونی مورچگان و رقابت استعماری در کنار الگوریتم دایجسترا در محیط GIS استفاده شده است. نقاط بازدید مدل، مناطق مستعد جهت اسکان موقت پسازلزله در شهر گرگان بوده و از فواصل عملکردی و زمان واقعی در بستر شبکه شهری، به جای فواصل زمانی و مکانی اقلیدوسی استفاده شده است. نتایج اجرای مدل نشان می‌دهند که الگوریتم کلونی مورچگان در دو ضابطه زمان و فاصله نسبت به دو الگوریتم دایجسترا و رقابت استعماری، بهینه‌سازی مسیر را به نحو مطلوب‌تری انجام داده است.

کلید واژگان: بهینه‌سازی، الگوریتم TSP[2]، الگوریتم ACO[3]، الگوریتم ICA[4]، زلزله.

---

۱. نویسنده مسئول: یزد، صفائیه، دانشگاه یزد، گروه جغرافیا، ۰۹۱۳۳۵۹۰۶۵۹

2) Travelling salesman problem
3) Ant Colony Optimization
4) Imperialist Competitive Algorithm

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

مقدمه

وقوع بلایای طبیعی از جمله زلزله، همواره سلامت انسان‌ها را تهدید می‌کند(مطلق و همکاران، ۱۳۸۷: ۷۹). کشور ایران یکی از مستعدترین کشورها در زمینه وقوع بلایایی طبیعی است؛ بطوریکه از تقریباً ۴۰ نوع بلای طبیعی شناخته شده در سطح جهان، ۳۱ مورد آن در ایران اتفاق افتاده است(پورمحمدی و مصیب زاده، ۱۳۸۷: ۱۱۸). ایران از نظر وقوع بلایای طبیعی دارای رتبه چهارم در آسیا و رتبه ششم در جهان است(خانکه، ۱۳۹۱: ۱۷). بر اساس نقشه پهنه‌بندی خطر پذیری زلزله ایران، اکثر نقاط شهری و غیرشهری در نواحی با خطر نسبی بالا قرار گرفته‌اند و با توجه به برگشت‌پذیر بودن زلزله، این پتانسیل خطر همواره وجود خواهد داشت. طی بررسی‌های صورت گرفته، به طور متوسط هر ۲ تا ۳ سال یک زلزله بزرگ در ایران رخ داده است(اردلان و همکاران، ۲۰۰۵ : ۳۲). در هنگام وقوع زلزله، معمولاً ساختار شهرها تغییر نموده و به تبع آن عملکرد قابل انتظار از آن‌ها نیز تغییر پیدا می‌کند. در این شرایط، ساختمان‌های موجود در شهر دیگر توانایی محافظت از شهروندان را نخواهند داشت. بنابراین بهترین گزینه جهت رفع مشکلات مرتبط با اسکان جمعیت، استفاده از فرایند اسکان موقت در پناهگاه‌های امن می‌باشد. در زلزله سال ۲۰۱۱ و سونامی ژاپن، در حدود ۲۵۰,۰۰۰ نفر از جمعیت آسیب دیده در پناهگاه‌های اضطراری و موقت اسکان داده شدند(ژیوژوآن[1] و همکاران، ۲۰۱۷: ۵۰). دسترسی به این فضاها در شهر، در ابتدایی‌ترین حالت خود می‌تواند باعث تفکیک مناطق دارای پتانسیل خطر از سایر نواحی شده و تمرکززدایی آسیب را شکل ببخشد(اصغری زمانی، ۱۳۹۳: ۱). معمولاً در فرایند اسکان موقت، اولویت اول آسیب‌دیدگان زلزله، اقامت در کنار خویشان و دوستان است و استقرار در ساختمان‌های دولتی و یا اردوگاه‌های امدادی در زمره آخرین اولویت آن‌ها قرار دارد. این موضوع به دلیل حفاظت از اموال زیر آوار و همچنین تعلق خاص به بعد مکان زندگی صورت می‌پذیرد. نمونه این برخورد در زلزله سال ۱۳۸۲ شهر بم و ۱۳۹۱ منطقه آذربایجان مشهود بوده است(شادی فر، ۱۳۹۵: ۲۵). تجمع جمعیت در مناطق اسکان موقت در روزهای ابتدایی پس از زلزله، ممکن است به علت عدم وجود زیرساخت‌های بهداشتی لازم، باعث بروز مشکلات ثانویه گردد. بی نظمی و هرج و مرج شرایط پس از وقوع زلزله، ازدحام جمعیت، آب و بهداشت ناکافی و دسترسی نامناسب به خدمات درمانی، ریسک انتقال بیماری‌های واگیردار را افزایش می‌دهد(مسائلی و درویشی، ۱۳۹۵: ۷۲).

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته، بیش از ۲۵درصد از بیماری‌هایی که پس از وقوع بلایای طبیعی رخ می-دهند، مربوط به ریسک فاکتورهای محیطی می‌باشند(وینسر[2] و آدامز[3]، ۲۰۰۲). این فاکتورها می‌توانند نقطه شروع تهدیدات سلامتی، اجتماعی و اقتصادی باشند(مسائلی و درویشی، ۱۳۹۵: ۷۲).

ضوابطی از جمله محل اقامت، نژاد، شغل، جنسیت، مذهب، تحصیلات، وضعیت اجتماعی و اقتصادی و سرمایه اجتماعی از جمله مواردی هستند که در هنگام وقوع بلایا می‌توانند تعیین کننده شدت آسیب‌پذیری افراد باشند(مطلق و همکاران، ۱۳۸۷: ۲۴).

[1]) Xiujuan
[2]) Winser
[3]) Adams

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

انجام فعالیت‌های مرتبط با بهداشت محیط و فراهم نمودن زیرساخت و امکانات لازم جهت پیشگیری و مواجهه با بیماری‌های واگیردار به خصوص در مناطقی که در آن گروه‌های آسیب پذیر تجمع دارند، می‌تواند سبب تسریع در بازگشت به شرایط عادی گردد(فاطمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۷۸).

یکی از این امکانات و زیرساخت های مورد نیاز، وجود آزمایشگاه‌های سیار پزشکی است که می‌تواند ضمن انجام نمونه برداری‌های مورد نیاز و ارائه خدمات دارویی ثانویه، از شیوع بیماری‌های واگیردار جلوگیری نماید. از مهم‌ترین مولفه‌های کارآیی اینگونه سیستم‌های اورژانسی، پاسخگویی به تقاضاهای موجود در سریعترین زمان ممکن و کمینه‌سازی مسافت رسیدن به نقاط هدف می‌باشد(خمر، ۱۳۹۶: ۴۲، گلد برگ[1]، ۲۰۰۴: ۲۱، زرکش و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۳ ، وایلد[2]، ۲۰۱۳: ۷۹۱ و لی[3]، ۲۰۱۲: ۶۱۱). بدین منظور، مسیریابی بهینه از پیش شرط‌های کارآیی آن‌ها بوده و هدف آن نیز حداکثرسازی پوشش مراکز جمعیتی و اخذ بهترین جواب‌های ممکن می‌باشد(خمر، ۱۳۹۶: ۴۱، یوسفی و رحمتی، ۱۳۹۰: ۱۸۳ و کمالی و دیگران، ۱۳۹۷: ۶۲).

در مطالعه حاضر، فرایند بهینه‌سازی مسیر، تحت عنوان حل مسأله فروشنده دوره گرد (TSP)، مطرح شده و با استفاده از الگوریتم‌های کلونی مورچگان، رقابت استعماری و سیستم‌های اطلاعات مکانی به انجام رسیده است. ساختار الگوریتم فروشنده دوره گرد به گونه‌ای است که در یک محدوده بسته، به دنبال کوتاه‌ترین مسیر حرکت بین نودهای شبکه می‌باشد. در این تحقیق نودهای شبکه در واقع نقاط در نظر گرفته شده برای اسکان موقت هستند و الگوریتم سعی در کمینه‌سازی مسیر حرکت بین این نودها را به گونه‌ای دارد که شرط پوشش تمامی نودها نیز تحقق یابد. در این راستا، به مقایسه الگوریتم‌های کلونی مورچگان و رقابت استعماری و همچنین GIS در حل مسأله فروشنده دوره گرد پرداخته شده است.

با عنایت به اینکه زلزله از نظر زمانی فرصت بسیار کمی را برای عکس‌العمل های انسانی فراهم می‌کند، در بین سوانح طبیعی، به عنوان مهم‌ترین عامل انهدام سکونتگاه‌های بشر شناخته می‌شود (کریمی صالح، ۱۳۸۵، ۱۹۷). از وقوع زلزله نمی‌توان جلوگیری کرد؛ ولی با در نظر گرفتن پاره‌ای از تمهیدات منطقی، می‌توان صدمات و خسارات ثانویه ناشی از وقوع آن را به حداقل رسانید(احد نژاد و همکاران،۱۳۹۰: ۸۲).

تجربیات زلزله‌های گذشته ایران نشان می‌دهد که به دلایل مختلف اقتصادی، فنی و اجرایی، امکان تأمین مسکن جهت مرتفع نمودن نیازهای اولیه آسیب‌دیدگان در ساعات و روزهای ابتدایی پس از بحران زلزله میسر نمی‌باشد، بنابراین معمولاً این مشکل از طریق فرایند اسکان موقت در کانکس و چادرهای امدادی مرتفع می-گردد(خمر و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۱). فرایند اسکان موقت نیز در صورتی که بدون برنامه‌ریزی قبلی انجام گردد، حالت مقطعی و تجربی خواهد داشت و انجام آن ممکن است که نتایج بسیار نامناسبی را در پی داشته باشد(اشراقی، ۱۳۸۵). در این شرایط اسکان، ازدحام جمعیت در سطحی کوچک، نقطه آغاز شیوع بیماری‌های ثانویه زلزله همچون بیماری‌های انگلی روده‌ای، وبا و ... می‌گردد؛ بنابراین با توجه به مسری بودن این بیماری‌ها و به منظور جلوگیری از اپیدمی شدن مشکل، می‌بایست با در نظر گرفتن تمهیدات بهداشتی و آزمایشگاهی لازم، در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آن رسیدگی کرد. یکی از این تمهیدات مورد نیاز، تدارک ملزومات دسترسی

[1]) Goldberg
[2]) Wilde
[3]) Lee

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

به آزمایشگاه‌های سیار پزشکی می‌باشد. اهمیت دسترسی به اینگونه آزمایشگاه‌ها بسیار زیاد بوده و تجربیات زلزله‌های قبلی اتفاق افتاده در ایران از جمله زلزله بم نیز موید این ادعا است (اکبری، ۲۰۰۴: ۴۰۴). در بعضی از مواقع، شدت شیوع این عفونت‌ها در مقطع زمانی پس از زلزله به گونه‌ای است که، آسیب ناشی از وقوع آن را تا چندین برابر افزایش می‌دهد(قربانی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳۳۸). در بین گروه‌های سنی مستقر در مراکز اسکان موقت، کودکان زیر ۱۰ و افراد بالای ۶۰ سال و افرادی که دارای پیشینه بیماری هستند، نسبت به سایر گروه‌ها آسیب‌پذیرتر می‌باشند (یانگ[1] و همکاران، ۲۰۰۳: ۲۵۴). در نتیجه پاسخ سریع به شیوع بیماری‌ها در گروه‌های مذکور، بسیار مهم می‌باشد(حسینی دوست و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۲۵).

معمولاً در اکثر مواقع فرایند پاسخ‌دهی به رویدادهای پس از بحران زلزله به علت تغییرات ساختاری صورت گرفته در محل وقوع بحران، خارج از ظرفیت سیستم‌های محلی و منطقه‌ای است(غریبی و همکاران،۱۳۹۳: ۳۲). ولی به هر حال می‌بایست با تجهیز امکانات، ظرفیت تشخیص و کنترل بیماری‌های عفونی و واگیردار را با استفاده از استقرار آزمایشگاه سیار پزشکی فراهم نمود(ناسان[2] و دیگران، ۲۰۰۴: ۳۶).

شهر گرگان به عنوان منطقه مورد مطالعه، به علت مواردی از جمله عبور گسل اصلی البرز با طولی برابر با ۶۰۰ کیلومتر از مرکز شهر، مساحت قابل توجه بافت‌های تاریخی و فرسوده، بافت و جنس نرم خاک، بالا بودن شیب زمین در قسمت‌هایی از شهر، تراکم بالای جمعیت، وجود ترافیک سنگین در برخی از محورها در ساعاتی از شبانه روز و کنتراست بالای ارتفاعی بین بالاترین و پایین ترین نقاط شهر، عملاً با پتانسیل خطر بالایی در مواجهه با زلزله و به تبع آن خطرات ثانویه این حادثه روبرو می باشد.

بر این اساس در نظر گرفتن مکان‌هایی جهت اسکان موقت و در پسآیند آن شناسایی کوتاه‌ترین مسیر همیلتونی ارائه خدمات آزمایشگاهی سیار به این نقاط ضروری است. در تحقیق حاضر، تعداد ۴۸ قطعه زمین از فضاهای آزاد داخل و بیرون شهر که دارای پتانسیل ساختاری و عملکردی لازم بودند، به عنوان مناطق مستعد برای اسکان موقت در نظر گرفته شدند. در ادامه، با توجه به لزوم ارائه خدمات آزمایشگاهی به ساکنین این نقاط در کوتاه‌ترین زمان و با حداقل امکانات ممکن، سعی شده است که کوتاه‌ترین مسیر ارائه خدمت بین نقاط مورد نظر از نظر زمانی در چارچوب حل مسأله فروشنده دوره‌گرد با استفاده از الگوریتم‌های کلونی مورچگان، رقابت استعماری و همچنین GIS، شناسایی گردد. این مسیر الزاماً برابر با کوتاهترین مسیر از نظر هندسی نمی‌باشد؛ زیرا تابع هدف، کمینه‌سازی مدت زمان است نه مقدار طول. علی‌رغم قبول شرایط احتمالاتی، غیر قطعی و نامتجانس پسازلزله، شناسایی این مسیرها در مقطع زمانی قبل از وقوع زلزله، تا حد زیادی می‌تواند نوع نگرش به بعد مکان و ارائه خدمات در بستر آن را هدفمندتر نموده و امید است که خروجی تحقیق حاضر بتواند گامی هرچند کوچک در جهت ارتقاء مبانی مدیریت بحران سوانح طبیعی از جمله زلزله ایفا نماید.

در زمینه سوانح طبیعی در سطح بین المللی می توان به پژوهش یوآن[3] و وانگ[4] (۲۰۰۹) اشاره کرد که در مطالعه‌ای با عنوان "الگوریتم و مدل مسیریابی برای مدیریت لجستیک اورژانسی" ، به انجام این موضوع در

1) Yang
2) Nasan
3) Yuan
4) Wang

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

کشور چین پرداختند. در این مطالعه دو الگوریتم جهت انتخاب مسیر بهینه مورد بررسی قرار گرفت که عبارتند از: الگوریتم دایجسترای اصلاح شده و الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان. هدف از اجرای هر دو الگوریتم، کاهش زمان سفر و به حداقل رساندن هزینه‌های انتقال بین نودهای شبکه بوده است. نتایج تحقیق، کارآیی بالای هر دو الگوریتم را در حل مسائل بهینه‌سازی مسیر نشان می‌دهد. معادی و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه-ای تحت عنوان "کاربرد الگوریتم رقابت استعماری در حل مسأله تخصیص مراکز اورژانس پزشکی" به انجام این موضوع در شهر مشهد پرداختند. ایشان در این مطالعه، حل مسأله تخصیص مراکز اورژانس اضطراری را با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری و همچنین تعدادی دیگر از الگوریتم‌های متاهیوریستیک انجام دادند. در این مقاله، از نسخه گسسته الگوریتم رقابت استعماری استفاده شده است. در ادامه، این الگوریتم در دو منطقه مشخص با چهار سناریوی مختلف تقاضا، در شبکه واقعی حمل و نقل شهری مشهد، اجرا شده است. نتایج اجرای الگوریتم با دیگر الگوریتم‌های متاهیوریستیک از جمله الگوریتم ژنتیک و اجتماع ذرات مورد مقایسه قرار گرفته است. بر اساس نتایج بدست آمده، مدت زمان مورد نیاز جهت پردازش الگوریتم، در الگوریتم ICA کمتر از الگوریتم‌های مورد استفاده بوده است؛ ولی تعداد آمبولانس‌های مورد نیاز جهت حل مسأله تخصیص، نسبت به سایر الگوریتم‌ها، تفاوت معناداری نداشته است. ماورونیوتیس[1] و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای با عنوان "بهینه‌سازی الگوریتم مورچگان با جستجوی محلی در حل مسأله فروشنده دوره گرد دینامیک" به موضوع استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان در حل مسأله فروشنده دوره‌گرد دینامیک پرداختند. ایشان در این مطالعه، الگوریتم مورچگان ممتیک را با الگوریتم مورچگان کلاسیک ترکیب کردند. بر اساس نتایج بدست آمده، عملگرهای جستجوی محلی می‌تواند کارآیی الگوریتم مورچگان را بهبود ببخشد. الگوریتم پیشنهاد شده، هم در زمینه حل‌مسأله فروشنده دوره‌گرد متقارن و هم نامتقارن کارآیی بالایی داشته و نتایج تجربی بدست آمده از مدل نیز، این موضوع را تأیید می‌نماید.

در ایران نیز حاله و همکاران (۱۳۹۴)، در مطالعه‌ای با عنوان "بهبود الگوریتم رقبت کلونی استعمارگران با استفاده از عملگر یادگیری استعمارگان و کاربرد آن در حل مسأله فروشنده دوره‌گرد" به بهینه‌سازی الگوریتم رقابت استعماری در قالب مسأله فروشنده دوره‌گرد پرداختند. ایشان در این مطالعه، روش برداشت خواص استعمارگران توسط مستعمرات را نسبت به حالت معمول الگوریتم، کمی تغییر داده و از روش یادگیری کنترل شده خصوصیات استعمارگران استفاده کردند. در این مقاله سعی گردید تا عملکرد عملگرهای یادگیری، با مثال‌های متعددی از TSPLAB نمایش داده شود. بر اساس نتایج بدست آمده، الگوریتم رقابت استعماری با تغییر در عملگر یادگیری از استعمارگان، نتایج بهتری را هم در کیفیت پاسخ و هم زمان حل مسأله خواهد داشت.

در تحقیق حاضر، به بهینه‌سازی مسیر تردد بین فضاهای باز شهری در قالب حل مسأله فروشنده دوره‌گرد پرداخته شده است. تفاوتی که تحقیق حاضر نسبت به پژوهش‌های مشابه دارد، در چگونگی تعریف تابع فاصله زمانی و مکانی بین نقاط شبکه می‌باشد. بگونه‌ای که علاوه بر این که نقاط تعریف شده ما به ازای خارجی

[1]) Mavrovouniotis

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

دارند، فواصل بین آن ها نیز به صورت واقعی و بر اساس شبکه موجود شهری در نظر گرفته شده است نه بر اساس فاصله اقلیدوسی در یک محیط دو بعدی.

مبانی نظری تحقیق

بهینه‌ترین مسیر

یکی از مهمترین مسائل در تحلیل شبکه، یافتن کوتاه‌ترین مسیر حرکت بین نقاط آن می‌باشد(مرادی سلوشی و وفایی نژاد، ۱۳۹۵: ۱۶ و سرگلزایی و وفایی نژاد، ۱۳۹۶، ۲۳۲). انجام این تحلیل می‌تواند در بسیاری از کاربری‌های خدماتی با توجه به کاهش زمان ارائه خدمت، باعث رضایتمندی شهروندان گردد(جاسبی و مکوندی، ۱۳۹۰: ۸). در حالت عادی، تحلیل مذکور از نظر مسافت و زمان، توسط تعداد زیادی از الگوریتم‌ها و روش‌ها قابل انجام است، ولی معمولاً الگوریتم‌هایی می توانند در شرایط غیر قطعی پسازلزله، بهینه‌سازی مسیر را به انجام برسانند که به جای اتکا بر جواب، مبتنی بر جمعیت بوده و از سویی دیگر علاوه بر سنجش و بهینه-سازی زمان و فاصله، در مناطق بهینه محلی نیز گرفتار نگردند(مطیعیان و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۷۲).

الگوریتم فروشنده دوره گرد(TSP)

در مسأله فروشنده دوره‌گرد، هدف پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر بین مجموعه‌ای از شهرها(گره ها) است به طوری‌که هر شهر فقط و فقط یکبار ملاقات شده و دوباره به نقطه شروع برگردد(قنبری و همکاران، ۱۳۹۵: ۹۰).

این الگوریتم، از جمله الگوریتم‌های بهینه ساز است که راه حل دقیقی ندارد. این موضوع، بخصوص در شرایطی که تعداد شهرهای مورد نظر افزایش می‌یابند، بیشتر نمود پیدا می‌کند. از نظر رویکرد، این روش حل مسأله، حالت جایگشتی[1] دارد و راه حل‌ها و اعضای جمعیت، بصورت جایگشتی در نظر گرفته می شوند.

فرایند انجام روش حل مسأله TSP به صورت ذیل است:

فرض شود که گرافی به صورت $G(V.A)$ وجود دارد. در این قسمت مجموعه‌ای از ورتکس ها $V = \{0.1. \dots . n\}$ و مجموعه‌ای از لبه ها $A = \{(i.j): i.j \in V. i \neq j\}$ شبکه را تشکیل می‌دهند. اگر گراف مورد نظر به صورت کامل نباشد، فقدان یک لبه، با اندازه بی‌نهایت تعویض می‌گردد. حل مساله TSP، در واقع ترتیب عبور گره‌های مسیر را تعیین می‌نماید و شرط اساسی آن، کمینه کردن مسیر و به عبارتی کم کردن هزینه انتقال بین نودهای شبکه خواهد بود. با این مقدمه که متغیرهای Xij ، مسیر بین گره‌های i تا j را ارائه می نمایند، فرمول محاسباتی حل مسأله TSP به صورت رابطه(۱) خواهد بود.

1) Permutation

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

رابطه(۱)

تابع ۱ $$\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n} x_{ij}$$

تابع ۲ $$\sum_{i=0}^{n} x_{ij} \qquad (j = 1. \ldots . n)$$

تابع ۳ $$\sum_{j=0}^{n} x_{ij} \qquad (i = 1. \ldots . n)$$

تابع ۴ $$\sum_{i\epsilon S}\sum_{j\epsilon N-S} x_{ij} \geq 1 \ (\emptyset \neq S \subset \{0. \ldots . n\}. |S| \geq 2)$$

تابع ۵ $$\sum_{i\epsilon N-S}\sum_{j\epsilon S} x_{ij} \geq 1 \ (\emptyset \neq S \subset \{0. \ldots . n\}. |S| \geq 2)$$

تابع ۶ $$x_{ij} \in \{0.1\} \qquad (i = 0. \ldots . n; j = 0. \ldots . n)$$

در رابطه(۱)، تابع (۱)، به صورت ساده به کمینه کردن مسیر حرکت و اندازه تور می‌پردازد. تابع (۲)، کنترل می‌کند که الگوریتم فقط و فقط یکبار به هر گره وارد شود. تابع(۳)، کنترل می‌نماید که الگوریتم فقط و فقط یکبار از هر گره خارج شود. توابع (۴) و (۵) نیز از ایجاد زیرمسیرها و زیر تورهای محلی جلوگیری کرده و در نهایت تابع (۶) نیز، موقعیت متغیرها را تعیین می‌کند. سرانجام لازم به ذکر است که اگر مسیر مستقیمی از گره i به گره j وجود داشته باشد، مقدار $Xij = 1$ و در غیر این صورت، مقدار $Xij = 0$ خواهد بود.

یکی از بخش‌های مهم این الگوریتم، استخراج فواصل زوجی بین شهرها و ایجاد ماتریس فاصله است. ماتریس فاصله در TSP ، بخصوص زمانی که به علت تعداد زیاد شهرها و محل‌های عبوری، لزوم دسته‌بندی آن‌ها وجود دارد، نقش خاصی را در تعیین تعداد طبقات خواهد داشت. فرمول ماتریس فاصله اقلیدوسی بین نقاط در یک سطح متقارن به صورت رابطه(۲) خواهد بود.

رابطه(۲)

$$di.j = \sqrt{(xi - xj)^2 + (yi - yj)^2}$$

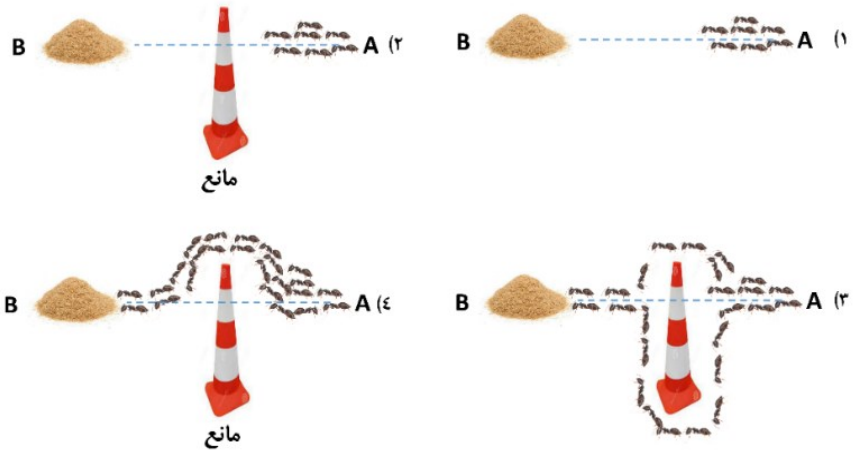
الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان[1]

الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان برای اولین بار در سال ۱۹۹۱ توسط مارکو دوریگو[2] برای حل مسأله فروشنده دوره‌گرد در ابعاد کوچک(حداکثر ۷۵ شهر) پیشنهاد گردید(فلاح پور و ارم، ۱۳۹۵: ۳۵۰ و چلیک[3] و یورتی[4]، ۲۰۱۷: ۴۲۰۰) این الگوریتم، یکی از الگوریتم‌های محاسباتی و فراابتکاری در حوزه هوش ازدحامی[5] است که

1) Ant Colony Optimization
2) Marco Dorigo
3) Celik
4) Yurtay
5) Swarm Intelligence

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

جهت پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر از رفتار مورچه‌ها در یک محیط طبیعی الگوبرداری نموده است. قاعده کلی الگوریتم چنین است که مورچه‌ها در طی حرکت از منبع غذا به سمت لانه ماده‌ای شیمیایی به نام فورومون را از خود بر جای می‌گذارند که به عنوان راهنما برای سایر مورچه ها عمل می‌کند. مورچه‌هایی که برای اولین بار به غذا دسترسی پیدا می‌کنند، به صورت تصادفی مسیری را جهت حرکت انتخاب می‌کنند. بر این اساس مقدار فورومون باقی مانده در مسیرهای خاص به علت ترافیک عبوری ارتقاء یافته و کم کم به عنوان بهینه‌ترین و کوتاه‌ترین مسیر تعیین می‌گردد. پارامترهای کلیدی الگوریتم ACO، فاصله بین دو مورچه، مقدار فورومون باقی مانده و میزان تبخیر فورومون خواهد بود. این الگوریتم تنها توسط یک مورچه قابل انجام نمی‌باشد، چون اثر فورومون به علت فرایند تبخیر از بین می‌رود. در واقع قدرت انجام این الگوریتم در ازدحام مورچه‌ها و تعامل اجتماعی و جمعی آن‌ها می‌باشد. فرایند کلی این الگوریتم در مدل‌سازی رفتار مورچه‌ها در شکل(۱) ارائه شده است.



شکل(۱). رفتار مورچه ها برای پیدا کردن بهینه‌ترین مسیر تردد بین لانه و منبع غذا

الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان کاربردهای مختلفی از جمله حل مسأله فروشنده دوره گرد، مدیریت منابع، مدیریت ترافیک، مسیریابی شبکه و مدیریت شهری دارد.

صورت کلی الگوریتم بدین ترتیب خواهد بود:

اولین مرحله این الگوریتم، مرحله آماده‌سازی[1] می باشد. در این مرحله مسأله تعریف شده و پارامترهای موثر مشخص می‌گردند. مقدار فورومون اولیه، ضریب تبخیر و تعداد مورچه‌ها از جمله پارامترهای دیگری هستند که تعیین می‌گردند. در ادامه برای هر یک از اعضای جامعه یک مبدأ تصادفی انتخاب می‌گردد.

در گام بعدی و به صورت تصادفی، یکی از شهرهای قابل انتخاب، توسط الگوریتم انتخاب می‌شود. شروطی که در اجرای این قسمت وجود دارد عبارتند از ۱- شرط همسایگی و قابلیت عبور و ۲- تحقق شرایط جایگشتی

[1]) Initialization

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

مسأله. اگر فرض گردد که معادله P_{ij}^{k} برابر با احتمال حرکت از شهر i به شهر j برای مورچه k ام باشد، همسایه‌های شهر i برای تحقق شرط اول عبارت خواهند بود از رابطه(۳):

رابطه(۳)

$$Ni = \{m|lmi \in L\}$$

و همچنین برای شرط دوم رابطه(۴) خواهد بود.

رابطه(۴)

$$\boldsymbol{N_i^k} = \{m|m \in Ni \ \& \ m \in \psi k\}$$

یعنی علاوه بر وجود داشتن شرط همسایگی، در زمره شهرهایی که قبلاً توسط مورچه k بازدید شده اند، قرار نداشته است.

بر این اساس، احتمال انتخاب یک گره توسط مورچه k بر اساس رابطه(۵)می‌باشد. در این معادله فرض شده است که مورچه k در محل گره i قرار دارد و معادله احتمال حرکت به سمت گره j را ارائه می‌دهد.

رابطه(۵)

$$\boldsymbol{P_{ij}^k} = \{\frac{\tau_{ij}{}^{\alpha}\, \eta_{ij}{}^{\beta}}{\sum_{m \in N_i^k} (\tau_{im})^{\alpha} (\eta_{im})^{\beta}} \qquad .j \in \boldsymbol{N_i^k}$$

بر اساس رابطه(۵)، τ_{ij} ، نشاندهنده مقدار فورومون موجود روی یال(ij) می‌باشد. η_{ij} نیز حاوی اطلاعات هیورستیک روی یال (ij) بوده و عکس مقدار فاصله بین دو گره i و j می باشد. α و β اعدادی مثبت هستند($\alpha.\beta \geq 0$). و نشان دهنده اهمیت هر یک از عوامل در تعیین احتمال می‌باشند. کاربر بوسیله تغییر این دو پارامتر می‌تواند میزان اهمیت τ_{ij} و η_{ij} را تغییر دهد. اگر مقدار α بزرگ در نظر گرفته شود، اهمیت مقدار فورومون زیاد شده و جامعه سریعاً همگرا می‌شود و اگر مقدار β بزرگ در نظر گرفته شود، مسأله به سمت یک راه حل همگرا شده و معمولاً خروجی مسأله بصورت حریصانه و نامناسب خواهد بود.

پس از ساخته شدن هر مسیر، این مسیر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مورچه‌ها ضمن طی یک مسیر، بر روی یال‌هایی که از آن ها عبور می‌کنند، به اندازه عکس هزینه هر یال ij ، ماده‌ای شیمیایی به نام فورومون می-ریزند. این ماده قابلیت تبخیر را داشته و به مرور زمان اثر خود را از دست می‌دهند. مسیری که مقدار بیشتری فورومون روی آن باقی مانده است در واقع مسیر با کمترین هزینه بین گره‌های i و j خواهد بود.

الگوریتم رقابت استعماری

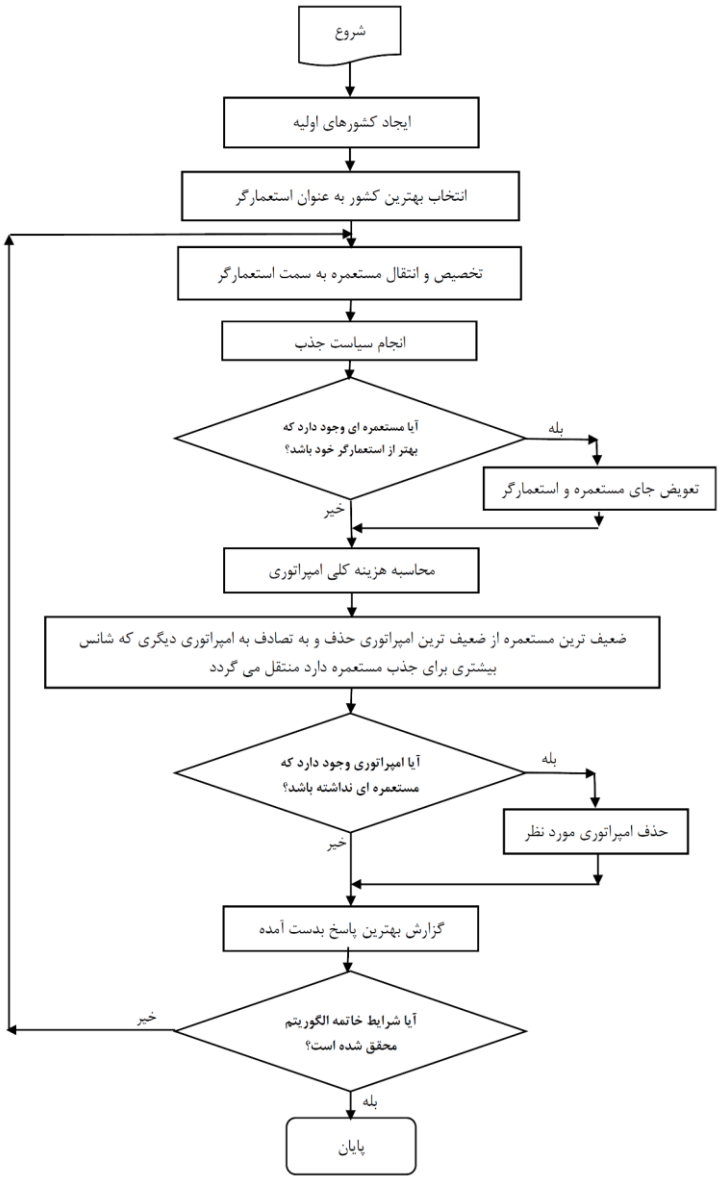
الگوریتم رقابت استعماری[1] از جمله الگوریتم‌های نسل دوم است که از فرایندهای اجتماعی، سیاسی و فرهنگی بشر الهام گرفته است(بهرامی و دیگران، ۲۰۱۲: ۴۹ و لیان[2] و دیگران، ۲۰۱۲: ۵۱۱۸). این الگوریتم نخستین

1) Imperialist Competitive Algorithm
2) Lian

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

بار توسط آتش پز گرگری در سال ۱۳۸۷ ارائه شده است(آتش پز گرگری و همکاران، ۱۳۸۷). کاربرد این الگوریتم علی‌الخصوص در مسائل بهینه‌سازی روز به روز در حال افزایش است(لوکاس[1] و دیگران، ۲۰۱۰: ۱۴۰۸، آتش پز گرگی و دیگران، ۲۰۰۸: ۳۳۸ و گیسا دواسنا[2] و دیگران، ۲۰۱۶: ۲).

فرایند کلی جریان الگوریتم رقابت استعماری بر اساس شکل(۲)، می‌باشد.

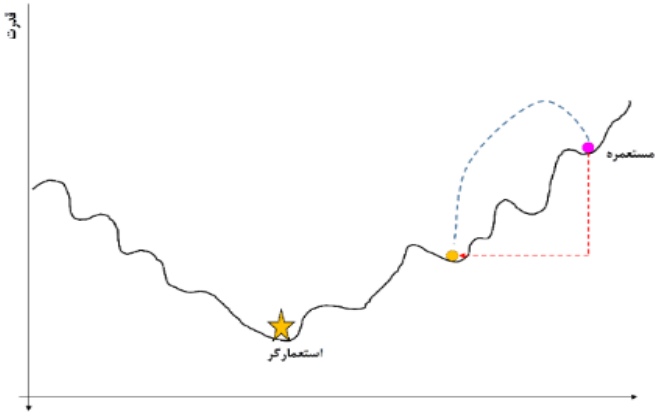


شکل(۲). فرایند کلی جریان الگوریتم رقابت استعماری

[1]) Lucas
[2]) Geetha Devasena

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

الگوریتم حاضر با تعدادی جمعیت به عنوان جمعیت اولیه آغاز می‌شود(Mousavi Rad et all, 2012: 43). هر یک از عناصر جمعیت، یک کشور نامیده شده و در دو قالب مستعمره یا استعمارگر به بهینه‌سازی خصوصیات خود می‌پردازند(بهرامی و دیگران، ۲۰۱۲ : ۵۱ و جردن[1] و دیگران، ۲۰۱۸: ۵). در این الگوریتم هر استعمارگر با توجه به قدرت خود دارای تعدادی کشور به عنوان مستعمره است و هر چه این قدرت بیشتر باشد، تعداد مستعمرات نیز بیشتر می‌گردد(آتش پز گرگری و لوکاس، ۲۰۰۹ : ۱۲۶ و باقری طولابی و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۲۶). در الگوریتم فوق، نوعی همکاری داخلی بین کلونی‌ها وجود دارد تا بتوانند وضعیت کلی امپراتوری را بهینه‌سازی کنند. افراد گروه نیز سعی می‌کنند تا حد امکان خود را به شرایط نفرات برتر و الگو نزدیک نمایند. در کنار رقابت درون‌گروهی کلونی ها، نوعی رقابت برون‌گروهی نیز بین آن‌ها وجود دارد. حرکت به سمت کشور برتر فرایندی است که جزء فرایند بهینه‌سازی محسوب می‌شود(دوآن[2] و دیگران، ۲۰۱۰: ۱۸۶۹) شکل(۳).



شکل(۳). اعمال سیاست جذب مستعمرات از سوی استعمارگران

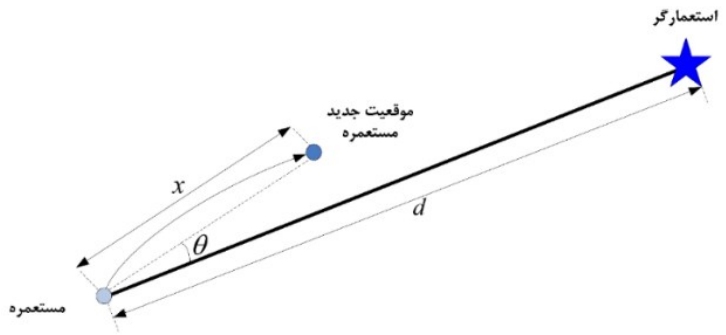
در الگوریتم رقابت استعماری، با روش مستقیم و یا غیر مستقیم استعمارگر سعی در توسعه قدرت و نفوذ مولفه‌های کشور خود در سایر کشور دارد(صدایی و دیگران، ۲۰۱۶: ۱۳۳). این الگوریتم، به عنوان یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، تعدادی از کشورها را از حوزه معمول خود خارج کرده و به حوزه‌ای بهتر از موقعیت قبلی انتقال می‌دهد. این انتقال برای کشور مستعمره نوعی پیشرفت محسوب می‌گردد؛ زیرا مولفه‌های ساختاری مستعمره، در راستای مولفه‌های کشور امپریالیست که قوی‌تر هستند قرار می‌گیرد. هزینه انجام این انتقال، نزدیکی به کشور استعمارگر می‌باشد.

هر امپراتوری که نتواند در جذب مستعمره موفق عمل نماید، به مرور زمان از صحنه رقابت استعماری حذف شده و جای خود را به سایر امپراتوری‌ها می‌دهد. بنابراین امپراتوری‌ها به ناگزیر سعی در افزایش قدرت و بالتبع آن جذب مستعمره و اعمال مولفه‌های اجتماعی خود خواهند داشت. در جریان رقابت بین امپراتوری‌ها، در نهایت یک نوع همگرایی کلی ایجاد شده و امپراتوری واحدی که دارای مستعمرات مناسب هستند شکل می‌گیرد(سیف، ۲۰۱۶: ۲۴). مطابق شکل(۴)، کشور مستعمره در راستای محورهای X و Y که ممکن است

1) Gordan
2) Duan

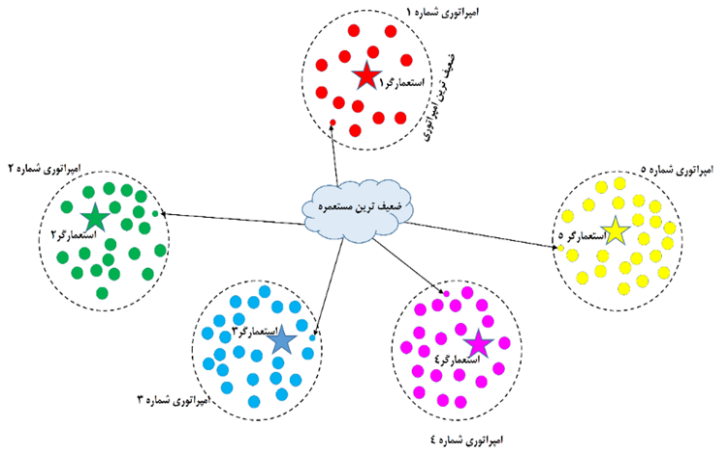
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

مربوط به یک بعد خاص(اجتماعی، اقتصادی، زبان، فرهنگ و ...) باشد، سعی می‌کند که به کشور استعمارگر نزدیک شود(برنال[1] و دیگران، ۲۰۱۷: ۳). در این شکل، فاصله بین مستعمره و استعمارگر با حرف d نشان داده شده است. مسیر حرکت مستعمره به استعمارگر ممکن است که کاملاً منطبق بر الگوی حرکت استعمارگر به سمت توسعه نباشد بلکه در همان مسیر اما با انحرافی به میزان θ صورت گیرد. θ در واقع میزان تابع بهره-برداری و جستجو را تعیین می‌نماید. افزایش و یا کاهش این تابع می‌تواند سبب کاهش و یا افزایش فضای جستجو و تنوع گردد.



شکل(۴). حرکت مستعمره به سوی مولفه‌های استعمارگر(گرکری و لوکاس، ۲۰۰۷: ۴۶۶۲)

نهایتاً این الگوریتم تا زمان رسیدن به یک همگرایی کلی ادامه پیدا می‌کند شکل(۵) و در نهایت پس از انجام تعداد تکرارهای لازم، همه امپراتوری‌ها سقوط کرده و امپراتوری تک قطبی ایجاد خواهد شد. در این محیط جدید، همه مستعمرات توسط یک امپراتوری واحد اداره شده و موقعیت و هزینه‌های مترتب بر مستعمرات، برابر با موقعیت و هزینه کلی امپریالیست می‌شود. در این هنگام و در صورت تحقق شروط خاتمه، الگوریتم رقابت استعماری به پایان می‌رسد.



شکل(۵). رقابت امپراتوری‌ها به صورت داخلی و خارجی جهت رسیدن به یک همگرایی واحد(صفری ممقانی و میبدی، ۲۰۱۱)

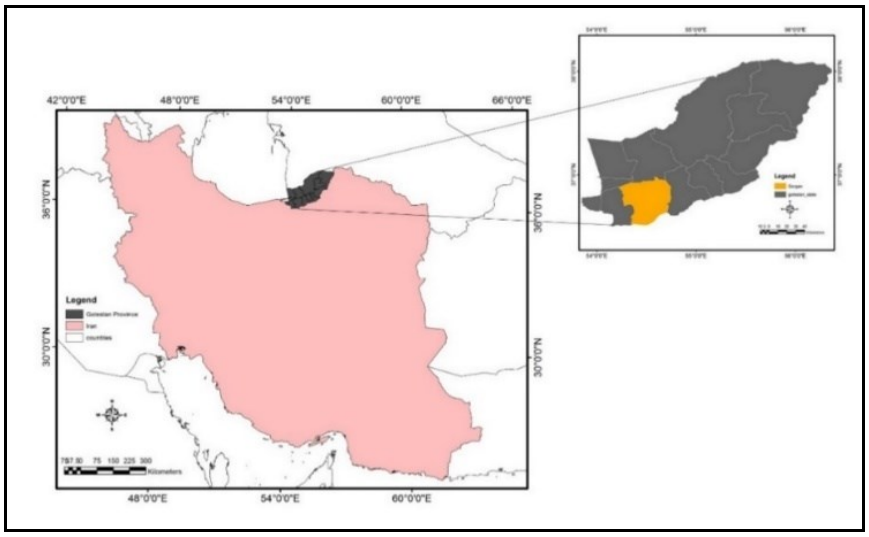
1) Bernal

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

روش تحقیق

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه این تحقیق، شهر گرگان می‌باشد. گستره جغرافیایی این شهر بر اساس محدوده خدماتی بین طول "۱۲ '۲۲ °۵۴ تا "۴۷ '۲۹ °۵۴ طول شرقی و عرض "۵۹ '۴۵ °۳۶ تا "۵۷ '۵۱ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است شکل(۶). این شهر از شمال به شهرستان آق قلا، از سمت شمال‌غرب با شهرستان بندر ترکمن، از سمت غرب با شهرستان کردکوی، از سمت شرق با شهرستان علی آباد و از سمت جنوب نیز با استان سمنان در ارتباط می‌باشد. متوسط دمای شهر برابر با ۱۷/۲ درجه سانتیگراد با رطوبت نسبی ۷۱/۵ درصد است. میزان بارندگی نیز بین ۶۰۰ تا ۷۵۰ میلی متر در نوسان است. نوسانات ارتفاعی شهر نیز بین ۷۰ تا ۷۶۵ متر متغیر است. با توجه به قدمت ۶۰۰۰ ساله شهر گرگان، مساحت بافت‌های تاریخی و قدیمی شهر قابل توجه می‌باشد. جمعیت شهر بر اساس آمارهای موجود در سال ۱۳۹۵ برابر با ۳۶۵,۶۸۲ نفر عنوان گردیده است(استانداری گلستان، ۱۳۹۶، ۷). کاربری‌های مسکونی، شبکه ارتباطی، بایر و زراعی بیشترین مساحت شهر را پوشش داده-اند.



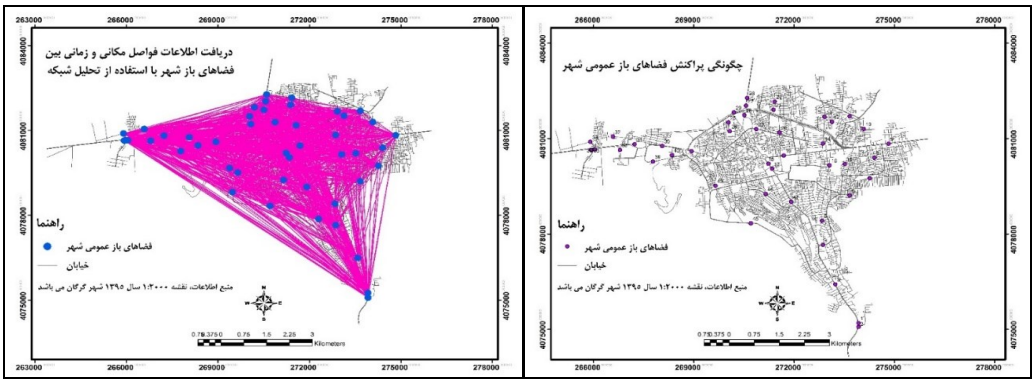
شکل(۶). محدوده مورد مطالعه

داده و روش کار

تحقیق حاضر از نظر هدف، کاربردی و توسعه‌ای، از نظر شیوه انجام تحقیق، توصیفی و تحلیلی و از نظر شیوه جمع‌آوری اطلاعات، اسنادی، میدانی و پیمایشی است. در این تحقیق به مقایسه GIS و دو الگوریتم کلونی مورچگان و رقابت استعماری در موضوع حل مسأله فروشنده دوره‌گرد، پرداخته شده است. نقاط ملاقات الگوریتم، مشتمل بر ۴۸ نقطه، تحت عنوان مناطق باز عمومی مستعد برای اسکان موقت پسازلزله می‌باشد، که در قالب شکل(۷) ارائه شده است. در الگوریتم‌های مذکور و در قالب معمول و رایج اجرای الگوریتم، با توجه به عدم توجه کافی به بعد مکانی پدیده‌ها، معمولاً از فاصله اقلیدوسی در یک سطح دوبعدی استفاده می‌شود؛ ولی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

در واقع این فاصله، فاصله حقیقی جهت رسیدن از یک نقطه به نقطه ای دیگر نمی‌باشد و استفاده صرف از این فاصله، قطعاً نمی‌تواند در تحلیل‌های فضایی مورد اطمینان باشد. در تحقیق حاضر با توجه به اینکه ماهیت فاصله مورد نظر، فاصله عملکردی است، بنابراین از این فاصله جهت اجرای الگوریتم‌های فوق در محیط نرم افزار MATLAB 2016 استفاده شده است. در قالب شکل(۸)، چگونگی دریافت فواصل زمانی و مکانی در محیط ArcGIS و در قالب جداول(۲ و ۱) قسمتی از ماتریس ۴۸*۴۸ فواصل بین نقاط از نظر زمانی و طولی ارائه شده است. همانگونه ملاحظه می‌گردد با توجه به دریافت اطلاعات ورودی از شبکه واقعی، فاصله نود به نود در دو مسیر از – به و به – از با یکدیگر متفاوت است.



شکل(۷). چگونگی پراکنش فضاهای باز عمومی شهر **شکل(۸). دریافت اطلاعات فواصل مکانی و زمانی بین فضاهای باز**

جدول(۱). ماتریس فاصله مکانی (عملکردی) بین فضاهای باز عمومی شهر بر حسب متر

	L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7	L 8	L 9	L 10	L 11	L 12	L 13	...	L 48
L 1	۰	۲۱۵۷	۲۳۴۶	۳۳۳۳	۱۳۹۲	۱۰۲۲	۲۵۷۰	۲۸۶۶	۱۵۷۴	۱۳۸۲	۲۳۹۵	۲۷۱۱	۲۹۹۲		۳۷۶۵
L 2	۲۳۰۴	۰	۳۹۸۲	۴۹۶۹	۱۸۴۶	۱۹۲۷	۳۵۹۳	۲۳۳۷	۲۹۰۴	۲۷۱۲	۱۱۶۵	۱۴۸۲	۳۱۳۸		۵۴۰۰
L 3	۲۱۴۲	۴۲۸۱	۰	۱۳۶۵	۳۴۲۵	۲۷۷۲	۲۵۱۵	۴۲۴۷	۲۴۴۲	۲۲۵۰	۴۲۴۷	۴۵۶۳	۳۱۰۷		۲۲۳۰
L 4	۲۹۳۶	۵۰۷۵	۱۲۰۴	۰	۴۲۱۹	۳۵۶۶	۲۸۷۲	۵۰۴۲	۳۲۳۶	۳۰۴۴	۵۲۲۲	۵۵۳۹	۳۴۶۴		۱۷۲۲
L 5	۱۹۱۱	۹۴۸	۳۲۲۷	۴۲۱۴	۰	۱۱۲۳	۳۲۰۰	۲۶۶۰	۲۵۱۰	۲۳۱۹	۱۰۵۸	۱۳۷۵	۳۴۶۱		۴۶۴۵
L 6	۱۳۶۹	۱۷۱۶	۲۴۳۱	۳۴۱۹	۷۶۸	۰	۳۳۶۱	۳۴۲۸	۲۳۶۵	۲۱۷۳	۱۷۷۱	۲۰۸۸	۳۷۸۳		۳۸۵۰
L 7	۲۴۲۲	۳۹۰۲	۲۴۹۶	۲۸۴۹	۳۸۱۴	۳۴۴۴	۰	۲۹۱۸	۲۲۵۹	۲۰۶۷	۴۴۰۲	۴۷۱۸	۱۰۶۹		۴۵۷۱
L 8	۲۹۱۷	۲۳۲۵	۴۵۹۴	۵۰۹۲	۳۵۰۵	۳۵۴۰	۲۹۰۴	۰	۲۹۹۴	۲۸۰۲	۳۱۶۰	۳۴۷۶	۲۱۵۳		۶۰۱۲
L 9	۸۵۷	۱۸۳۹	۲۵۳۴	۳۵۲۱	۲۰۳۳	۱۸۷۹	۲۳۸۹	۲۵۴۸	۰	۱۲۶۵	۲۳۲۶	۲۶۴۳	۲۶۷۳		۳۹۵۳
L 10	۹۱۷	۲۰۳۱	۲۵۹۵	۳۵۸۲	۲۲۲۵	۱۹۳۹	۱۶۳۳	۲۶۰۱	۱۹۲	۰	۲۵۱۸	۲۸۳۵	۲۲۰۱		۴۰۱۳
L 11	۳۷۳۳	۲۵۳۵	۴۶۰۴	۴۹۳۳	۲۵۸۱	۲۵۱۵	۵۳۲۸	۴۵۴۱	۴۳۳۳	۴۱۴۱	۰	۱۸۰۸	۵۳۴۲		۵۳۶۴
L 12	۵۳۷۶	۳۸۰۵	۷۰۵۴	۸۰۴۱	۵۶۱۴	۵۶۹۵	۶۴۲۷	۴۱۲۹	۵۹۷۶	۵۷۸۴	۴۹۷۰	۰	۵۷۵۴		۸۴۷۲
L 13	۲۳۱۰	۲۸۳۳	۳۸۹۱	۴۲۴۴	۳۴۹۱	۳۳۳۱	۱۹۵۴	۱۸۴۹	۲۱۴۷	۱۹۵۵	۳۶۶۸	۳۹۸۴	۰		۵۴۰۵
...															
L 48	۳۳۰۴	۵۴۶۰	۲۶۰۸	۱۹۵۹	۴۵۱۳	۳۸۵۹	۴۸۳۱	۶۱۷۰	۴۶۲۳	۴۴۳۱	۴۷۴۰	۵۰۵۷	۵۴۲۴		

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

جدول(۲). ماتریس فاصله زمانی (عملکردی) بین فضاهای باز عمومی شهر برحسب دقیقه

	L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7	L 8	L 9	L 10	L 11	L 12	L 13	...	L 48
L 1	۰	۶/۵۱	۷/۰۵	۷/۹۸	۳/۷۴	۳/۲۱	۱۱/۰۴	۹/۱۸	۵/۲۴	۴/۴۷	۶/۵۳	۷/۱۲	۹/۶۳		۷/۴۳
L 2	۶/۶۲	۰	۷/۶۴	۷/۲۴	۴/۴۰	۴/۴۵	۱۱/۴۶	۶/۵۹	۱۰/۲۱	۹/۴۵	۳/۳۵	۳/۹۴	۸/۳۳		۶/۶۹
L 3	۶/۱۳	۹/۸۸	۰	۳/۷۳	۸/۳۶	۷/۱۸	۸/۴۹	۱۰/۹۶	۵/۵۸	۴/۸۱	۶/۴۶	۷/۰۶	۸/۷۸		۴/۹۰
L 4	۷/۸۴	۱۰/۶۲	۳/۱۴	۰	۹/۲۹	۸/۵۴	۹/۰۵	۱۲/۶۷	۷/۲۹	۶/۵۲	۷/۲۰	۷/۷۹	۹/۱۳		۳/۵۲
L 5	۴/۳۵	۲/۷۶	۷/۵۳	۷/۱۳	۰	۲/۱۳	۱۱/۷۰	۶/۸۴	۷/۶۴	۶/۸۷	۲/۷۸	۳/۳۸	۸/۵۸		۶/۵۸
L 6	۳/۱۹	۴/۲۹	۶/۱۶	۵/۷۵	۱/۵۳	۰	۱۱/۰۳	۸/۳۷	۷/۴۰	۶/۶۳	۴/۳۱	۴/۹۱	۱۰/۱۱		۵/۲۰
L 7	۱۰/۱۵	۱۰/۴۰	۸/۱۱	۸/۶۱	۱۲/۰۹	۱۲/۳۹	۰	۷/۰۹	۹/۶۰	۸/۸۴	۱۲/۷۵	۱۳/۳۴	۲/۲۴		۱۱/۵۴
L 8	۹/۵۳	۶/۲۴	۱۱/۳۴	۱۰/۹۳	۸/۲۶	۸/۱۴	۷/۹۰	۰	۹/۲۰	۸/۴۳	۷/۴۶	۸/۰۵	۴/۷۸		۱۰/۳۸
L 9	۳/۱۱	۶/۵۸	۸/۳۳	۹/۸۹	۶/۶۱	۵/۹۰	۱۱/۰۹	۸/۳۹	۰	۴/۶۵	۷/۶۲	۸/۲۱	۸/۸۴		۹/۳۴
L 10	۳/۱۹	۷/۳۵	۸/۴۱	۹/۸۲	۶/۹۴	۵/۹۸	۸/۶۵	۸/۳۷	۰/۷۷	۰	۸/۳۹	۸/۹۸	۷/۶۹		۹/۴۲
L 11	۶/۹۸	۴/۸۹	۸/۰۰	۷/۶۰	۵/۳۱	۴/۸۱	۱۴/۸۲	۹/۳۰	۱۱/۳۶	۱۰/۵۹	۰	۲/۰۷	۱۲/۲۳		۷/۰۵
L 12	۹/۴۰	۵/۳۳	۱۰/۴۳	۱۰/۰۳	۷/۹۸	۷/۲۳	۱۴/۰۸	۷/۲۳	۱۳/۶۸	۱۲/۹۲	۶/۵۵	۰	۱۰/۹۵		۹/۴۷
L 13	۷/۹۱	۸/۱۵	۱۰/۱۱	۱۰/۶۲	۹/۸۵	۱۰/۱۵	۵/۰۰	۴/۸۵	۷/۳۶	۶/۵۹	۱۰/۵۱	۱۱/۱۰	۰		۱۳/۵۴
...															
L 48	۷/۶۲	۸/۱۵	۵/۵۱	۴/۴۸	۶/۸۲	۶/۰۶	۱۲/۴۹	۱۱/۷۲	۹/۷۶	۸/۹۹	۴/۷۳	۵/۳۲	۱۲/۴۸		

نتایج

در مسائل بهینه‌سازی، هدف بیشینه‌سازی یا کمینه‌سازی تابع هدف به گونه‌ای است که ضمن برآورده شدن اهداف، شرایط خاتمه الگوریتم نیز محقق گردد. نوع تابع هدف تحقیق حاضر، از نوع کمینه‌سازی بوده و الگوریتم‌های مورد استفاده سعی در کمینه‌سازی هزینه انتقال و تردد بین نودهای شبکه با حفظ استانداردها و ضوابط کلی الگوریتم فروشنده دوره‌گرد را دارند. در این پژوهش دو الگوریتم کلونی مورچگان و رقابت استعماری از یک سو و سیستم اطلاعات مکانی از سویی دیگر مورد استفاده قرار گرفتند. تعداد نقاط در نظر گرفته شده برابر با ۴۸ نقطه است. این نقاط در واقع مناطقی هستند که جهت اسکان موقت در مقطع زمانی پس از زلزله در نظر گرفته شده‌اند. شایان ذکر است که الگوریتم طراحی شده با انجام تغییرات کوچک در برخی از پارامترهای مورد استفاده، می‌تواند سناریوهای دیگر را نیز تحت پوشش خود قرار دهد. به عنوان مثال با افزایش تعداد آزمایشگاه‌های سیار می‌توان ضمن انجام طبقه‌بندی و کاستن از تعداد نقاط شبکه موجود، الگوریتم را به صورتی دیگر اجرا نمود. در تحقیق حاضر سخت‌گیرانه‌ترین سناریوی ممکن لحاظ شده است و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

فرض بر آن بوده که کمترین امکانات در شهر موجود بوده و به این ترتیب ساکنین مستقر در هر ۴۸ نقطه اسکان موقت، باید به صورت یکپارچه و توسط یک آزمایشگاه سیار مورد آزمایش‌های بالینی قرار بگیرند.

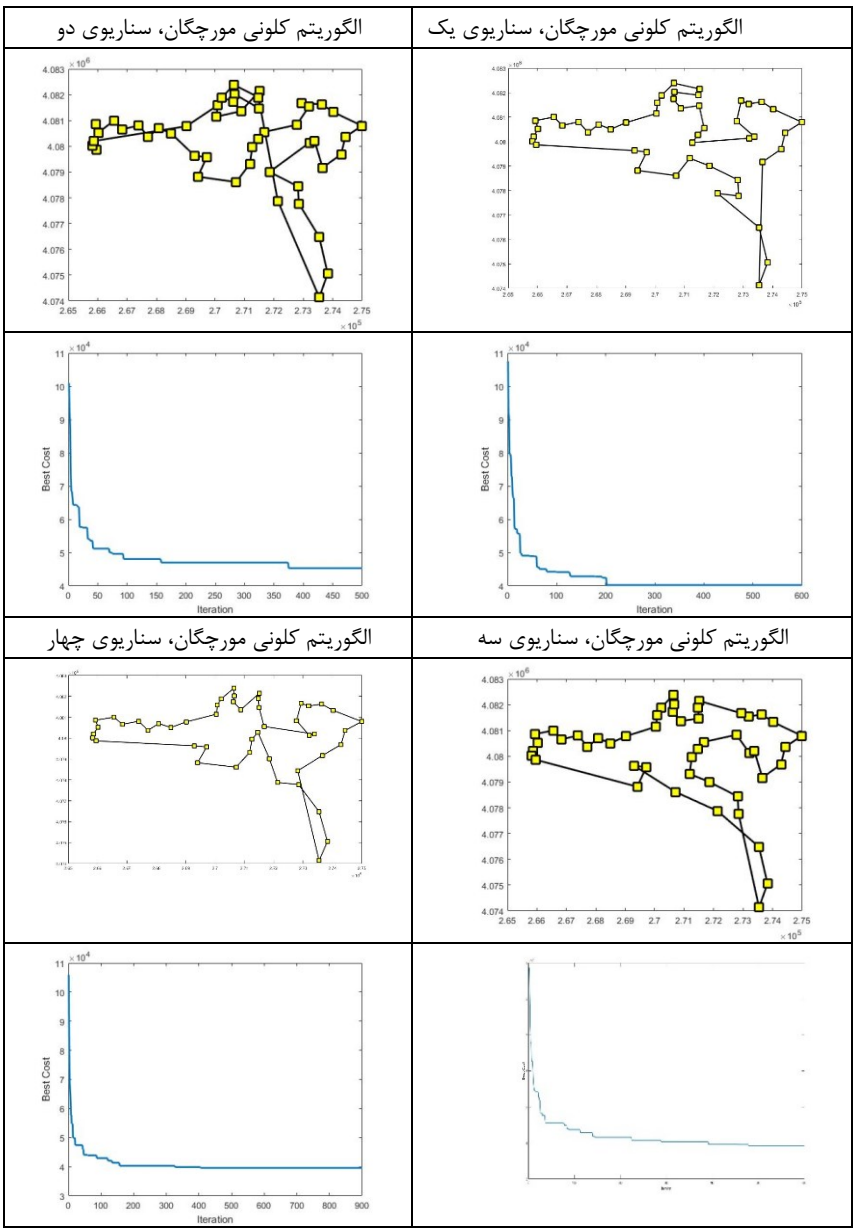
شبکه بکار گرفته شده از نوع شبکه واقعی و منطبق بر موقعیت مکانی شبکه راه‌های شهر گرگان می‌باشد. تعداد نقاط این شبکه برابر با ۸۱۴۷ نقطه و تعداد یال‌های آن نیز برابر با ۹۸۶۹ یال می‌باشد. شبکه در نظر گرفته شده از نظر ماهیت، جهت‌دار می‌باشد به طوری‌که زمان و در برخی از شرایط فاصله هزینه انتقال از ابتدا به انتها مساوی با انتها به ابتدا نمی‌باشد. با عنایت به این که مقادیر پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم، تأثیر زیادی در زمان و مسافت بهینه دارد، در تحقیق حاضر برای هر یک از الگوریتم‌های کلونی مورچگان و رقابت استعماری، با تغییر در پارامترهای الگوریتم، ۱۵ سناریوی مختلف اجرا شده است. در جدول(۳)، ۴ نمونه از سناریوهایی که بهترین خروجی و پاسخ را در هریک از الگوریتم‌های فوق داشتند، ارائه شده است. در اجرای الگوریتم دایجسترا در محیط GIS نیز، دو ضابطه زمان و طول مورد بررسی قرار گرفتند. در مجموع در بین الگوریتم‌های مورد استفاده، از نظر زمان، الگوریتم کلونی مورچگان و دایجسترا (در محیط GIS)، نسبت به الگوریتم رقابت استعماری، حالت بهینه‌تری دارند. در بین سناریوهای مورد استفاده در الگوریتم مورچگان، پارامترهای مورد استفاده در سناریوی ۲، ۳ و ۴ نسبت به سایر سناریوها، همخوانی بهتری را با تابع تحقیق، نشان می‌دهد. سناریوی ۳ الگوریتم رقابت استعماری نیز نسبت به سایر سناریوهای مورد استفاده در این الگوریتم قابلیت بهتری دارد. از نظر مسافت لازم جهت ملاقات تمام نقاط مورد نظر توسط مسأله فروشنده دوره گرد نیز، وضعیت مشابه ضابطه زمان می‌باشد. به طوریکه تمامی سناریوهای استفاده شده در الگوریتم کلونی مورچگان نسبت به GIS و الگوریتم رقابت استعماری حالت بهینه‌تری را ارائه می‌نمایند.

جدول(۳). پارامترها و سناریوهای مورد استفاده در الگوریتم های ACO، ICA و محیط GIS

GIS		الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان					الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری				
از نظر طول	از نظر زمان	سناریوی ۴	سناریوی ۳	سناریوی ۲	سناریوی ۱	پارامتر	سناریوی ۴	سناریوی ۳	سناریوی ۲	سناریوی ۱	پارامتر
		۶۰۰	۹۰۰	۶۰۰	۶۰۰	حداکثر تعداد تکرار(MaxIt)	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	حداکثر تعداد تکرار(MaxIt)
		۱۰۰	۱۰۰	۸۰	۴۰	تعداد مورچه ها (nAnt)	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	اندازه جمعیت (nPop)
		۱	۱	۱	۱	وزن فرومون (alpha)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	تعداد امپراتوری ها(nEmp)
		۱	۱	۱	۱	وزن اطلاعات هیوریستسک (beta)	۰/۳	۰/۵	۱	۱	فشار انتخاب (alpha)
		۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	ضریب تبخیر	۱	۱	۱/۵	۲	ضریب ادغام (beta)
							۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	احتمال انقلاب
							۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	ضریب انقلاب
/۴۴ ۱۴۳	۱۳۲/۱	۱۳۱/۹۵	۱۳۱/۵۵	۱۳۱/۵۲	/۳۵ ۱۳۵		۱۶۷/۵۱	۱۶۰/۴۲	۱۶۱/۱۴	/۷۶ ۱۸۲	**زمان کلی بر حسب دقیقه**
۶۲۲۹۶	۶۳۹۴ ۳	۶۰۵۴۸	۶۰۵۴۵	۶۱۰۳۴	۶۱۰۷۶		۸۹۸۲۶	۷۵۳۲۶	۷۸۲۰۷	۹۰۳۳۲	**مسافت کلی بر حسب متر**

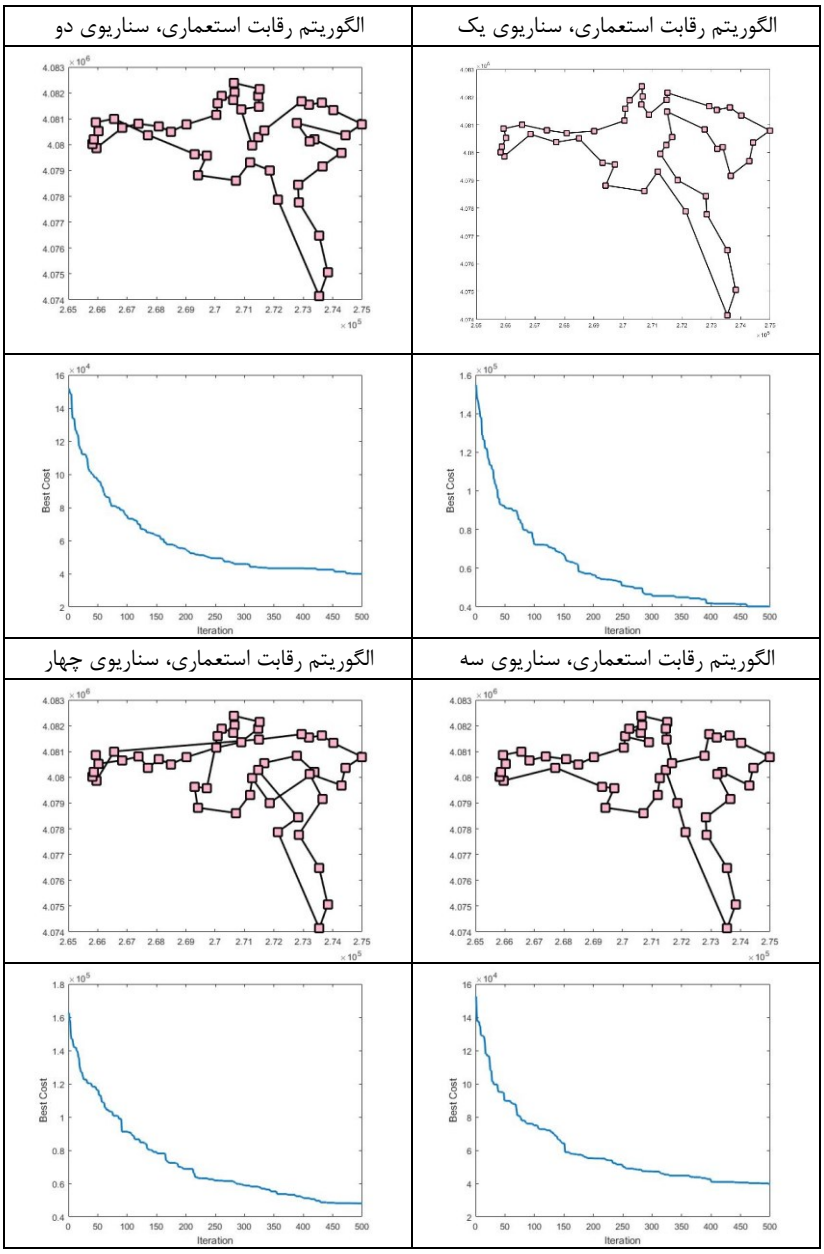
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

در قالب اشکال(۱۰ و ۹) تابع مورد استفاده در چهار سناریویی که در الگوریتم‌های کلونی مورچگان و رقابت استعماری کمترین میزان تابع هدف را داشته اند، ارائه شده است.



شکل(۹). چهار سناریوی برتر الگوریتم کلونی مورچگان

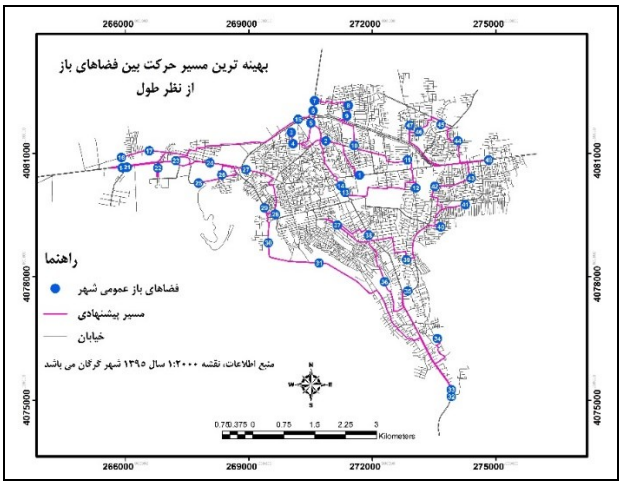
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]



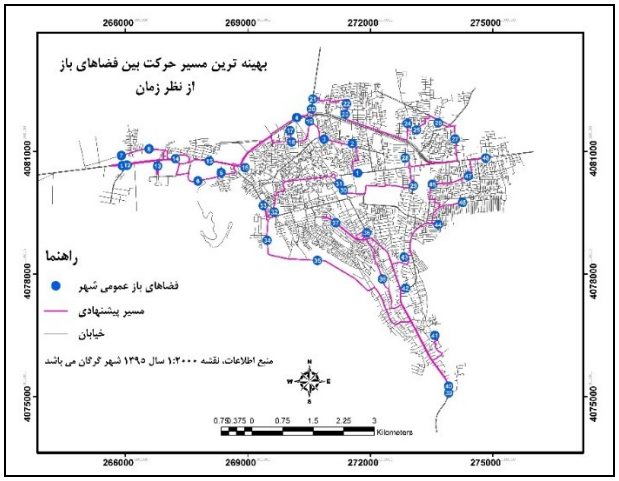
شکل(۱۰). چهار سناریوی برتر الگوریتم رقابت استعماری

بهینه‌ترین مسیر حرکت بین فضاهای باز از نظر طول و زمان در محیط GIS، در قالب اشکال(۱۲ و ۱۱) ارائه شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]



شکل(۱۱). بهینه‌ترین مسیر حرکت بین فضاهای باز از نظر طول



شکل(۱۲). بهینه‌ترین مسیر حرکت بین فضاهای باز از نظر زمان

نتیجه‌گیری

بسیاری از مسائلی که امروزه بشر با آن ها سروکار دارد، دارای جواب مستقیم و قطعی نمی‌باشند. در واقع پیچیدگی و نیاز به حجم بالای محاسبات، رسیدن به جواب و راه حل قطعی را با چالش مواجه می‌سازد. در اینچنین موارد معمولاً از روش‌های فراابتکاری و هوش محاسباتی جهت بهینه‌سازی و حل مسأله استفاده می-شود. کاربرد این روش‌ها برای حل مسائلی که اصطلاحاً حالت NP-HARD دارند، روز به روز در حال افزایش است. ولی در این بین مشکلی که در مورد اینگونه الگوریتم‌ها مشهود می‌باشد این است که، الگوریتم‌های حاضر معمولاً در حل مسائلی که علاوه بر عدم قطعیت، دارای بعد مکانی هستند، توانایی لازم و کافی را ندارد. از سویی دیگر در سالیان اخیر، فن‌آوری سیستم‌های اطلاعات مکانی توانسته است به عنوان راهبردی مطمئن، در

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

مورد حل مسائل مرتبط به مکان مورد استفاده قرار گیرد. تحلیل‌های مکانی قابل اجرا در محیط این سامانه، عملاً می‌تواند ورودی مطمئنی را برای تحلیل در علوم بهینه‌سازی فراهم نمایند.

در مطالعه حاضر در واقع جهت حل مسأله فروشنده دوره‌گرد، تلفیقی یکپارچه از سیستم‌های اطلاعات مکانی و الگوریتم‌های متاهیوریستیک استفاده شده است. بر این اساس نقاط بازدید تور(فضاهای باز عمومی) در محیط GIS تعیین شده و پس از ایجاد شبکه بر اساس خصوصیات شبکه شهری گرگان و اجرای الحاقیه تحلیل شبکه، موقعیت مکانی و همچنین فاصله عملکردی آن‌ها پس از انجام تحلیل OD-COST در محیط ArcGIS 10.3 و تهیه ماتریس فاصله زمانی و مکانی، به محیط نرم افزار MATLAB 2016 وارد شده است. این ماتریس در واقع جایگزین ماتریس فاصله اقلیدوسی معمول در محیط دوبعدی، گردیده است. در ادامه توانمندی و کارآیی الگوریتم‌های کلونی مورچگان، رقابت استعماری و دایجسترا در محیط GIS، جهت حل مسأله فروشنده دوره-گرد در یک زمان و موقعیت احتمالاتی مورد بررسی قرار گرفت. در واقع با توجه به شرایط غیر قطعی مقطع زمانی پسازلزله، بالتبع فرایند مسیریابی در این ساختار نیز، با عدم قطعیت همراه خواهد بود. ولی به هرحال استفاده از الگوریتم‌هایی که بتوانند با ساده‌سازی فرایندها در این شرایط غیر قطعی و احتمالاتی، کارآیی کافی را داشته باشند، جهت مدیریت بحران مفید خواهد بود.

لازم به ذکر است که در تحقیق حاضر قبل از اجرای تحلیل شبکه، راه‌های شهری گرگان در مطالعه‌ای جداگانه در قالب سه کلاس مسدود شده، نیمه مسدود و غیر مسدود طبقه‌بندی گردیدند؛ ولی با عنایت به ماهیت کار و زمان اجرای الگوریتم که معمولاً چند روز پس از وقوع زلزله احتمالی است(خطر شیوع بیماری ها معمولاً چند روز بعد از زلزله و پس از اجرای مرحله اسکان موقت صورت می‌گیرد) از در نظر گرفتن بحث انسداد راه خودداری شده است.

همانگونه که قبلاً نیز ذکر گردید، تابع هدف این پژوهش، از نوع کمینه‌سازی بوده و الگوریتم‌های مورد استفاده ضمن رفع قیود مسأله و دریافت شرایط خاتمه اجرای فرایند بهینه‌سازی، سعی در کمینه‌سازی مدت زمان ارائه خدمت به نقاط مشتری تعریف شده را دارند. در تحقیق حاضر علی‌رغم شرایط سخت مسأله، هر سه الگوریتم، قابلیت بالایی جهت اجرای مدل را ارائه دادند ولی در این بین، الگوریتم کلونی مورچگان که مبتنی بر هوش ازدحامی و ترکیبی مورچه‌ها است، نسبت به الگوریتم‌های دایجسترا و رقابت استعماری در حالت کلی، کارآیی بالاتری را نشان داده است.

منابع

احد نژاد، محسن؛ زلفی، علی؛ نوروزی، محمد جواد و جلیلی، کریم.(۱۳۹۰). **ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی شهرها در برابر زلزله نمونه موردی(شهر خرمدره)**، فصلنامه جغرافیایی چشم انداز زاگرس، ۳(۷): ۹۸ -۸۱.

استانداری استان گلستان.(۱۳۹۶). **چکیده نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ استان گلستان**. سازمان برنامه و بودجه، معاونت آمار و اطلاعات، صص ۲۰-۱.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]

[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

اشراقی، مهدی، (۱۳۸۵)، **مکان‌یابی اماکن اسکان موقت جمعیت‌های آسیب دیده از زلزله با بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی(منطقه ۲ تهران)**، تهران، دومین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیر مترقبه طبیعی.

اصغری زمانی، اکبر.(۱۳۹۳)، **بررسی کیفیت دسترسی به فضاهای باز شهری به هنگام وقوع حوادث غیرمترقبه طبیعی(مطالعه موردی شهر تبریز)**. نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۸(۴۸): ۱۶ – ۱.

آتش‌پز گرگری، اسماعیل؛ کارو، لوکس؛ نیلی احمد آبادی، مجید و بخار اعرابی، بابک.(۱۳۸۷). **توسعه الگوریتم بهینه‌سازی اجتماعی و بررسی کارآیی آن**، رساله کارشناسی ارشد مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق دانشگاه تهران.

پورمحمدی، محمدرضا و مصیب زاده، علی.(۱۳۸۷). **آسیب‌پذیری شهرهای ایران در برابر زلزله و نقش مشارکت محله‌ای در امدادرسانی آن‌ها**. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۶: ۱۴۴ – ۱۱۷.

جاسبی، جواد و مکوندی، پیام.(۱۳۹۰). **مدل‌سازی فرآیند پیش‌بینی سفر در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل درون شهری مبتنی بر رویکرد ترکیبی استنتاج فازی**، فراسوی مدیریت، ۵(۱۷): ۳۲ - ۷.

حاله، حسن و اسماعیلی علی آبادی، دانیال. (۱۳۹۴). **بهبود الگوریتم رقابتی کلونی استعمارگران با استفاده از عملگر یادگیری استعمارگران و کاربرد آن در حل مسأله فروشنده دوره گرد**. مجله مدیریت توسعه و تحول، ۲۲: ۶۱ – ۵۵.

حسینی‌دوست، سیدرضا؛ حاتمی، حسین؛ ایزدی، مرتضی و حسینی، سید محمد جواد.(۱۳۸۵). **مدیریت بهداشتی- درمانی بیماری‌های عفونی در بلایای طبیعی و تهدیدهای بیولوژیک**، طب نظامی، ۸(۳): ۲۲۹ – ۲۱۹.

خانکه، حمیدرضا. (۱۳۹۱). **آمادگی بیمارستانی در حوادث و بلایا(برنامه کشوری)**، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، مرکز تحقیقات توانبخشی در حوادث و بلایا، چاپ کاریا، ۲۴۰ صفحه.

خمر، غلامعلی.(۱۳۹۶). **کاربرد الگوریتم اجتماع مورچه در مسیریابی بهینه گروه‌های امدادی بین شهری**، مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۷(۲۳): ۵۲ -۴۱.

خمر، غلامعلی؛ صالح گوهری، حسام الدین و حسینی، زهرا، (۱۳۹۳)، **امکان سنجی مکان‌گزینی پناهگاه‌های شهری با استفاده از مدل(IO) و روش(AHP) (مطالعه موردی: محلات ۱۳ گانه منطقه یک شهر کرمان)**. فصلنامه مطالعات برنامه‌ریزی شهری، **۲(۷)**: ۵۴ – ۲۹.

زرکش‌زاده، مهدی؛ حشمتی، زینب‌الهدی؛ زارع، هادی و تیموری، مهدی.(۱۳۹۴). **ارائه روشی بهینه در اعزام آمبولانس مبتنی بر شبکه‌های پیچیده و هوش مصنوعی**، فصلنامه علمی – پژوهشی فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران، ۷(۲۳ و ۲۴): ۷۸- ۶۳.

سرگلزائی، عالیه و وفائی نژاد، علیرضا.(۱۳۹۶). **یافتن کوتاه‌ترین مسیر شبکه با استفاده از الگوریتم بهینه-سازی فاخته در سیستم اطلاعات مکانی**، نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، ۶(۴): ۲۳۱-۲۳۹.

شادی فر، غزاله.(۱۳۹۵). **بهره‌گیری از دانش و هنر بومی برای دستیابی به سرپناه موفق ارزان قیمت نمونه موردی: سیل ۲۰۱۰ پاکستان**. فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۶(۱): ۳۱ – ۲۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]

[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

غریبی، فرید؛ کوشا، احمد؛ فرج الله بیک نوری، محسن؛ فیروز نیا، رزیتا و روحانی مجد، سمیه.(۱۳۹۳). **بررسی وضعیت بهداشتی مناطق زلزله زده آذربایجان در زلزله مرداد ۹۱ از طریق تکنیک ارزیابی سریع**، فصلنامه علمی- پژوهشی امداد و نجات، ۶(۱): ۴۲ -۳۱.

فاطمی، فرین؛ محمدی، حامد؛ اردلان، علی و ندافی، کاظم.(۱۳۹۲). **ارزیابی وضعیت و عملکرد بهداشت محیط در زلزله استان آذربایجان شرقی**، مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، ۶(۲): ۱۸۶ -۱۷۷.

فلاح پور، سعید و ارم، اصغر.(۱۳۹۵). **پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان**، تحقیقات مالی، ۱۸(۲): ۳۶۸ -۳۴۷.

قربانی، غلامعلی؛ جنیدی، نعمت الله؛ مهرابی توانا، علی و طالبی، سهیل.(۱۳۸۴). **بررسی فراوانی عفونت روده‌ای تا یک ماه بعد از زلزله بم در سال ۱۳۸۲**، طب نظامی، ۷(۴): ۳۴۱- ۳۳۷.

قنبری، وجیهه؛ رضائیان، جواد و مهدوی، ایرج.(۱۳۹۵). **الگوریتم فراابتکاری کلونی مورچگان برای مسأله مسیریابی اتوبوس مدرسه**، مهندسی حمل و نقل، ۸(۱): ۱۰۹ -۸۹.

کریمی صالح، محمد جعفر.(۱۳۸۵). **برنامه‌ریزی شهری مقابله با سوانح طبیعی**، اولین همایش مقابله با سوانح طبیعی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

کمالی، احمد؛ سجادی، سید مجتبی و جولای، فریبرز.(۱۳۹۷). **مکان‌یابی پایگاه‌های اورژانس پزشکی به کمک تلفیق روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی(مطالعه موردی: پایگاه‌های اورژانس شهری اصفهان)**، مدیریت اطلاعات سلامت، ۱۵(۲): ۶۷ – ۶۱.

مرادی سلوشی، بهرام و وفایی نژاد، علیرضا.(۱۳۹۵). **تعیین ظرفیت شبکه ریلی ایران با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی(GIS)**، نشریه علمی-پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، ۶(۳): ۲۲ -۱۵.

مسائلی، مریم و درویشی، محمد.(۱۳۹۵). **رخداد بیماری‌های عفونی پس از بلایای طبیعی و نقش نیروهای مسلح در کنترل و پیشگیری آن‌ها**، فصلنامه پرستار و پزشک در رزم، ۴(۱۱ و ۱۰):۷۹ – ۷۲.

مطلق، محمد اسماعیل؛ اولیایی منش، علیرضا و بهشتیان، مریم.(۱۳۸۷). **سلامت و عوامل اجتماعی تعیین کننده آن**. انتشارات موفق، چاپ دوم. ۹۸ صفحه.

مطیعیان، حمید؛ مسگری، محمد سعدی و نعیمی، احمد.(۱۳۹۱). **بهینه‌سازی مسیر تردد سرویس‌های حمل و نقل یک شرکت با استفاده از خوشه بندی و الگوریتم ژنتیک**، مهندسی حمل و نقلف ، ۳(۴): ۳۷۸- ۳۶۵.

یوسفی، مجید و رحمتی، فرهاد.(۱۳۹۰). **یک الگوریتم بهبودیافته جمعیت مورچگان برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با دریافت و تحویل همزمان کالا**. پژوهشنامه حمل ونقل، ۸(۲): ۱۹۸ – ۱۸۳.

Akbari M E, Farshad AA, Asadi Lari, M. (2004). **The devastation of Bam; on overview of health issues 1 month after the earthquake**. Public Health Sep; 118 (6): 403-408.

Ardalan A, Pourmalek F, Mohammadi H, Russel M. (2005). **Concise emergency country profile: Islamic Republic of Iran**. Tehran: Ministry of Health and Medical Education.

Atashpaz-Gargari E, Hashemzadeh F, Rajabioun R, and Lucas C. (2008) **Colonial Competitive Algorithm, a novel approach for PID controller design in MIMO distillation column process.** International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics, 1 (3): 337–355.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]

[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

Atashpaz-Gargari E, Lucas C. (2009). **Imperialist competitive algorithm for minimum bit error rate beamforming**. Int. J. Bio-Inspired Comput. 2009, 1, 125–133.

Bagheri Tolabi H, Moradi MH, Shahrin Bin M.A, and Zandebasiri M R. **New Technique for Global Solar Radiation Prediction using Imperialist Competitive Algorithm.** Journal of Basic and Applied Scientific Research. 3(3)958-964.2013.

Bahrami H, Abdechiri M, Meybodi M R. **Imperialist Competitive Algorithm with Adaptive Colonies Movement**. I.J. *Intelligent Systems and Applications*. 2, 49-57. 2012.

Bernal E, Castillo O, Soria J and Valdez F. (2017). **Imperialist Competitive Algorithm with Dynamic Parameter Adaptation Using Fuzzy Logic Applied to the Optimization of Mathematical Functions**. Algorithms 2017, 10, 18; doi: 10.3390/a10010018. www.mdpi.com/journal/algorithms. 2017.

Celik U, Yurtay N. 2017. **An ant colony optimization algorithm-based classi_cation for the diagnosis of primary headaches using a website questionnaire expert system**, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, (2017) 25: 4200 - 4210. doi:10.3906/elk-1612-178.

Chen C C, Yeh T L, Yang Y K, & Chen S J. (2001). **Psychiatric morbidity and posttraumatic symptoms among survivors in the early stage following the 1999 earthquake in Taiwan**. Psychiatry Research, 105, 13-22.

Duan H, Chunfang Xu, Senqi Liu, Shan Shao. (2010). **Template matching using chaotic imperialist competitive algorithm**. Pattern Recognition Letters 31. 1868–1875.

Gargari A, Lucas E. (2007). **Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization spired by imperialistic competition**. IEEE Congress on Evolutionary Computation, p.4661-4667. [doi:10.1109/CEC.2007.442 5083].

Geetha Devasena MS, Gopu G, Valarmathi ML. (2016). **Automated and Optimized Software Test Suite Generation Technique for Structural Testing**. Int J Softw Eng Knowl Eng 26:1-13. doi: 10.1142/S0218194016500017.

Goldberg JB. (2004). **Operations research models for the deployment of emergency services vehicles**. EMS Mgmnt J 2004; 1(1): 20-39.

Gordan M, Abdul Razak H, Ismail Z, Ghaedi Kh. (2018). **Data mining based damage identification using imperialist competitive algorithm and artificial neural network**. Latin American Journal of Solids and Structures. versão impressa ISSN 1679-7817versão On-line ISSN 1679-7825. http://dx.doi.org/10.1590/1679-78254546. 15(8):1 – 14.

Lee S. (2012). **Centrality-Based ambulance dispatching for demanding emergency situations**, J. Oper. Res. Soc., 4(64): 610 – 618.

Lian K, Zhang C, Gao L, Shao X. (2012). **A modified colonial competitive algorithm for the mixed-model U-line balancing and sequencing problem**. Int. J. Prod. Res. 2012, 50(18): 5117–5131.

Lucas C, Nasiri-Gheidari Z, Tootoonchian F. (2010). **Application of an imperialist competitive algorithm to the design of a linear induction motor.** Energy Conversion and Management, Elsevier, pp 1407–1411.

Mavrovouniotis M, Müller Felipe M and Yang Sh. (2017). **Ant Colony Optimization with Local Search for Dynamic Travelling Salesman Problems**, IEEE TRANSACTIONS ON CYBERNETICS, VOL. XX, NO. YY, APRIL 2017, 47(7): 1743 -1756.

Moadi S, Mohaymany A SH, Babaei M. (2011). **Application of Imperialist Competitive Algorithm to the Emergency Medical Services Location Problem**. International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIA), 2(4): 137 – 147.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]

Mousavi Rad S J, Akhaghian Tab F, Mollazade K. (2012) **Application of Imperialist Competitive Algorithm for Feature Selection: A Case Study on Bulk Rice Classification**. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), 40(16): 41 – 48.

Nathan M, Thielman R, Guerrant L. (2004). **Acute infectious diarrhea**. New England J 2004 Jan; 150(1): 35-97.

Sadaei H J, Enayatifar R, Lee M H, Mahmud M. (2016). **A hybrid model based on differential fuzzy logic relationships and imperialist competitive algorithm for stock market forecasting**. Applied Soft Computing, 40, 132-149.

Safari Mamaghani A, Meybodei M R. (2011). **An Application of Imperialist Competitive Algorithm to Solve the Quadratic Assignment Problem.** 6th International Conference on Internet Technology and Secured Transaction, 11 – 14 December, Abu Dhabi, United Arab Emirates.562 – 565.

Saif S M. (2016). **An Improved Imperialist Competitive Algorithm Based on a New Assimilation Strategy**. Journal of Advances in Computer Engineering and Technology, 2(2) 2016. 23 – 32.

Wilde E T. (2013). **Do Emergency Medical System Response Times Matter for Health Outcomes**, Health Econ., 22(7): 790 – 806.

Wisner B, Adams J. (2002). **Environmental Health in Emergencies and Disasters**. Geneva: World Health Organization. ISBN 92 4 154541 0, 252p.

Xiujuan Zhao, Graham Coates, Wei Xu. (2017). **Solving the earthquake disaster shelter location-allocation problem using optimization heuristics, Analytical Modeling and Simulation**, Proceedings of the 14th ISCRAM Conference – Albi, France, May 2017. 50 - 62.

Yang Y K, Yeh T L, Chen C C, Lee C K. (2003). **Psychiatric morbidity and posttraumatic symptoms among earthquake victim in primary care clinics**. General Hospital Psychiatry, 25(4): 253-261.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.61.8.6]

[DOI: 10.52547/jgs.21.61.177]