مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال هجدهم، شماره دوم (پیاپی ۶۹)،تابستان ۰۰، ص ص ۵۸-۳۷
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

به‌کارگیری الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه برای مسیریابی خودروهای امدادی با در نظر گرفتن خرابی مسیر و خرابی خودروها

خداکرم سلیمی فرد[۱]، محمدحسین کبگانی[۲*]

۱- دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده کسب و کار و اقتصاد، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

۲- دانشجوی دوره دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده کسب و کار و اقتصاد، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

رسید مقاله: ۲۱ شهریور ۱۳۹۸

پذیرش مقاله: ۵ مهر ۱۳۹۹

چکیده

توسعه شتابان شهرها و ازدیاد روز افزون جمعیت شهری در دهه‌های اخیر، برنامه‌ریزی، مدیریت و کنترل شهرها را بیش از پیش با مشکل مواجه کرده است. این مشکل در زمان وقوع بحران‌های طبیعی و به ویژه زمانی که با ناهنجاری‌های اجتماعی همراه می‌شوند، بسیار پیچیده‌تر می‌گردد. از این‌رو مسیریابی خودروهای امدادی در شرایط بحران از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش، مساله مسیریابی خودروهای امدادی با در نظر گرفتن خرابی مسیر و خرابی خودروهای امدادی همراه با یک‌سری محدودیت‌های عملیاتی بررسی می‌شود. در این پژوهش یک مدل ریاضی دو هدفه برای خرابی مسیر و خرابی خودرو در نظر گرفته شده است. در تابع هدف اول، مجموع نرخ مشتریان از دست رفته ناشی از ازدحام در تسهیلات و انسداد مسیرهای ارتباطی کمینه می‌گردد. همچنین تابع هدف دوم، میانگین زمان‌های سفر در واحد زمان را کمینه می‌سازد. همچنین این رابطه میزان کارایی (احتمال خرابی) خودرو مورد استفاده را نیز نشان می‌دهد. در ادامه، مدل پیشنهادی پژوهش را در ابعاد مختلف با استفاده از الگوریتم های ژنتیک دو هدفه و الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه با نرم‌افزار MATLAB حل نموده و کارایی آن را با شاخص‌های شش‌گانه مورد ارزیابی قرار می‌دهیم.

کلمات کلیدی: مدیریت بحران، مسیریابی، خودروهای امداد، الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه، الگوریتم ژنتیک دو هدفه

۱ مقدمه

مدیریت بحران یکی از موضوعاتی است که در عصر حاضر به صورت حرفه‌ای به عنوان یک شاخه اصلی در مدیریت محسوب می‌گردد. اهمیت این موضوع از آنجا ناشی می‌گردد که امروزه مدیریت بحران یکی از اجزای بسیار مهم در برنامه‌ریزی استراتژیک سازمان به شمار می‌آید. با توجه به افزایش حوادث غیرمترقبه، هرساله

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: mohammadhossein.kabgani@gmail.com

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]

[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

میلیون‌ها نفر از مردم تحت تأثیر سوانح و بحران‌های طبیعی و یا غیر طبیعی قرار می‌گیرند و در دهه‌ی اخیر تعداد افرادی که قربانی شده‌اند به صورت چشم‌گیری افزایش‌یافته است و ماهیت بحران‌ها به گونه‌ای است که پاسخگویی به آنها باید در زمان اندک صورت پذیرد [۱].

لذا باید توجه کرد که مدیریت بحران را نباید فقط واکنش تاکتیکی در هنگام رخداد یک بحران در نظر گرفت، بلکه می‌توان به عنوان فعالیت‌های پیشگیرانه و آمادگی در برابر بحران و بهبود وضعیت بحران در نظر گرفت. از این‌رو مکانیابی بهینه تسهیلات، نمونه‌ای از سیاست‌گذاری دولت‌ها با درک منافع ناشی از صرفه‌جویی در استفاده از منابع، افزایش کارایی به ویژه در هنگام وقوع بحران بسیار حیاتی می‌باشد [۲]. به عبارت دیگر انتخاب مکان مناسب برای استقرار تسهیلات امدادی یا اضطرار (اورژانسی) مانند ایستگاه‌های آمبولانس و آتش‌نشانی از جمله تصمیم‌گیری‌های مهم در مدیریت آثار مخرب ناشی از وقوع بحران است.

در زمان وقوع حوادث، یکی از نیازهای اساسی در یک عملیات امدادرسانی در سطح وسیع، بهره‌وری کامل و بیشینه از تمامی پتانسیل‌ها و امکانات موجود است. از سوی دیگر انتخاب مسیر مناسب برای رسیدن تسهیلات امدادی (اورژانسی) مانند خودروهای آتش نشانی و آمبولانس از محل استقرار برای خدمات‌رسانی به آسیب دیدگان از جمله تصمیم‌گیری های مهم در مدیریت آثار مخرب ناشی از وقوع بحران است. علاوه بر موارد ذکر شده، در زمان وقوع بحران و ضرورت استفاده از خودروهای امدادی، ممکن است به دلایل مختلفی همچون انجام نشدن دوره‌های نگهداری و تعمیرات خودروها، نبود قطعات فنی مورد نیاز این خودروها و یا حتی آسیب دیدن این خودروها در حین انجام خدمت به حادثه‌دیدگان به علت خرابی مسیر و دیگر حوادث، قابل استفاده نباشد و باعث ایجاد محدودیت در امر خدمت‌رسانی گردد.

از این‌رو با توجه به موارد بیان شده می‌توان اهمیت انجام این پژوهش را بیشتر درک نمود. در این پژوهش از الگوریتم رقابتی استعماری دو هدفه (MOICA) که یک الگوریتم تکاملی با الهام از زندگی اجتماعی انسان‌ها می‌باشد، استفاده شده است. این الگوریتم با مدلسازی ریاضی فرایند تکامل اجتماعی-سیاسی برای حل مسایل ریاضی بهینه‌سازی ارایه می‌دهد [۳]. در گام بعد برای اعتبارسنجی جواب‌های به‌دست آمده از روش رقابت استعماری دو هدفه، مدل پژوهش با استفاده از الگوریتم ژنتیک دو هدفه (NSGAII) که یکی از روش‌های مرسوم برای حل مسایل مدیریت بحران می‌باشد مورد حل قرار گرفت و کیفیت جواب‌های هر دو الگوریتم با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. به طور کلی این پژوهش بر اساس هدفی که دنبال می‌کند به چند بخش تقسیم می‌گردد: در بخش اول بعد بازخوانی ادبیات نظری پژوهش، تعریف مساله ارایه می‌شود. در بخش دوم بر اساس مفروضات درنظر گرفته شده، یک مدل ریاضی ارایه می‌گردد. در بخش سوم، از آنجا که مساله مورد بررسی از جمله مسایل NP-Hard محسوب می‌گردد، یک الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه برای حل مساله در ابعاد بزرگ، ارایه می‌گردد. در بخش چهارم، اعتبارسنجی مدل ریاضی و کارایی الگوریتم‌های حل ارایه شده از طریق مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم ژنتیک دو هدفه(NSGAII)، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بخش انتهایی پژوهش به جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و ارایه پیشنهادها برای مطالعات آتی می‌پردازد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

۲ پیشینه تحقیق

مساله مسیریابی وسیله نقلیه توسعه‌یافته مساله TSP است که در آن وسیله(وسایل) نقلیه با ظرفیت Q از انبار(انبارها) شروع به حرکت کرده و مجموعه‌ای از n مشتری را با تقاضای Q_i ملاقات می‌کند و در پایان به انبار باز می‌گردد. اگر چندین وسیله نقلیه وجود داشته باشد، مساله مسیریابی وسایل نقلیه مطرح می‌شود. این مساله در پی یافتن حداقل مسافت برای یک وسیله نقلیه یا حداقل مسافت ترکیبی از مسیرها، برای تعدادی از وسایل نقلیه (m) است که باید به تعدادی مشتری(n) خدمت‌رسانی کنند. در این مساله، مینیمم کردن مسافت سفر، زمان سفر و تعداد وسیله نقلیه می‌تواند از اهداف مساله باشد [۴]. هر مشتری توسط یک وسیله نقلیه و فقط یک‌بار ویزیت می‌شود. هر وسیله نقلیه سفرش را از ایستگاه مرکزی شروع و به همان ایستگاه ختم می‌کند. مجموع تقاضای مشتریانی که توسط یک وسیله نقلیه خدمت‌رسانی می‌شوند، نباید بیش از ظرفیت آن وسیله نقلیه باشد.

یکی از عناصر مهم در حمل و نقل، ترافیک می‌باشد. ازدحام و ترافیک یک پدیده معمول در بیشتر مناطق، به خصوص در مناطق شهری می‌باشد [۵]. ترافیک یکی از بخش‌های جدایی‌ناپذیر زندگی مدرن امروزی می‌باشد [۶]. در حال حاضر در اکثر شهرهای بزرگ ظرفیت جاده‌ها جواب‌گوی تعداد خودروها نیست و این عامل باعث تاخیر در حمل و نقل می‌گردد [۷]. مساله مسیریابی وسایل نقلیه قلب سازماندهی توزیع است. هزاران شرکت که در امور تحویل، جمع‌آوری و حمل ونقل اشیاء و انسان‌ها فعالیت دارند، هر روزه با این مساله روبه‌رو می‌شوند. از آنجا که سازمان‌ها دارای شرایط متفاوتی هستند، اهداف و قیود این مساله بسیار متنوع است [۸].

بلایای طبیعی همچون زلزله، سیل، طوفان وغیره تلفات مالی و انسانی زیادی را همه ساله به دولت‌ها و جوامع مختلف وارد می‌کنند. یکی از مسایل مهمی که در سال‌های اخیر در تمامی کشورها و از جمله ایران به آن پرداخته شده است، مساله مدیریت بحران است [۹]. مدیریت بحران را می‌توان قانون و قاعده‌ای برای جلوگیری کردن و یا مواجه شدن با ریسک‌های احتمالی وقوع هر بحران طبیعی و غیرطبیعی تعریف کرد. در واقع مدیریت بحران مجموعه‌ای از فرایندها را قبل، حین و پس از وقوع هر بحران پیش‌بینی و برنامه‌ریزی می‌کند تا بتواند تا حد ممکن از تلفات مالی و انسانی هر بحران جلوگیری کند و یا آ نها را کاهش دهد [۱۰].

در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی در زمینه لجستیک امدادرسانی صورت پذیرفته است. بسیاری از پژوهشگران به طور خاص بر برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری تمرکز کرده‌اند [۱۱]. الگوریتم دیکسترا مشهورترین الگوریتم برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر از یک مبدأ روی گراف وزن دار می‌باشد. از این‌رو برخی از پژوهشگران در پژوهش‌های خود بر روی انتخاب اماکن امدادرسانی تمرکز کرده اند. لاکومه[1] و همکاران، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را برای امدادرسانی در شرایط بحران با استفاده از ماشین‌های آتش نشانی ارایه نمودند. در این مدل، تابع هدف به صورت حداقل کردن حداکثر بوده و به دنبال حداقل کردن بیشترین هزینه ایجاد شده توسط هر ماشین و به دنبال آن، حداقل کردن زمان امدادرسانی می‌باشد [۱۲].

[1] - Lacomme

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

به طور کلی لجستیک امدادرسانی عبارت است از فرایند برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و پایش جریان و ذخیره مؤثر و با هزینه مناسب کالا و مواد و همچنین اطلاعات مرتبط، از نقطه ارسال تا لحظه رسیدن آنها به دست مصرف‌کنندگان برای کاهش و التیام درد افراد حادثه‌دیده. این عملیات دامنه‌ای از فعالیت‌ها همچون آمادگی، برنامه‌ریزی، تدارکات، حمل و نقل، انبارداری، رهگیری، ردیابی و ترخیص گمرکی را شامل می‌شود[۱۳]. در واقع فعالیت‌های شمرده شده در تعریف بالا، همگی جزو فعالیت‌های اصلی در دو فاز آمادگی و پاسخ از چرخه مدیریت بحران هستند. میزان و حجم فعالیت‌های لجستیکی در این دو فاز به حدی است که تقریباً ۸۰ درصد از فعالیت‌های امدادرسانی را شامل می‌شود [۱۴].

مساله مسیریابی وسایل نقلیه که یک مساله بهینه‌سازی ترکیبی است، ابتدا در مقاله‌های دنتزیگ و رامسر[1] معرفی شد که تاکنون به صورت وسیعی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۵]. در سال‌های اخیر توجه به مساله مسیریابی چندهدفه افزایش یافته است. از جمله اهدافی که در این پژوهش‌ها مورد توجه بوده است، می‌توان به موارد میزان کالای جابه‌جا شده در هر مسیر، تعداد مشتریان موجود در هر مسیر، طول مسیرها و یا زمان عبور از مسیرها اشاره کرد [۱۶].

در پژوهشی که توسط ارکات و همکاران انجام گردید، آنها مساله مسیریابی تسهیلات اضطراری را با در نظر گرفتن احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی و ازدحام تسهیلات اورژانسی در زمان وقوع بحران و با استفاده از یک مدل ریاضی دوهدفه فقط به صورت یک مدل ریاضی ارایه کردند. در این پژوهش از الگوریتم‌های مسیریابی تحلیل به منظور شبیه‌سازی مسیرهای بهینه برای خودروهای امدادی با فرض احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی به وسیله ریزش پل‌های (غیرهمسطح)، تخریب و غیره استفاده شد. انتخاب مسیر مناسب برای رسیدن تسهیلات امدادی (اورژانسی) مانند خودروهای آمبولانس و آتش‌نشانی و غیره از محل استقرار برای خدمات‌رسانی به آسیب‌دیدگان ازجمله تصمیم‌گیری‌های مهم، در مدیریت آثار مخرب ناشی از وقوع بحران است [۱۷].

همچنین وجود شبکه گسترده‌ای از تأسیسات و شریان‌های شهری نظیر جاده‌ها و خیابان‌ها، خطوط راه‌آهن و مترو، پل‌ها و تونل‌ها، خطوط و تأسیسات آب، گاز، برق، نفت و بنزین و مخابرات در شهر وجود دارند که صدمات ناشی از بحران‌های طبیعی از قبیل سیل، زلزله و طوفان بر آنها علاوه بر ایجاد خسارات جانی و مالی، بازگشت شهر به وضعیت عادی را بسیار طولانی می‌سازد [۱۸]. از این‌رو رسیدن خودروهای امدادی به محل وقوع حادثه در شرایط بحران موجب کاهش مرگ و میر می‌شود [۱۹].

ازدمار[2] و همکاران یک مدل مسیریابی وسایل حمل و نقل در مواقع بحران ارایه کرده‌اند. برای حل این مدل از یک روش ابتکاری استفاده شده است و کارایی مدل با داده‌های به دست آمده از زلزله سال ۱۹۹۰ ایزمیت ترکیه اثبات شده است [۲۰]. دلاتور[3] و همکاران در پژوهش‌های مروری، به بررسی انواع مدل‌های مسیریابی مرتبط با عملیات امدادرسانی پرداخته‌اند. اصلی‌ترین بخش یک عملیات لجستیک امدادرسانی، توزیع

[1] - Dantzig & Ramser
[2] - Zdamar
[3] - De la Torre

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

کالاهای امدادی برای نجات جان انسانهاست. از طریق مصاحبه با سازمان‌های درگیر در امدادرسانی، مرور انتشارات آنها و مرور پیشینه مدل‌های پژوهش در عملیات رایج در حمل و نقل کالاهای امدادی، این مقاله تحلیل استفاده از چنین مدل‌هایی را از دید دانشگاهیان و متخصصان شاغل در این حوزه فراهم می‌کند [۲۱].

کجچل و همکاران، از یک روش الگوریتم بهبودیافته مورچگان برای حل مساله مسیریابی وسیله نقلیه دریافت و تحویل همزمان کالا استفاده کردند. در روش آنها از یک ساختار مناسب برای افزایش کیفیت جواب‌ها و همچنین از دو جستجوی محلی چندگانه استفاده شده و مزیت این الگوریتم نسبت به الگوریتم‌های دیگر، توانایی حل نسخه‌های دیگر از مساله مسیریابی است [۲۲]. اتکینسون[1] و همکاران در پژوهش خود از الگوریتم کلونی مورچگان بهره گرفتند. این الگوریتم دارای یک تابع هدف است که در برگیرنده متغیرهایی در جهت صرفه‌جویی و روش به‌روزرسانی فرومون تولیدشده توسط مورچگان می‌باشد. نتایج ارایه شده نشان از قابلیت الگوریتم پیشنهادی در یافتن کوتاه‌ترین فاصله دارد [۲۳].

یی[2] و همکاران یک مدل یکپارچه مکان‌یابی توزیع برای یکپارچه‌کردن حمایت‌های لجستیکی و عملیات تخلیه در مرحله پاسخ به بحران ارایه کرده‌اند. مدل جریان شبکه چند کالایی عدد صحیح مختلط آنها، وسایل نقلیه را کالاهایی با مقدار عدد صحیح در نظر می‌گیرد تا همانند متغیرهای صفر و یک با آنها برخورد کند. مدلسازی ارایه شده دارای دو مرحله است: در مرحله اول رابطه‌بندی یک مساله با موارد پیش گفته شکل می‌گیرد. در مرحله بعد یک الگوریتم برای تولید مسیرهای حمل و نقل و دستورالعمل بارگیری و تخلیه تولید می‌شود [۲۴]. ازدمار ودمیر یک روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی و مسیریابی برای یکپارچه کردن مسیریابی وسایل حمل و نقل برای فعالیت‌های بعد از بحران و در مقیاس واقعی و بزرگ ارایه کرده‌اند. این روش یک الگوریتم خوشه‌بندی چند سطحی است که گره‌های تقاضا را در هر سطح برنامه‌ریزی به گروه‌های کوچک‌تری خوشه‌بندی می‌کند. در واقع مدل ارایه شده با استفاده از یک مدل جریان شبکه به صورت سلسله‌مراتبی، ابتدا خوشه‌بندی نقاط تقاضا را انجام می‌دهد و سپس مسیریابی می‌کند [۲۵].

۳ بیان مساله و ارایه مدل ریاضی

مساله این پژوهش مسیریابی تمامی خودروهای امدادی با رویکرد خرابی مسیر و همچنین خرابی خودرو امدادی می‌باشد. همان‌گونه که از نام مساله مسیردهی خودرو و هدف این پژوهش می‌توان استنباط نمود، این مساله به تعیین مسیر کارا با توجه به هدف مساله می‌پردازد. در واقع، بهبود بخش حمل و نقل و سرعت بخشی به کمک‌رسانی به مصدومان در زمان وقوع یک حادثه طبیعی و به‌طور کلی زمان‌های بحرانی (از قبیل سیل، زلزله، طوفان و غیره) از نظر این مساله، از طریق تعیین مسیر درست انجام می‌پذیرد. باید پذیرفت که بهبود تنها به مسیر درست وابسته نمی‌باشد و مسیر مناسب فقط یکی از گزینه‌ها برای بهبود می‌باشد. زمان آن فرا رسیده است تا مدل-های مسیردهی خودرو، به سمت تعیین گزینه‌های دیگری افزون بر تعیین مسیر درست برای بهبود حرکت نمایند.

[1] - Atkinson
[2] - Yi

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

به همین دلیل مساله نخست این پژوهش شناسایی راهکارهای دیگر (افزون بر مسیر درست) با توجه به شرایط ترافیکی است تا به بهبود خدمت‌رسانی به مصدومان کمک نماید. همچنین، مساله دوم این پژوهش، چگونگی قرار دادن این راهکارها در قالب یک مدل بهینه‌سازی ریاضی می‌باشد. مساله سوم این پژوهش نیز ارایه یک مساله جدید مسیردهی خودرو با در نظر گرفتن خرابی مسیر و خرابی خودرو امدادرسان و مدلسازی آن می‌باشد.

به طور کلی در این پژوهش شبکه‌ای از گره‌ها و کمان‌ها از قبل مشخص است و طول کوتاه‌ترین مسیر ارتباطی بین هر جفت گره طول مسافت بین آنها تلقی می‌شود. مشتریان (مصدومان) در برخی از نقاط شبکه مستقرند و فاصله زمانی بین تقاضاهای متوالی برای هر مشتری یک متغیر تصادفی است. تعدادی از گره‌های شبکه به منزله سایت‌های کاندیدا برای استقرار تسهیلات اورژانسی در نظر گرفته می‌شوند. در هر تسهیل، تعدادی خدمت‌دهنده (وسیله نقلیه اورژانسی) مستقر می‌گردد و زمان‌های خدمت‌دهی توسط هر یک از آنها از توزیع آماری مشخصی پیروی می‌کند. در هنگام وقوع بحران، خدمت‌دهندگان مستقر در تسهیلات برای خدمت‌رسانی به آسیب دیدگان به محل آنها اعزام می‌شوند. از سوی دیگر در هر تسهیل، احتمال مشخصی را می‌توان برای بلوکه شدن (حضور نداشتن خدمت دهنده در تسهیل) محاسبه کرد. علاوه بر این، هر یک از کمان‌های شبکه با احتمال مشخصی در زمان وقوع بحران مسدود یا خراب می‌شوند. این احتمال را می‌توان با توجه به عواملی همچون نوع مصالح و زیرسازی‌ها، وجود تونل‌ها و پل‌ها در کمان، گذر از مسیر گسل‌ها و جریان‌های سیلابی و یا نزدیکی به پرتگاه‌ها و مسیرهای کوهستانی برآورد و مشخص کرد. از سوی دیگر علاوه بر وجود احتمال خرابی مسیر برای حرکت خودرو امدادی، ممکن است خودرو امدادی مستقر در هر یک از سایت‌ها نیز، قبل از شروع خدمت‌رسانی دچار خرابی کلی (غیر قابل تعمیر) و یا خرابی جزیی (قابل تعمیر در زمان کوتاه) باشد. همچنین ممکن است این خودرو در حین انجام خدمت‌رسانی به حادثه دیدگان، بر اثر خرابی مسیر، دچار آسیب گردد و از فرایند امداد رسانی خارج گردد. مفروضات زیر در مدلسازی مساله این پژوهش مدنظر قرار گرفته است:

- مختصات گره‌های شبکه و، در نتیجه، طول کوتاه‌ترین مسیر بین هر جفت گره از قبل مشخص است.
- مشتریان در گره‌هایی از شبکه مستقرند و فواصل زمانی بین تقاضاهای متوالی هر مشتری از یک توزیع نمایی با نرخ مشخص پیروی می‌کند.
- احتمال خرابی خودروهای هر تسهیل یکسان در نظر گرفته شده است.
- هر تسهیل خودروهای امدادی متفاوتی می‌تواند داشته باشد. برای مثال در یک تسهیل ممکن است تنها خودرو امدادی، خودرو آتش‌نشانی باشد، و در تسهیل دیگر تنها خودرو امدادی، آمبولانس و غیره باشد. از این‌رو کارایی هر تسهیل می‌تواند متفاوت باشد.
- تعدادی سایت کاندیدا برای استقرار تعداد مشخصی تسهیل در نظر گرفته شده‌اند.
- تعداد خدمت‌دهندگان در هر یک از تسهیلات از قبل مشخص و یکسان است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

- میزان کارایی خودروهای امدادی موجود در تسهیل بر روی نرخ خدمت‌دهی آن تسهیل اثر مستقیم دارد.
- در زمان وقوع بحران، هر یک از کمان‌های شبکه با احتمال مشخصی مسدود می‌گردند.
- نظام خدمت‌دهی در هر تسهیل از نوع نوبتی است و صف‌ها در حالت پایدار بررسی می‌شوند.

نمادگذاری به کاررفته در مدل ریاضی به شرح زیر است:

- **اندیس‌ها**

V مجموعه نقاط شبکه (n و m اندیس نقاط شبکه)

A مجموعه کمان‌های شبکه ((n,m) کمان واصل میان جفت گره n و m)

$I \subset V$ مجموعه مشتریان (i اندیس مشتریان)

$j \subset V$ مجموعه سایت‌های کاندید (j اندیس سایت)

- **پارامترها**

d_i نرخ تقاضا (تعداد تقاضا در واحد زمان) برای مشتری i

μ نرخ خدمت‌دهی برای هر خدمت‌دهنده

C تعداد خدمت‌دهندگان مستقر در هریک از تسهیلات

t_{nm} زمان طی کردن کمان (n,m)

f_{nm} احتمال خرابی کمان (n,m)

E_j میزان کارایی خودرو امدادی

- **متغیرها**

x_{ij} اگر مشتری i به تسهیل مستقر در سایت j تخصیص یابد، برابر با ۱ در غیر این صورت ۰ است

y_j اگر تسهیلی در سایت j مستقر یابد، برابر با ۱ در غیر این صورت ۰ است

Z_{nm}^{ij} اگر کمان (n,m) در مسیر انتقال تقاضای مشتری i به تسهیل مستقر در سایت j قرار داشته باشد، برابر با ۱ در غیر این صورت ۰ است

q_{ij} احتمال سالم بودن مسیر تسهیل مستقر در سایت j تا مشتری i

P_j احتمال حدی حضور نداشتن خدمت‌دهنده در تسهیل مستقر در سایت j

λ_j مجموع نرخ تقاضا برای دریافت خدمت از تسهیل مستقر در سایت j

ρ_j نسبت نرخ تقاضا به نرخ خدمت‌دهی در تسهیل مستقر در سایت j

از این‌رو می‌توان مدل ریاضی مساله را در قالب یک مدل دوهدفه به صورت زیر نشان داد:

$$Min W_1 = \sum_{i \in I} (d_i - \sum_{j \in J} d_i x_{ij} q_{ij} (1 - p_j)) \quad (1)$$

$$Min\ W_2 = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{(n,m) \in A} (2 - E_j) t_{nm} Z_{nm}^{ij} \quad (2)$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

s.t.

$$P_j = \frac{\frac{\rho_j^C}{C!}}{\sum_{r=0}^{C} \frac{\rho_j^r}{r!}} \qquad \forall j \in J \quad , \tag{۳}$$

$$\rho_j = \frac{\lambda_j}{\mu} \qquad \forall j \in J \tag{۴}$$

$$\lambda_j = \sum_{i \in I} d_i x_{ij} \qquad \forall j \in J \tag{۵}$$

$$q_{ij} = \prod_{(n,m) \in A} (1 - z_{nm}^{ij} f_{nm}) \qquad \forall\, i \in I \;, j \in J \tag{۶}$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \qquad \forall\, i \in I \tag{۷}$$

$$\sum_{n(i,n) \in A} Z_{in}^{ij} = x_{ij} \qquad \forall\, i \in I \;, j \in J \;, i \neq j \tag{۸}$$

$$\sum_{m(m,j) \in A} Z_{mj}^{ij} = x_{ij} \qquad \forall\, i \in I \;, j \in J \;, i \neq j \tag{۹}$$

$$\sum_{n} Z_{nm}^{ij} - \sum_{n \neq i} Z_{mn}^{ij} = 0 \qquad \forall\, i \in I \;, j \in J \;, m \in V \;, i \neq j \;, m \neq i, j \tag{۱۰}$$

$$Z_{nm}^{ij} \leq x_{ij} \qquad \forall\, i \in I \;, j \in J (n,m) \in A \tag{۱۱}$$

$$x_{ij} \leq y \qquad \forall\, i \in I \;, j \in J \tag{۱۲}$$

$$\sum_{j \in J} y_i = S \tag{۱۳}$$

$$x_{ij}, y_j, Z_{nm}^{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall\, i \in I \;, j \in J \qquad (n,m) \in A \tag{۱۴}$$

$$\rho_j, P_j, \lambda_j, q_{ij} \geq 0 \qquad \forall\, i \in I \;, j \in J \;. \tag{۱۵}$$

- **تشریح توابع هدف و محدودیت‌ها**

رابطه (۱)، به عنوان تابع هدف نخست، مجموع نرخ مشتریان ازدست رفته ناشی از ازدحام در تسهیلات و انسداد مسیرهای ارتباطی را کمینه می‌نماید که این مقدار از کم کردن نرخ تقاضای پوشش‌یافته از کل نرخ تقاضا به دست می‌آید. رابطه (۲)، به عنوان تابع هدف دوم، میانگین زمان‌های سفر در واحد زمان را کمینه می‌سازد. همچنین این رابطه نشان‌دهنده میزان کارایی (احتمال خرابی) خودرو مورد استفاده را نیز نشان می‌دهد. رابطه (۳)، که در واقع رابطه ارلنگ C برای سیستم صف است، احتمال حدی بلوکه شدن (مشغول بودن تمامی خدمت‌دهندگان) را برای هر یک از تسهیلات محاسبه می‌کند. این احتمال برابر با درصد زمان‌هایی است که مشتریان با تسهیل خالی مواجه می‌شوند و قادر به دریافت خدمت نیستند. رابطه (۴) ضریب بهره‌وری (نسبت نرخ مراجعه مشتریان به نرخ خدمت‌دهی) برای هر تسهیل را محاسبه می‌کند. رابطه (۵)، مجموع نرخ مراجعه مشتریان

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

به هر تسهیل را محاسبه می‌کند. احتمال سالم بودن هر یک از مسیرهای ارتباطی بین تسهیلات و مشتریان با رابطه (۶) محاسبه می‌شود. هر مسیر ارتباطی فقط زمانی سالم و قابل تردد است که تمامی کمان‌های موجود در آن مسیر سالم باشند. بنابراین، احتمال سالم بودن هر مسیر با توجه به احتمال خرابی در هر یک از کمان‌های موجود در امتداد آن مسیر محاسبه می‌شود. رابطه (۷) تضمین می‌کند که هر مشتری به یکی از تسهیلات تخصیص یابد. روابط (۸) تا (۱۰) پیوستگی جریان در کمان‌های شبکه را تضمین می‌نمایند. رابطه (۱۱) تضمین می‌کند که متغیرهای تعیین مسیر صرفاً برای سایت‌هایی که در آنها تسهیل مستقر گردیده است، فعال گردند. رابطه (۱۲) تضمین می‌کند که مشتریان فقط از سایت‌های فعال‌شده خدمت دریافت کنند. محدودیت (۱۳) تعداد کل تسهیلات احداث شده را محدود می‌نماید. روابط (۱۴) و (۱۵) دامنه متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهند.

٤ روش‌شناسی پژوهش

از جمله ویژگی‌های مطالعه علمی که هدفش حقیقت‌یابی است، استفاده از یک روش تحقیق مناسب می‌باشد و انتخاب روش تحقیق مناسب به هدف‌ها، ماهیت و موضوع مورد تحقیق و امکانات اجرایی بستگی دارد و هدف از تحقیق دسترسی دقیق و آسان به پاسخ پرسش‌های تحقیق است. پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش جمع‌آوری داده‌ها، از نوع توصیفی-تحلیلی می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از مطالعه کتابخانه‌ای، ادبیات مربوط به مسایل مسیریابی خودروها، پیشینه تحقیق و نظریاتی که راجع به موضوع وجود دارد، جمع‌آوری گردید. پس از آن با مدلسازی مساله مسیریابی خودروهای امدادی با دو پیش فرض اساسی خرابی مسیرهای تردد و همچنین با در نظر گرفتن خرابی خودرو، در قالب روش‌های فرا ابتکاری و با بهره‌گیری از الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه، خروجی‌های مدل با استفاده از داده‌های استاندارد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین برای مدلسازی و حل مساله مسیریابی خودروهای امدادی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه از نرم افزار MATLAB استفاده شده است.

٥ الگوریتم رقابت استعماری

الگوریتم رقابت استعماری، یک الگوریتم الهام گرفته از تکامل اجتماعی انسان است که برای بهینه‌سازی توسعه داده شده است. این الگوریتم با الهام‌گیری از یک فرایند اجتماعی سیاسی دارای توانایی بالایی بوده و تا حد بسیار زیادی نیز سریع می‌باشد. همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آنها یک "کشور" نامیده می‌شوند؛ شروع می‌شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت به عنوان امپریالیست یا استعمارگر[1] انتخاب می‌شوند. باقی‌مانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره[2]، در نظر گرفته می‌شوند. استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاص به سمت خود می‌کشند.

[1] -Imperialist
[2] -Colony

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل‌دهنده آن یعنی کشور امپریالیست (به عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به اضافه درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل شده است. با شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه، رقابت استعماری میان آنها شروع می‌شود. هر امپراطوری که نتواند در رقابت استعماری، موفق عمل کرده و بر قدرت خود بیفزاید (و یا حداقل از کاهش نفوذش جلوگیری کند)، از صحنه رقابت استعماری حذف خواهد شد. بنابراین بقای یک امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری‌های رقیب، و به سیطره درآوردن آنها خواهد بود. در نتیجه، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراطوری‌های بزرگ افزوده شده و امپراطوری‌های ضعیف‌تر، حذف خواهند شد.

امپراطوری‌ها برای افزایش قدرت خود، مجبور خواهند شد تا مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند. با گذشت زمان، مستعمرات از لحاظ قدرت به امپراطوری‌ها نزدیک‌تر خواهند شد و شاهد یک نوع همگرایی خواهیم بود. حد نهایی رقابت استعماری، زمانی است که یک امپراطوری واحد در دنیا داشته باشد، با مستعمراتی که از لحاظ موقعیت به خود کشور امپریالیست خیلی نزدیک هستند[۲۶].

۵-۱ شکل‌دهی امپراطوری‌های اولیه

در بهینه‌سازی، هدف یافتن یک جواب بهینه بر حسب متغیرهای مساله است. لذا یک آرایه از متغیرهای مساله که باید بهینه شوند، ایجاد می‌شود. در الگوریتم ژنتیک این آرایه، کروموزوم[1] نامیده می‌شود. در الگوریتم رقابت استعماری این آرایه را یک "کشور" می‌نامیم. در یک مساله بهینه‌سازی N_{var} بعدی، یک کشور، یک آرایه‌ی $1\times N_{var}$ است. این آرایه به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Country = \left[P_1, P_2, P_3, \ldots, P_{N_{var}} \right] \qquad (16)$$

مقادیر متغیرها در یک کشور، به صورت اعداد اعشاری نمایش داده می‌شوند. از دیدگاه تاریخی – فرهنگی، اجزای تشکیل دهنده یک کشور را می‌توان ویژگی‌های اجتماعی – سیاسی آن کشور همچون فرهنگ، زبان، ساختار اقتصادی و سایر ویژگی‌ها در نظر گرفت. به عبارت دیگر در حل یک مساله بهینه‌سازی توسط الگوریتم معرفی شده؛ به دنبال بهترین کشور (کشوری با بهترین ویژگی‌های اجتماعی-سیاسی) می‌باشیم. یافتن این کشور در حقیقت معادل یافتن بهترین پارامترهای مساله است که کم‌ترین مقدار تابع هزینه را تولید می‌کند.

هزینه یک کشور با ارزیابی تابع هدف f در متغیرهای $\left(P_1, P_2, P_3, \ldots, P_{N_{var}} \right)$ یافته می‌شود؛ بنابراین:

$$Cost_i = f\left(Country_i\right) = f\left(P_1, P_2, P_3, \ldots, P_{N_{var}}\right) \qquad (17)$$

[1] - Chromosome

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

برای شروع الگوریتم، تعداد $N_{Country}$ کشور اولیه ایجاد می‌شود. N_i تا از بهترین اعضای این جمعیت (کشورهای دارای کمترین مقدار تابع هزینه) به عنوان امپریالیست یا استعمارگر انتخاب می‌شود. باقیمانده N_{Col} تا از کشورها، مستعمراتی را تشکیل می‌دهند که هرکدام به یک امپراطوری تعلق دارند. در پایان این گام، کشورهای امپریالیست و مستعمره‌ای هر یک مشخص شده و هزینه‌ی مربوط به هر یک نیز با توجه به تابع هدف مساله مشخص می‌شود [۲۶].

$$C_n = max\{C_i\} - c_n \quad (۱۸)$$

که در آن C_n ، هزینه امپریالیست nام، $\max\{C_i\}$ بیشترین هزینه میان امپریالیست ها و c_n هزینه نرمالایز شده این امپریالیست، می‌باشد. هر امپریالیستی که دارای هزینه بیشتری باشد (امپریالیست ضعیف‌تری باشد)، دارای هزینه نرمالیزه کم‌تری خواهد بود. با داشتن هزینه نرمالیزه، قدرت نسبی نرمالیزه هر امپریالیست به صورت زیر محاسبه شده و بر مبنای آن، کشورهای مستعمره، بین امپریالیست‌ها تقسیم می‌شوند.

$$P_n = \left| C_n \Big/ \sum_{i=1}^{N_{imp}} C_i \right| \quad (۱۹)$$

از طرف دیگر، قدرت نرمالیزه‌شده یک امپریالیست، نسبت مستعمراتی است که توسط آن امپریالیست اداره می‌شود. بنابراین تعداد اولیه مستعمرات یک امپریالیست برابر خواهد بود با:

$$N.C_n = round\{P_n.(N_{col})\} \quad (۲۰)$$

که در آن $N.C_n$ ، تعداد اولیه مستعمرات یک امپراطوری و N_{col} نیز تعداد کل کشورهای مستعمره موجود در جمعیت کشورهای اولیه است. $round$ نیز تابعی است که نزدیک‌ترین عدد صحیح به یک عدد اعشاری را می‌دهد. با در نظر گرفتن $N.C_n$ برای هر امپراطوری، تعدادی از کشورهای مستعمره اولیه به صورت تصادفی انتخاب‌شده و به امپریالیست nام داده می‌شود. با داشتن حالت اولیه تمام امپراطوری‌ها، الگوریتم رقابت استعماری شروع می‌شود[۲۶]

۵-۲ مدلسازی سیاست جذب (حرکت مستعمره‌ها به سمت امپریالیست‌ها)

سیاست همگون‌سازی (جذب)[1] با هدف تحلیل فرهنگ و ساختار اجتماعی مستعمرات در فرهنگ حکومت مرکزی انجام می‌گیرد. کشورهای استعمارگر برای افزایش نفوذ خود، شروع به ایجاد عمران (ایجاد زیر ساخت‌های حمل و نقل، تأسیس دانشگاه و ...) می‌کنند[۲۶].

۵-۳ انقلاب (تغییر ناگهانی در موقعیت یک کشور)

بروز انقلاب تغییرات ناگهانی را در ویژگی‌های اجتماعی سیاسی یک کشور ایجاد می‌کند. در الگوریتم رقابت استعماری، انقلاب با جابه‌جایی تصادفی یک کشور مستعمره به یک موقعیت تصادفی جدید مدلسازی می‌شود.

[1] -Assimilation

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

انقلاب از دیدگاه الگوریتمی باعث می‌شود کلیت حرکت تکاملی از گیر کردن در جواب‌های بهینه محلی نجات یابد، که در بعضی موارد باعث بهبود موقعیت یک کشور شده و آن‌را به یک محدوده بهینگی بهتری می‌برد[۲۶].

۵-٤ جابجایی موقعیت مستعمره و امپریالیست

پس از اعمال سیاست جذب و انقلاب ممکن است به دلیل جابه‌جایی‌های صورت گرفته وضعیت یک مستعمره در یک امپراتوری بهتر از خود امپریالیست شود. در این حالت جای مستعمره با امپریالیست عوض می‌شود. بنابراین در الگوریتم رقابت استعماری در حین حرکت مستعمرات به سمت کشور استعمار، ممکن است بعضی از این مستعمرات به موقعیتی بهتر از امپریالیست برسند (به نقاطی در تابع هزینه برسند که هزینه کم‌تری را نسبت به مقدار تابع هزینه در موقعیت امپریالیست تولید می‌کنند). در این حالت کشور استعمارگر و کشور مستعمره، جای خود را با همدیگر عوض کرده و الگوریتم با کشور استعمارگر در موقعیت جدید ادامه یافته و این بار کشور امپریالیست جدید است که شروع به اعمال سیاست همگون‌سازی بر مستعمرات خود می‌کند [۲۶].

۵-۵ قدرت کل یک امپراطوری (محاسبه هزینه کل هر امپراطوری)

قدرت یک امپراطوری برابر است با قدرت کشور استعمارگر، به اضافه درصدی از قدرت کل مستعمرات آن. بدین ترتیب برای هزینه کل یک امپراطوری برابر است با:

$$T.C_n = Cost\left(imperialist_n\right) + \xi mean\left\{Cost\left(colonies\,of\,empire_n\right)\right\} \qquad (۲۱)$$

که در آن $T.C_n$ هزینه کل امپراطوری n ام و ξ عددی مثبت است که معمولا بین صفر و یک و نزدیک به صفر در نظر گرفته می‌شود. کوچک در نظر گرفتن ξ ، موجب می‌شود که هزینه کل یک امپراطوری،تقریبا برابر با هزینه حکومت مرکزی آن (کشور امپریالیست) شود و افزایش ξ نیز باعث افزایش تأثیر میزان هزینه مستعمرات یک امپراطوری در تعیین هزینه کل آن می‌شود. در حالت نوعی $\xi = ۰/۰۵$ در اکثر پیاده‌سازی به جواب‌های مطلوبی منجر شده است[۲۷].

۵-٦ رقابت استعماری

هر امپراتوری که نتواند بر قدرت خود بیفزاید، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، به تدریج حذف می‌شود و به مرور زمان، امپراتوری‌های ضعیف، مستعمرات خود را از دست می‌دهند و امپراتوری‌های قوی‌تر، این مستعمرات را تصاحب می‌کنند و بر قدرت خویش می‌افزایند. برای مدلسازی رقابت میان امپراطوری‌ها برای تصاحب مستعمرات، ابتدا احتمال تصاحب هر امپراطوری (که متناسب با قدرت آن امپراطوری است)، با در نظر گرفتن هزینهٔ کل امپراطوری محاسبه می‌شود. بدین منظور ابتدا از روی هزینهٔ کل امپراطوری، هزینهٔ کل نرمالیزه شده‌ی آن تعیین می‌شود.

$$N.T.C._n = m_i ax\left\{T.C._i\right\} - T.C._n \qquad (۲۲)$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

در این رابطه $T.C._n$ هزینه کل امپراطوری n ام و $N.T.C._n$ هزینه کل نرمالیزه شده آن امپراطوری می‌باشد. هر امپراطوری که $T.C._n$ کم‌تری داشته باشد، $N.T.C._n$ بیشتری خواهد داشت. در حقیقت $T.C._n$ معادل هزینه کل یک امپراطوری و $N.T.C._n$ معادل قدرت کل آن می‌باشد. امپراطوری با کم‌ترین هزینه، دارای بیشترین قدرت است. با داشتن هزینه کل نرمالیزه شده، احتمال (قدرت) تصاحب مستعمره مورد رقابت، توسط هر امپراطوری به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{pn} = \left| N.T.C._n \Big/ \sum_{i=1}^{N_{imp}} N.T.C._i \right| \qquad (۲۳)$$

با داشتن احتمال تصاحب هر امپراطوری، برای این‌که مستعمرات مذکور به صورت تصادفی، از P ولی با احتمال وابسته به احتمال تصاحب هر امپراطوری، بین امپراطوری‌ها تقسیم شود، بردار روی مقادیر احتمال یادشده، به صورت زیر تشکیل می‌شود.

$$P = \left[P_{p1}, P_{p2}, P_{p3}, \ldots, P_{PN_{imp}} \right] \qquad (۲۴)$$

بردار P دارای سایز $1*N_{imp}$ است و از مقادیر احتمال تصاحب امپراطوری‌ها تشکیل‌شده است. سپس بردار تصادفی R، هم اندازه با بردار P تشکیل می‌شود. آرایه‌های این بردار، اعدادی تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $[0,1]$ هستند.

$$R = \left[r_1, r_2, r_3, \ldots, r_{N_{imp}} \right] \qquad r_1, r_2, r_3, \ldots, r_{N_{imp}} \epsilon U(0,1) \qquad (۲۵)$$

سپس بردار D به صورت زیر تشکیل می‌شود.

$$D = P - R = \left[D_1, D_2, D_3, \ldots, D_{N_{imp}} \right] = \left[P_{p1} - r_1, P_{p2} - r_2, \ldots, P_{PN_{imp}} - r_{N_{imp}} \right] \qquad (۲۶)$$

با داشتن بردار D، مستعمرات مذکور به امپراطوری داده می‌شود که اندیس مربوط به آن در بردار D بزرگ‌تر از بقیه باشد [۲۷].

۵-۷ سقوط امپراطوری‌های ضعیف

در جریان رقابت‌های امپریالیستی، امپراطوری‌های ضعیف به تدریج سقوط کرده و مستعمراتشان به دست امپراطوری‌های قوی می‌افتد. شروط متفاوتی را می‌توان برای سقوط یک امپراطوری در نظر گرفت. در الگوریتم پیشنهاد شده، یک امپراطوری زمانی حذف شده تلقی می‌شود که مستعمرات خود را از دست داده باشد[۲۷].

۵-۸ همگرایی

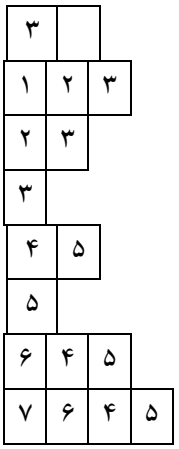
الگوریتم مورد نظر تا برآورده شدن یک شرط همگرایی، و یا اتمام تعداد کل تکرارها ادامه می‌یابد. پس از مدتی همه امپراطوری‌ها سقوط کرده و تنها یک امپراطوری خواهیم داشت و بقیه کشورها تحت کنترل این امپراطوری واحد قرار می‌گیرند. در الگوریتم رقابت استعماری در حالت پایه شرط توقف الگوریتم، حذف همه‌ی امپریالیست‌ها و باقی ماندن تنها یک امپریالیست است [۲۷].

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

٦ نمایش راه حل

یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی هر الگوریتم فراابتکاری تعیین شیوه نمایش راه حل است. این نحوه نمایش با تصویر کردن خصوصیات راه حل در رشته‌ای از نمادها ارتباطی منطقی بین فضای اصلی مساله و فضای جست و جو با الگوریتم حل برقرار می‌کند. نحوه نمایش باید چنان باشد که بتواند تمامی راه حل‌های ممکن را نمایش دهد و از سوی دیگر با تغییر مقادیر مربوط به یک راه حل بتوان راه حل‌های دیگر مساله را تولیدکرد. در مساله مورد بررسی، هر راه حل به کمک یک آرایه با $n+1$ (n تعداد مشتریان) سطر نمایش داده می‌شود. سطر نخست هر راه حل شماره سایت‌هایی را نشان می‌دهد که تسهیلات در آنها مستقر می‌گردند. بنابراین، این سطر به صورت رشته‌ای به طول m (m تعداد تسهیلات) در نظر گرفته می‌شود که در هر آرایه‌ی آن، شماره یکی از سایت‌های منتخب ذکر می‌گردد.

هریک از n سطر بعدی، مسیرهای انتقال تقاضا میان مشتریان و هر یک از تسهیلات را مشخص می‌نماید؛ بنابراین، هر یک از سطرهای دوم تا $n+1$ به ترتیب مسیرهای انتقال تقاضای مشتریان اول تا nام را تعیین می‌کنند. مسیر انتقال تقاضا از هر مشتری تا تسهیل متناظر به کمک شماره گره‌هایی که در آن مسیر قرار دارند، مشخص می‌شود. بنابراین، اولین عنصر هر سطر شماره مشتری و آخرین عنصر شماره تسهیلی را که مشتری به آن تخصیص یافته است، مشخص می‌سازد. شکل ۱ راه حل اولیه استفاده شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است تعداد گره‌ها (مشتریان) ۷ و تعداد ۲ تسهیل داریم. سطر اول نشان‌دهنده این موضوع است که از بین گره‌های (مشتریان) شماره ۱ تا ۷، دو سایت (تسهیل) شماره ۳ و ۵ انتخاب شده‌اند. همچنین سطر دوم نشان‌دهنده این است که مشتریان واقع در گره شماره ۱ برای دریافت خدمت بایستی به سایت شماره ۳ تخصیص‌داده شود. دیگر سطرها نیز به ترتیب مسیر انتقال تقاضای مشتریان ۲ تا ۷ را نشان می‌دهند.



شکل ۱. نحوه نمایش راه حل اولیه

۷ اعتبارسنجی مدل پیشنهادی و یافته‌های پژوهش

برای بررسی روایی مدل دو راه وجود دارد.۱- بهره‌مندی از نظر خبرگان و کارشناسان و ۲- مقایسه‌ی نتایج به دست آمده با نتایج واقعی و بررسی واقعی بودن نتایج و برآورده شدن محدودیت‌ها. در پژوهش حاضر از هر دو

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

روش برای بررسی روایی و اعتبار مدل استفاده شده است. در این پژوهش از الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه برای بهینه‌سازی انتخاب شد، به این دلیل که اولاً مساله‌ی پژوهش از نوع *NP-Hard* است و روش‌های دقیق برای این‌گونه مسایل کارایی ندارند. دوم این که مساله پژوهش از نوع مسایل گسسته‌ی ترکیبی است.

به منظور بررسی همگرایی الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری دو هدفه، به جواب بهینه‌ی سراسری، ابتدا کد مربوط به الگوریتم و مدل مساله به کمک نرم افزار متلب کدنویسی و شبیه‌سازی شد. همچنین عملیات پردازش بر روی رایانه‌ای با مشخصات Intel-corei5 2.67Ghz و RAM 4GB انجام شده است. تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های ژنتیک دو هدفه (NSGAII) و رقابت استعماری دو هدفه(MOICA) برای این مساله در جدول ۱ نشان داده است.

جدول۱. تنظیم پارامترهای الگوریتم های ژنتیک دو هدفه (NSGAII) و رقابت استعماری دو هدفه(MOICA) برای مساله پژوهش

الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه(MOICA)		**الگوریتم های ژنتیک دو هدفه (NSGAII)**	
تعداد تکرار	MaxIt=200	تعداد تکرار	MaxIt=200
اندازه جمعیت	nPop=50	اندازه جمعیت	nPop=50
تعداد امپریالیست‌ها	nEmp=6	درصد ایجاد تقاطع (ترکیب مجدد)	pCrossover=0.7
ضریب جذب	beta=1.5	میزان زاد ولد	nCrossover=2*round(pCrossover*nPop/2)
میزان احتمال انقلاب	pRevolution=0.1	درصد میزان جهش	pMutation=0.4
نرخ رخ دادن انقلاب	mu=0.1	نرخ جهش	mu=0.02
ضریب هزینه مستعمره ها	zeta=0.1	اندازه مرحله جهش	sigma=0.۱*(VarMax-VarMin)
سیاست انتخاب	alpha=1		

با توجه به این‌که روش‌های فراابتکاری، الگوریتم های تخمینی برای حل مسایل بهینه‌سازی محسوب شده و ماهیتی تصادفی دارند؛ حل یک مساله از طریق روش‌های مختلف ممکن است به پاسخ‌های مختلف منجر شود، لذا ارزیابی الگوریتم‌ها و انتخاب الگوریتم مناسب با کمک شاخص‌های متنوع مورد توجه محققان علوم مختلف قرار گرفته است. اما همگرایی در پاسخ های پارتو و فراهم نمودن چگالی و تنوع در میان مجموعه پاسخ‌ها، دو هدف مجزا و تا حدودی متضاد در الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه محسوب می‌شوند، لذامعیار مطلقی که بتواند در مورد عملکرد الگوریتم‌ها تصمیم بگیرد، وجود ندارد. در نهایت پس از بررسی ادبیات موضوع، شش شاخص زیر به عنوان شاخص‌های ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها در این پژوهش شناسایی و معرفی شده‌اند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

- **شاخص تعداد جواب‌های پارتو**[1] (NPS)

این شاخص نشانگر تعداد پاسخ‌های پارتو یافت شده از طریق الگوریتم می‌باشد و هر چه این تعداد بیشتر باشد، نشان‌دهنده کارایی بهتر الگوریتم مورد نظر است [۲۸].

- **شاخص کیفیت**[2] (QM)

این شاخص نشان‌دهنده سهم الگوریتم در مجموعه پاسخ‌های پارتو حاصل از ترکیب پاسخ‌های پارتو ارایه‌شده از طریق کلیه الگوریتم‌های مورد مقایسه است. هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد، نشانه کارایی بهتر الگوریتم است [۲۸].

- **شاخص متوسط فاصله از نقطه ایده‌آل**[3] (MID)

این شاخص نشان‌دهنده میانگین فاصله نقاط پارتو از جواب ایده‌آل است. مقدار ایده‌آل برابر با بهترین مقدار ممکن برای هر یک از توابع هدف در تمامی الگوریتم‌های به کار رفته است. کمتر بودن مقدار این شاخص به معنای بهتر بودن کارایی الگوریتم می‌باشد [۲۸].

- **شاخص فاصله**[4] (SM)

این شاخص نشان‌دهنده انحراف معیار فاصله پاسخ‌های نامغلوب می‌باشد. به عبارت دیگر میزان فاصله نسبی پاسخ‌های متوالی پارتو را محاسبه می‌نماید. هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد، نشان کارایی بهتر الگوریتم است [۲۸].

- **شاخص گوناگونی**[5] (DM)

این شاخص فاصله اقلیدسی بین جواب ابتدایی و انتهایی مجموعه پاسخ پارتو را نشان می‌دهد. این شاخص طول قطر مکعب فضایی را که به وسیله‌ی مقادیر انتهایی اهداف برای مجموعه پاسخ‌های نامغلوب به کار می‌رود، اندازه می‌گیرد. هرچه مقدار این شاخص مقادیر بزرگ‌تری اختیار کند، الگوریتم مربوطه کارایی بالاتری خواهد داشت [۲۸].

- **شاخص زمان اجرای الگوریتم (Time)**

این شاخص بر زمان اجرای الگوریتم تأکید کرده و از مهم‌ترین شاخص‌ها در مقایسه الگوریتم‌های مختلف است و هر چه میزان آن کمتر باشد (در صورت برابر بودن سایر شاخص‌ها)، الگوریتم مورد نظر کاراتر خواهد بود. پس از شناسایی شاخص‌ها، در ادامه می‌بایست مقادیر هر شاخص در الگوریتم‌ها محاسبه و ارایه گردد. برای اطمینان از جواب‌های الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی پس از حل یک مساله در ابعاد کوچک‌تر، نتایج آن با الگوریتم فراابتکاری ژنتیک دوهدفه (NSGAII) مقایسه شد که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

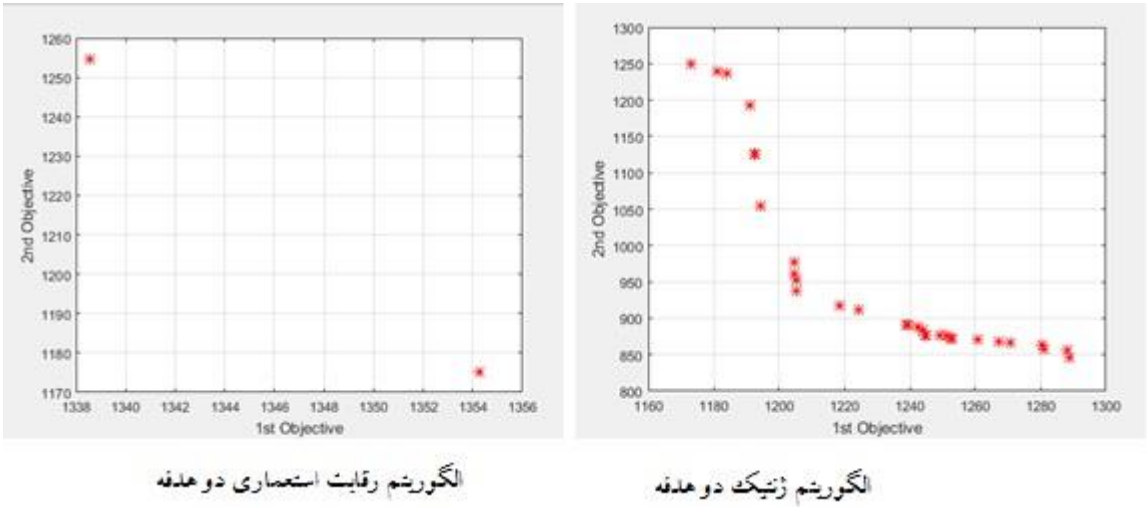
[1] -Number of Pareto Solution
[2] -Quality Metric
[3] -Mean Ideal Distance
[4] -Spacing Metric
[5] -Diversification Metric

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

جدول۲. مقایسه نتایج اجرای الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه (ICAII) و الگوریتم ژنتیک دو هدفه (NSGAII)

الگوریتم	تعداد گره	تعداد سایت	تعداد فراخوانی تابع هدف	نام شاخص					
				NPS	QM	MID	SM	DM	TIME (sec)
الگوریتم ژنتیک دو هدفه (NSGAII)	۱۰۰	۲۰	۱۱۲۵۱	۲۳	۰/۷	۰/۷۶۹	۰/۳۶۱۴	۶/۳۶	۵۲۲
	۵۰	۱۰	۱۱۲۵۱						۲۴۲
	۲۰	۵	۱۱۲۵۱						۱۴۷
الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه (MOICA)	۱۰۰	۲۰	۱۰۹۵۵	۲	۰/۷	۰/۶۸۸	۰/۵۹۶۱	۶/۳۶	۴۸۶
	۵۰	۱۰	۱۱۰۲۴						۱۸۲
	۲۰	۵	۱۱۰۳۸						۷۸

شکل ۲ مقادیر توابع هدف در الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ژنتیک را با تعداد ۵۰ سایت و ۱۰ گره نشان می‌دهد.



شکل ۲. مقادیر توابع هدف در الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ژنتیک

با اجرای الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری دو هدفه و الگوریتم ژنتیک دو هدفه و به کمک داده‌های مورد نیاز، مدل ریاضی پژوهش در ابعاد کوچک‌تری (تعداد ۵ سایت و ۲۰ گره) مورد حل قرار گرفته است. در جدول ۳ سایت‌های انتخابی و نحوه تخصیص مشتریان موجود در هر گره به سایت پیشنهادی نشان داده شده است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

جدول ۳. سایت‌های تعیین شده و نحوه تخصیص مشتریان موجود در هر گره به سایت‌های پیشنهادی

الگوریتم ژنتیک دو هدفه (NSGAII)		**الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه (MOICA)**	
۳-۴-۱۷-۱۹-۲۰	**شماره سایت‌های تعیین شده**	۶-۹-۱۱-۱۷-۲۰	**شماره سایت‌های تعیین شده**
تخصیص و مسیر حرکت مشتریان به سایت ها	**شماره مشتری (شماره گره)**	**تخصیص و مسیر حرکت مشتریان به سایت ها**	**شماره مشتری (شماره گره)**
۱-۶-۷-۱۰-۱۸-۲۰	۱	۱-۶	۱
۲-۵-۱۱-۱۳-۱۴-۱۷	۲	۲-۵-۱۱	۲
سایت	۳	۳-۷-۱۰-۱۸-۲۰	۳
سایت	۴	۴-۵-۱۱	۴
۵-۱۱-۱۳-۱۴-۱۷	۵	۵-۱۱	۵
۶-۷-۱۰-۱۸-۲۰	۶	**سایت**	۶
۷-۱۰-۱۸-۲۰	۷	۷-۱۰-۱۸-۲۰	۷
۸-۱۲-۱۸-۲۰	۸	۸-۱۲-۱۸-۲۰	۸
۹-۱۶-۱۷	۹	**سایت**	۹
۱۰-۱۸-۲۰	۱۰	۱۰-۱۱-۲۰	۱۰
۱۱-۱۳-۱۴-۱۷	۱۱	**سایت**	۱۱
۱۲-۱۸-۲۰	۱۲	۱۲-۱۸-۲۰	۱۲
۱۳-۱۴-۱۷	۱۳	۱۳-۱۴-۱۷	۱۳
۱۴-۱۷	۱۴	۱۴-۱۷	۱۴
۱۵-۲۰	۱۵	۱۵-۲۰	۱۵
۱۶-۱۷	۱۶	۱۶-۱۷	۱۶
سایت	۱۷	**سایت**	۱۷
۱۸-۲۰	۱۸	۱۸-۲۰	۱۸
سایت	۱۹	۱۹-۲۰	۱۹
سایت	۲۰	**سایت**	۲۰

همان‌گونه که در جدول ۳ نشان داده شده است مساله پژوهش در ابعاد کوچک (تعداد ۲۰ گره و ۵ سایت) با هر دو الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ژنتیک دو هدفه حل شده است. با توجه به خروجی حل هر دو الگوریتم می‌توان بیان نمود که برای امدادرسانی به مشتریان واقع در هر گره در روش رقابت استعماری مسیر کوتاه‌تری طی می‌شود که این نشان‌دهنده کارایی بالاتر این الگوریتم نسبت به الگوریتم ژنتیک (NSGAII) است. برای مثال در روش حل الگوریتم رقابت استعماری، برای خدمت‌رسانی به مشتریان (حادثه دیدگان) واقع در گره ۱ تنها فاصله سایت ۶ تا گره ۱ طی می‌شود. به عبارت دیگر مشتریان واقع در گره ۱ به سایت ۶ تخصیص داده می‌شود. در عین حال این موضوع را می‌توان در روش الگوریتم ژنتیک (NSGAII) نیز دنبال نمود. همان‌گونه که در جدول فوق نشان داده شده است برای خدمت‌رسانی به مشتریان (حادثه دیدگان) واقع در گره ۱ بایستی فاصله گره‌های ۲۰-۱۸-۱۰-۷-۶-۱ طی گردد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37] [DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9] [Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

جدول ٤. تبیین ابعاد پژوهش حاضر با برخی

منابع	نوع مساله					حوزه		نوع تابع هدف		تکنیک حل
	مکانیابی	تخصیص	مسیریابی	خرابی خودرو	سایر	بحران	سایر	حداکثرسازی	حداقل سازی	
پژوهش حاضر	✓	✓	✓	✓		✓		✓		الگوریتم ژنتیک دو هدفه ***(NSGAII)*** الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه ***(ICAII)***
ارکات و همکاران [17]	✓	✓	✓			✓		✓		الگوریتم ژنتیک دو هدفه ***(NSGAII)***
بازرگان و همکاران [30]			✓			✓		✓		استفاده از نرم افزار GIS
هادی نژاد و همکاران [28]					✓		✓	✓		چهار الگوریتم NSGAII و MOPSO و PESA-II وMALO
بابایی و همکاران [31]	✓					✓		✓		الگوریتم رقابت استعماری

۸ نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای حل مساله مسیریابی خودروهای امدادی با در نظر گرفتن خرابی مسیر و خرابی خودرو، مدلی جدید در چهار مرحله ارایه گردید. در مرحله اول بعد از بازخوانی ادبیات نظری پژوهش، تعریف مساله ارایه می‌شود. در بخش دوم بر اساس مفروضات درنظر گرفته شده، یک مدل ریاضی دو هدفه ارایه گردید. در بخش سوم، از الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه برای حل مساله در ابعاد بزرگ، استفاده گردید. در مدل ریاضی ارایه شده، فرض می‌گردد که در هر سایت با توجه به نوع کاربری خود، خودروهای امدادی یکسانی قرار می‌گیرد. از این‌رو می‌توان مدل ریاضی را به گونه‌ای فرموله نمود که در هر سایت تمام خودروهای مورد نیاز در شرایط بحران اعم از ماشین‌های آتش‌نشانی، آمبولانس و غیره وجود داشته باشد. در نظر گرفتن وجود تمام خودروهای امدادی مورد نیاز در هر سایت، مفروضات مساله را به وضعیت دنیای واقعی نزدیک می‌کند، اما از سویی پیچیدگی مدل ریاضی را نیز به شدت افزایش می‌دهد. توسعه مدل ارایه شده در این پژوهش با در نظر گرفتن وجود تمام خودروهای امدادی مورد نیاز برای هر سایت زمینه مناسبی برای ادامه مطالعات در این حوزه فراهم می‌کند. همچنین جدول ۴ کلیت پژوهش حاضر با برخی از پژوهش‌هایی که در حوزه مسیریابی خودروهای امدادی انجام شده است را نشان می‌دهد.

در بخش چهارم، اعتبارسنجی مدل ریاضی و کارایی الگوریتم‌های حل ارایه‌شده از طریق مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم ژنتیک دو هدفه (NSGAII)، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که هرکدام از الگوریتم‌های پیشنهادی می‌تواند در برخی از شاخص‌ها از کارایی بالاتری نسبت به دیگری برخوردار باشد. از این‌رو از شش شاخص جهت ارزیابی کارایی این دو الگوریتم استفاده گردید. شاخص تعداد جواب‌های پارتو (NPS) نشان می‌دهد که باتوجه به ابعاد مسایل حل شده در این پژوهش تعداد پاسخ‌های پارتو یافت‌شده از طریق الگوریتم ژنتیک دو هدفه (NSGAII) بیشتر از تعداد پاسخ‌های پارتو یافت‌شده از طریق الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه (MOICA) می‌باشدکه نشان‌دهنده کارایی بهتر الگوریتم ژنتیک دو هدفه (NSGAII) است.

یکی دیگر از شاخص‌های مورد نظر برای سنجش میزان کارایی الگوریتم‌های چندهدفه استفاده از میزان شاخص کیفیت(QM) هریک از الگوریتم‌های مورد استفاده می‌باشد. این شاخص نشان می‌دهد که در ابعادهای مسایل حل شده مقدار این شاخص برای هر دو الگوریتم یکسان می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان داشت که الگوریتم‌های پیشنهادی پژوهش دارای کارایی برابری در این شاخص می‌باشد. همچنین سومین شاخص ارزیابی الگوریتم‌های چندهدفه شاخص متوسط فاصله از نقطه ایده آل(MID) است. این شاخص نشان‌دهنده میانگین فاصله نقاط پارتو از جواب ایده‌آل است که هرچه مقدار آن کمتر باشد الگوریتم مورد استفاده از کارایی بالاتری برخوردار است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کارایی الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه (MOICA) بالاتر از الگوریتم ژنتیک دو هدفه (NSGAII) است.

شاخص فاصله (SM) یکی دیگر از شاخص‌های ارزیابی بین الگوریتم‌های چندهدفه می‌باشد. این شاخص نشان‌دهنده انحراف معیار فاصله پاسخ‌های نامغلوب می‌باشد و هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد، نشان کارایی

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

بهتر الگوریتم است. بر اساس این شاخص می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم رقابت استعماری دو هدفه (MOICA) کارایی بالاتری نسبت به الگوریتم ژنتیک دو هدفه (NSGAII) دارد. نتیجه شاخص گوناگونی (DM) بیان می‌کند میزان فاصله اقلیدسی بین جواب ابتدایی و انتهایی مجموعه پاسخ پارتو در الگوریتم‌های مورد استفاده در این پژوهش کارایی یکسان این دو الگوریتم را نشان می‌دهد. همچنین شاخص زمانی الگوریتم‌های مورد استفاده نشان می‌دهد که الگوریتم رقابت استعماری دوهدفه (MOICA) با حذف جواب‌های غیرموجه موجب افزایش سرعت رسیدن به جواب بهینه در زمان کوتاه‌تری نسبت به الگوریتم ژنتیک دو هدفه (NSGAII) می‌شود. همچنین همان‌گونه که پیش‌تر نشان داده شد، الگوریتم رقابت استعماری دوهدفه (MOICA) با تکرارهای کمتر به جواب بهینه می‌رسد، که این خود نشان‌دهنده کارایی بالای الگوریتم رقابت استعماری می‌باشد.

منابع

[1] Barzinpour, Farnaz (2014). Location-Multi-Objective Routing Model in Relief Chain Management with a Periodic Approach. Publication: Journal of Operations Research in its Applications, 3 (Series 42).

[2] Mohammadi, Ahmad, Yaghoubi, Saeed and Nehafti Kohneh, Jamal. (2014). Presentation of a two-objective mathematical model of relief logistics with transmission points and support facilities (Case study: Earthquake crisis in region one of Tehran). Publication: Journal of Operations Research in its Applications, 4 (43).

[3] Jafari Keliji, Manouchehr, Sadeghpour Haji, Mahboubeh and Haji Aghaei Keshtoli, Mostafa (2017). Timing the truck in the dock to reduce delays using the meta-heuristic algorithm of colonial competition. Publication: Journal of Operations Research in its Applications, 1398, 1 (60).

[4] Teimoury, Ebrahim (2013).Two-Facility Location Problem with Infinite Retrial Queue. s.l. : IGI Global.

[5] Figliozzi, Miguel Andres (2012). The Time Dependent Vehicle Routing Problem With Time Windows:Benchmark Problems, An Efficient Solution Algorithm, And Solution Characteristics. Transportation Research Part E, 48, 616–636.

[6] Lindsey, Robin and Verhoef, Erik. (2010). CONGESTION MODELLING. Transportation science, 21, 135-143.

[7] Tatomir, Bogdan, Rothkrantz, Leon and Suson, Adriana (2009). Travel Time Predeiction For Dynamic Routing Using Ant Based Control. Proceedings of the Winter Simulation Conference. 10.

[8] Zhang, B ,Li, H ,Li, S & ,Peng, J (2018). Sustainable multi-depot emergency facilities location-routing problem with uncertain information. . Applied Mathematics and Computation, 333, 506-520.

[9] Katz, N ,Leonard, L ,Wiesenfeld, L ,J. Perry, J & Calder, L (2017). Support of supervised injection facilities by emergency physicians in Canada.International Journal of Drug Policy, 49, 26-31.

[10] Ahmadi, Morteza, Seifi, Abbas and Gharahi, Alireza (2012). A humanitarian logistics model to minimize losses aftermath of an earthquake in large-scale and actual size. Journal of Emergency Management.

[11] Zhang, Bo , Peng, Jin and Li, Shengguo (2017). Covering location problem of emergency service facilities in an uncertain environment. Applied Mathematical Modelling, 51, 429-447.

[12] Lacomme, C Prins and Ramdan, Cherif (2013). Annals of Operations Research Competitive memetic algorithms for arc routing problems, 131, 159-185..

[13] Yin, Ping and Mu, Lan (2012). Modular capacitated maximal covering location problem for the optimal siting of emergency vehicles. Applied Geography 34 247e254.

[14] Overstreet, R.E(2012). Research in humanitarian logistics. Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management 1(2), 114-131.

[15] Khayal, D, Pradhananga, R, Pokharel, & Mutlu, F (2015). A model for planning locations of temporary distribution facilities for emergency response. Socio-Economic Planning Sciences, 52, 22-30.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]

[16] N. Berger, A ,K. Black, L ,H. S. Bouwman, C & Dlugosz, J (2017).Bank loan supply responses to Federal Reserve emergency liquidity facilities. Journal of Financial Intermediation, 32, 1-15.
[17] Arkat, Jamal , Zamani, Shokoufeh and Qods, Parak (2014). Location-routing for emergency facilities considering destruction probabilities for communication paths in crises. Journal of Emergency Management.
[18] Zachariadis, E. E. and Kiranoudis, C. T (2011). A Local Search Meta-heuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-ups and Deliveries. Expert Systems with Applications, 38 (3), 2717–2726.
[19] Lee, C., Huang, C., Hsiao, T & ,.Wu, C (2014). Impact of Vehicular Networks on Emergency Medical Services in Urban Areas. International Journal of Environmental Research and Public Health, 11, 11348-11370.
[20] Zdamar, L, Ekinci, E. and Kkyazici, B (2004). Emergency logistics planning in natural disasters. Annals of Operations Research, 129(1), 217-245.
[21] de la Torre, L, Dolinskaya, I.S. and Smilowitz, K.R (2012)Disaster relief routing: Integrating research and practice. Socio-Economic Planning Sciences, 46(1), 88-97.
[22] Contreras, Ivan ,Ferna´ndez, Elena و Reinelt, Gerhard (2012). Minimizing the maximum travel time in a combined model of facility location and network design .Omega, 847-860.
[23] Atkinson, J ,.Kovalenko, I ,.Kuznetsov, N & ,.Mykhalevych, K (2008). A hypercube queueing loss model with customer-dependent service rates. European Journal of Operational Research 191 (2008) 223–239.
[24] Yi, , W and zdamar, L. (2007). A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. European Journal of Operational Research, 179(3), 1177-1193.
[25] Zdamar, L and Demir, O (2012). A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 48(3), 591-602.
[26] Enayatifar, Rasul (2013). MOICA: Anovel multi-objective approach based on imperialist competitive algorithm. Applied Mathematics and Computation, 219, 8829–8841.
[27] Safari, Hossein and Faghih, Alireza (2014). Solving the Resource-Constrained Project Scheduling Problems (RCPSP) Using Developed Imperialistic Competition Algorithm (DICA). Industrial Management Journal.
[28] Hadi nezahd, Farhad, Ramzi, Ali و Khaje, Mostafa (2018). Evaluation and comparison of multi-objective meta-heuristic algorithms to solve the optimization problem. Military Management Quarterly, No. 8.
[29] Sorensen, Paul & Church, Richard (2010). Integrating expected coverage and local reliability for emergency medical services location problems .Socio-Economic Planning Sciences, 44, 8-18.
[30] Bazargan, Mehdi & Bize, Ali Akbar (2017). Implementing network analysis routing algorithms in crisis management in order to route relief facilities assuming the possibility of failure of communication routes in times of crisis using GIS. International Conference on Urban Planning and Management.
[31] Shariat Mahimani, Afshin, Maadi, Saeid & Babaei, Mohsen (2012). Applying the colonial competition algorithm in locating emergency medical centers. Sixth National Congress of Civil Engineering.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2021.18.2.4.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.18.2.37]