نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۸

Vol.7, No.1, Spring 2019

۱۹۱-۱۶۹

مقاله پژوهشی

رهیافتی کارا مبتنی بر الگوریتم جغرافیای زیستی بهبودیافته جهت حل مسئله مسیریابی موجودی

علی‌اصغر حیدری [۱]، رحیم علی عباسپور* [۲]

۱- دانشجوی دکتری سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۰۹

چکیده

مسئله مسیریابی همواره به‌عنوان یکی از مراحل بنیادین توسعه سامانه‌های مدیریت مخاطرات موردتوجه پژوهشگران و مدیران شهری بوده است. در این پژوهش، یک مسئله مسیریابی با ارائه یک روش فرا اکتشافی بهبودیافته بر مبنای جغرافیای زیستی مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. در این مسئله، برنامه‌ریزی تأمین در کنار مدیریت موجودی و برنامه‌ریزی توزیع کالاهای امدادی لحاظ گردیده و هدف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های راه‌اندازی سامانه، توزیع و نگه‌داری کالاهای امدادی است. سپس، به‌منظور جلوگیری از همگرایی زودرس به پاسخ‌های بهینه محلی و ارتقاء کارایی و سرعت همگرایی الگوریتم در مسائل مقید و با ابعاد بزرگ، یک الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی جدید با عملگر دینامیک مهاجرت پیشنهاد می‌گردد. با در نظر گرفتن مسائل نمونه مسیریابی، عملکرد الگوریتم پیشنهادی نسبت به دیگر الگوریتم‌ها از دیدگاه زمان اجرا، سرعت همگرایی، استحکام، بهترین و میانگین و برتری آماری نتایج مقایسه شده است. ارزیابی آماری نتایج مبین بهبود کارایی و کسب نتایج برتر با استفاده از رهیافت پیشنهادی در مسیریابی زمان‌مند وسایل نقلیه امدادی است.

کلیدواژه‌ها: الگوریتم جغرافیای زیستی، زمان، مسیریابی، بهینه‌سازی، امداد.

*نویسنده مکاتبه کننده: تهران، امیرآباد شمالی، دانشکده فنی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی

تلفن: ۰۹۱۰۵۰۴۰۱۴۸

Email : abaspour@ut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

۱- مقدمه

مخاطرات طبیعی زیادی در پهنه فلات ایران رخ می‌دهد، اما بخشی از هزینه‌های ناشی از این مخاطرات، صرفاً به دلیل اثرات مخرب حادثه نبوده، بلکه به‌دلیل عدم برنامه‌ریزی کارآمد جهت مدیریت بحران و پس از مخاطره ایجاد شده است. امروزه با رشد سریع شهرنشینی، مباحث مربوط به مدیریت، راهوری و سامان‌دهی مجروحین در صورت وقوع بحران‌های طبیعی و انسانی به یکی از مسائل چالش‌برانگیز در زمینه مطالعات لجستیک و زنجیره تأمین تبدیل شده است [۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹]. با نگاهی به پیامدهای جانبی برآمده از نا به سامانی‌های پس از وقوع مخاطرات همچون اتلاف هزینه‌ها و منابع و افزایش تلفات انسانی، اهتمام بیش‌ازپیش به مبحث سامانه‌های امدادرسانی موردنیاز است [۸].

محققان فراوانی نیز در جستجوی راهکاری کارا برای مدیریت هزینه های ناشی از امدادرسانی در مخاطرات بوده‌اند. برای نمونه، در سال ۲۰۱۷، رویکردی مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی و بر اساس مسئله فروشنده دوره گرد[1] ارائه شد [۱۰]. همچنین، هزینه های روانی انتظار برای دریافت منافع امدادی مدنظر محققان واقع شده است [۱۱]. با این حال، در بسیاری از کاربردهای موردنیاز در ایران که در جهت کنترل و سامان‌دهی تردد وسایل نقلیه امدادی و به‌منظور افزایش کارایی و بهره‌وری سامانه‌های امدادی به ثبت می‌رسد، با چالش تعیین مسیر بهینه یک ناوگان حمل‌ونقل در مسئله مسیریابی موجودی وسایل نقلیه (IVRP[2]) مواجه شویم [۱۲].

مسئله IVRP یک تعمیم کاربردی مسئله معروف مسئله مسیریابی وسایل نقلیه[3] (VRP) و VRP با محدودیت پنجره‌های زمانی[4] (VRPTW) است [۱۳].

در مسئله IRP، علاوه بر متغیرهای های مسئلهVRP، متغیرهای موجودی و زمان نیز در نظر گرفته شده اند. مسئله IRP می تواند تعادلی بین هزینه‌های حمل و نقل و مدیریت موجودی برقرار نماید که از اهمیت ویژه‌ای در پایداری سامانه‌های حمل و نقل برخوردار است [۱۴]. برای مثال، در سناریوی این تحقیق، مسئله IVRP می‌تواند ارسال کالای امدادی (خدمات)، تصمیمات مربوط به کنترل کالاهای امدادی و مسئله مسیریابی ناوگان حمل و نقل از یک سازمان مرکزی به مجموعه ای از مراکز را در هم ادغام نماید [۱۵]. در IRP کلاسیک، متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله شامل زمان بازدید هر مصرف‌کننده و کمیت ارسالی هستند و هدف تعیین مسیرهای بهینه ای است که عملکرد سامانه را بر مبنای محدودیت‌های مدنظر کارفرما بهینه نماید. از این رو، هدف تعیین زمان‌بندی و میزان تحویل کالا به مشتریان بر مبنای مجموعه ای از قیود است، به‌گونه‌ای که هیچ یک از مشتریان با کمبود کالا مواجه نشوند [۱۶]. کولهو[5] و همکاران به یک بررسی مروری در مورد انواع مختلف مسئله IRP پرداختند [۱۷]. برتازی[6] و همکاران نیز مطالعه جامعی پیرامون چندین نوع از مسئله IRP را ارائه نمودند [۱۸]. در این مسئله، می‌توان یک یا چندین محصول برای تحویل به مشتریان در نظر گرفت. متغیر زمان نیز می‌تواند پیوسته یا گسسته باشد. چیت ساز و همکاران یک مدل چرخه‌ای جدید برای IVRP ارائه نمودند [۱۹]. زاخاریادیس[7] و همکاران، بر مبنای افق زمانی برنامه ریزی، رویکردهای حل IRP را بدین‌صورت طبقه‌بندی نمودند: مدل‌های یک دوره‌ای؛ چند دوره‌ای و با دوره‌های نامحدود [۲۰]. یو[8] و همکاران، به مدل‌سازی قیود تحویل مستقل و تعداد خودروهای حمل کالا

[1] Traveling Salesman Problem
[2] Inventory Routing Problem
[3] Vehicle Routing Problem
[4] Vehicle Routing Problem with Time Window

[5] Coelho
[6] Bertazzi
[7] Zachariadis
[8] Yu

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

پرداختند. در این پژوهش، از الگوریتمی فرا اکتشافی و تقریبی بهره‌گیری شد [۲۱]. تحقیقات زیادی نیز بر اساس رهیافت ارسال مستقیم کالا از یک مرکز به یک گیرنده منتشر شده است. برای نمونه، لی[1] و همکاران در کنار تحلیل دقیق رهیافت ارسال مستقیم کالاها، عملکرد این روش را در شرایط مختلف ارزیابی نمودند [۲۲]. همچنین، کمبل و هردین[2] از یک الگوریتم حریصانه برای تعیین کمینه تعداد وسایل نقلیه موردنیاز با استراتژی ارسال مستقیم استفاده کردند [۲۳]. پن[3] و همکاران قیود منعطف مربوط به وسایل نقلیه را بررسی کردند. تحقیق آن‌ها از یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط استفاده نمود و نتایج نشان دهنده مزیت استفاده از الگوریتم‌های فرااکتشافی جهت حل IVRP است [۲۴]. مسئله IVRP یک مسئله ان پی سخت است [۲۵]. در نتیجه، الگوریتم‌های دقیق مانند روش شاخه و کران همیشه راهگشا نیستند و از این رو، تحقیقات زیادی نیز از الگوریتم‌های فرااکتشافی برای تخمین پاسخ‌ها بهره‌گیری نمودند. در این راستا، عزیز و مام[4] به حل مسئله IVRP با چندین کالا و در چند دوره با استفاده از الگوریتم ژنتیک[5] (GA) و جهت کمینه‌سازی هزینه‌های انتقال و انبارداری پرداختند [۲۶]. معین[6] و همکاران با رویکردهای مشابه ای، به توسعه الگوریتم های دیگری بر مبنای الگوریتم GA پرداختند [۲۷]. حل این مسئله با زنجیره تأمین دوسطحی و بر مبنای الگوریتم جستجوی ممنوعه نیز بررسی گردیده است [۲۸]. در پژوهش دیگری، تأثیر انتخاب پارامترهای الگوریتم ژنتیک در دقت جواب‌های مسئله بررسی شد [۲۹].

به‌دلیل نیازهای روزافزون جهت کمینه‌سازی هزینه ها و تعیین زمان‌بندی بهینه به‌منظور مدیریت مخاطرات، در این تحقیق به توسعه و ارزیابی رویکردی جدید و کارا جهت حل مسئله IVRP پرداخته شده است. با الگوریتم پیشنهادی این تحقیق می‌توان هزینه های مربوط به ارسال اقلام و خدمات امدادی، کنترل موجودی و مسیریابی خودروهای امدادی را به صورت همزمان، کارا و بهینه مدیریت نمود. برای نخستین بار در این تحقیق، عملکرد الگوریتم جغرافیای زیستی جهت حل مسئله IVRP ارزیابی شده است. این الگوریتم جمعیت مبنای قوی می‌تواند با الهام از الگوی مهاجرت گونه‌ها بین نواحی مختلف به حل بسیاری از مسائل مقید و ان پی سخت در مهندسی بپردازد [۳۰ و ۳۱]. انگیزه دیگر این تحقیق، بهبود عملکرد این الگوریتم برای دستیابی به کارایی بالاتر با کاربرد در مسئله IVRP بوده است.

در این مقاله، ابتدا به ارائه یک عملگر آشوبی مهاجرت جدید برای الگوریتم پرداخته شده است، به گونه‌ای که تغییری در میزان پیچیدگی زمانی و حافظه الگوریتم استاندارد رخ ندهد. علاوه بر آن، جهت بهبود قابلیت اکتشاف مرحله نخست الگوریتم، در محدوده جواب های محتمل، یک همسایگی تصادفی حول هر بوم با استفاده از عملگر جهش تشکیل می شود که مکانیزم این عملگر نیز برای نخستین بار در الگوریتم جغرافیای زیستی[7] (BBO) بکارگرفته شده است. همچنین یک مجموعه مرجع در الگوریتم گنجانده شده است. بر این اساس، از میان بوم‌های غیرتکراری موجود در جمعیت پاسخ‌ها، در هر تکرار به تعداد مشخصی ذره بر اساس مقادیر برازندگی بهتر انتخاب و در مجموعه مرجع ذخیره شدند که این استراتژی به حفظ بوم‌های با تنوع و کیفیت بیشتر کمک می نماید. علاوه بر این مکانیزم‌ها، فرآیند متنوع سازی نیز به الگوریتم اضافه شده است.

[1] Li
[2] Campbell and Hardin
[3] Pan
[4] Aziz and Mom
[5] Genetic Algorithm
[6] Moin
[7] Biogeography-based optimization

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

جهت کاهش احتمال همگرایی زودرس الگوریتم، در مرحله اول، بهترین بوم از میان اعضای مجموعه مرجع انتخاب و به نسبت درصد مشخصی از بوم‌های گروه، از بوم انتخاب‌شده، کپی برداشته می‌شود. بوم‌های کپی با عملگر جهش توضیح داده شده، تغییر می‌یابند و با بدترین بوم‌های گروه جایگزین می‌شوند. با این روش، با اعمال تغییرات تصادفی محدود در بهترین بوم گروه، با افزایش مؤلفه‌های خوب در میان پاسخ‌های یافت شده، روند متنوع سازی الگوریتم جستجو بهبود یافته است. در این مقاله، برای نخستین بار به استفاده و بهبود الگوریتم جغرافیای زیستی در حل مسئله مسیریابی موجودی پرداخته شده است. بدین‌منظور، ابتدا سپس، کارایی محاسباتی رهیافت توسعه داده شده از منظر زمان محاسبات، نرخ موفقیت، بهترین و میانگین هزینه مسیرها با نتایج به‌دست آمده از روش حل دقیق و چندین روش فرااکتشافی دیگر شامل الگوریتم‌های GA، توده ذرات[1] (PSO) و تکامل اختلافی[2] (DE) مقایسه گردید. الگوریتم های ارائه شده بر مبنای دو فرآیند متوالی و مکمل پیاده‌سازی شدند. رویکرد جدید پیشنهادی می‌تواند نقش چشم‌گیری در کاهش هزینه‌های حمل و نقل و امدادرسانی پس از مخاطرات داشته باشد. در ادامه به توصیف مدلی با توپولوژی زمانی دوره‌ای و سپس به طراحی و آزمایش روشی جدید برای حل مدل پرداخته شده است.

۲-روش تحقیق و تحلیل

بر مبنای رویکرد تحقیقات در زمینه IVRP، مدل این مسئله نیز با زمینه کاربرد در مدیریت مخاطرات بر مبنای رویکرد برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط حل شده است. در این تحقیق، مسئله IVRP با توپولوژی زمانی چند دوره‌ای و وضعیت چندکالایی حل شده است. هدف تیم مدیریت کمینه‌سازی هزینه‌های امدادرسانی همچون بودجه مورد نیاز برای برپایی عملیات، توزیع اقلام و انباشت اقلام در ایستگاه‌های مختلف بوده است. بر اساس این مدل، تمامی اقلام امدادی موردنیاز با بهره‌گیری از مجموعه‌ای از خودروهای حمل بار از طرف یک سازمان مرکزی امدادی به سوی شماری از ایستگاه‌های امدادی از قبل برپا شده ارسال می‌گردند. هر خودروی امدادی ظرفیت محدودی برای هر عملیات انتقال کالا دارد. سازمان مرکزی که کالاها را انبار نموده، می تواند به‌صورت مستقیم اقلام را ارسال نماید. همه تبادلات اقلام بین سازمان و ایستگاه‌ها با کمک خودروهای امدادی و در یک دوره زمانی معین انجام می‌شود. هر خودرو هر بار می تواند اقلام را به یک ایستگاه ارسال نماید، زیرا ارسال همه اقلام برای همه ایستگاه‌ها به‌طور همزمان با یک خودرو ممکن نیست. هر خدمت یا کالا می‌تواند در طی یک مرحله به هر ایستگاه ارسال شود. گنجایش انباشت اقلام همچون ظرفیت تأمین اقلام برای ایستگاه ها و سازمان محدود است. جهت بهترین کارایی در مدیریت مخاطرات، برای تمام ایستگاه‌ها و سازمان، هیچ‌گونه کمبود در اقلام یا خدمات امدادی مجاز نیست.

در این مدل، از این پارامترها استفاده شده است:

با توجه به این پارامترها، چارچوب ریاضی این مسئله می‌تواند با استفاده از روابط (۱) الی (۸) ارائه می‌شود [۳۲]:

تابع هدف در رابطه (۱) به‌صورت یک تابع کمینه‌سازی بیان شده که شامل هزینه‌های ثابت راه‌اندازی هر خط تامین، هزینه‌های مربوط به ارسال کالای امدادی به ایستگاه‌ها، و هزینه‌های مربوط به تأمین‌کننده کالاها و ایستگاه‌های امدادی از محل نگهداری یک کالا است.

رابطه (۲) بیان‌کننده وضعیت تعادل موجودی بین تقاضای کالای نوع s ام در ایستگاه v ام و در دوره t ام و مجموع کالاهای نوع s منتقل‌شده از سازمان به ایستگاه در دوره t ام است. اختلاف $Z_{sv(t-1)} - Z_{svt}$ در رابطه (۲) نشان می دهد چه میزان از موجودی ایستگاه کم شده است. E_{svt} نشان می دهد که چه میزان کالا از

[1] Particle swarm optimization
[2] Differential evolution

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

سازمان به ایستگاه ارسال شده است. بنابراین، مجموع دو عبارت نشان دهنده میزان تقاضای کالا در ایستگاه خواهد بود. برای مثال، فرض کنید به دنبال میزان تقاضای یک کالا در یک ایستگاه هستیم. اگر آنچه در ایستگاه موجود است و آنچه که در دور قبل موجود بوده برابر ۱۵ و ۲۰ واحد صابون باشد (یعنی ۵ واحد از موجودی کم شده)، و همچنین ۵ واحد صابون نیز از سازمان به ایستگاه ارسال شده و در موجودی فعلی نباشد، می توان گفت که میزان تقاضا در آن ایستگاه ۱۰ واحد صابون بوده است.

$$\text{Minimize } Y = \sum_{t,v|v\neq 0} C_v.G_{vt} + \sum_t \mu_t.H_t + \sum\sum\sum_{s,v,t} T_{sv}.Z_{svt} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$Z_{sv(t-1)} - Z_{svt} + E_{svt} = q_{svt} \quad \forall s,v \mid v \neq 0,t \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$Z_{s0(t-1)} - Z_{s0t} + S_{st} = \sum_v E_{svt} \quad \forall s,t \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\sum_s \beta_s.S_{st} \leq M_{\max}.H_t \quad \forall t \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\sum_s \alpha_s.E_{svt} \leq R.G_{vt} \quad \forall v \mid v \neq 0,t \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\sum_s \alpha_s.Z_{svt} \leq U_v \quad \forall v,t \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$G_{vt}, H_t \in \{0,1\} \quad \forall v,t \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$Z_{svt}, S_{st}, E_{svt} \geq 0 \quad \forall s,v,t \quad \text{رابطه (۸)}$$

تعادل میان مجموع کالاهای نوع **s** منتقل‌شده از سازمان به‌تمامی ایستگاه‌ها در دوره **t** ام و مجموع تمام کالاهای نوع **s** ام که در دوره **t** ام تأمین شده است، با رابطه (۳) مدل‌سازی شده است. این معادله مشابه معادله رابطه (۳) اما برای سازمان مرکزی است؛ بنابراین، اختلاف $Z_{s0(t-1)} - Z_{s0t}$ نشان می‌دهد که چه میزان از موجودی سازمان کم شده است. S_{st} نیز نشان می‌دهد که چه میزان کالا در یک دوره توسط سازمان تامین (تولید) شده است؟ بنابراین، بر اساس رابطه (۳)، مجموع تمام کالاهایی که توسط سازمان به ایستگاه ها ارسال شده باید برابر با مجموع میزان آنچه از میزان موجودی سازمان کم شده و آنچه توسط سازمان تامین شده باشد. برای مثال، اگر در سه دوره به میزان ۵، ۵ و ۵ واحد صابون از سازمان مرکزی به ایستگاه‌ها ارسال شده باشد، در مجموع در طول سه دوره، ۱۵ واحد به ایستگاه ها ارسال شده است. اگر سازمان ۵ واحد صابون را تامین (تولید) کرده باشد، بنابراین باید در طول سه دوره ۱۰ واحد صابون نیز از موجودی انبار سازمان کم شده باشد. در نتیجه رابطه (۳) تعادل میزان تامین و ارسال را نشان می‌دهد.

رابطه (۴) برای محدود کردن ظرفیت تأمین کالاها لحاظ شده است؛ زیرا نمی‌توان به طور نامحدود، کالای امدادی را برای همه ایستگاه‌ها تامین کرد. در رابطه (۴)، مفهوم سمت چپ معادله، بیانگر میزان مصرف همه کالاهای تامین شده است و سمت راست معادله بیانگر حداکثر ظرفیت سازمان برای تامین همه کالاها است. بدیهی است که سازمان نمی تواند بیشتر از ظرفیت تامین خود، به تامین کالاها بپردازد. برای مثال، اگر سازمان بتواند حداکثر ۱۰۰ نوع کالا را تامین کند و اگر به همه ایستگاه ها از همه انواع کالاهای موجود فرستاده باشد، سازمان حداکثر ۱۰۰ واحد کالا از

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]

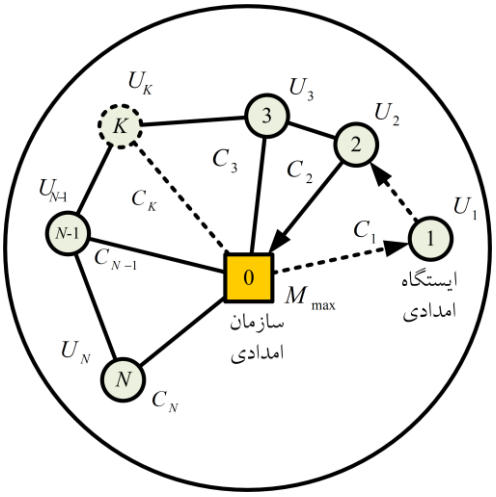
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

انواع مختلف فرستاده است؛ زیرا از ابتدا، حداکثر ظرفیت تامین سازمان محدود به ۱۰۰ واحد است.

رابطه (۵) نیز، مفهومی مشابه رابطه (۴)، اما برای خودروها دارد و این بار محدودیت ظرفیت خودروهای امدادرسان را بیان می‌کند؛ زیرا هر خودرو یا وسیله نقلیه قابلیت حمل مقدار مشخصی از کالا را دارد. بر اساس رابطه (۵)، میزان مصرف همه کالاهای ارسال شده از سازمان به ایستگاه ها (مفهوم سمت چپ رابطه) حداکثر برابر ظرفیت وسایل امدادی یا کمتر از آن خواهد بود. بدیهی است که هر وسیله حداکثر به اندازه ظرفیت خود قادر به حمل کالا است؛ بنابراین، مجموع همه ارسال ها نیز نمی تواند از حداکثر ظرفیت وسایل بیشتر شود (چون راه ارسال دیگری وجود ندارد).

رابطه (۶) به‌منظور تضمین محدود بودن ظرفیت نگه‌داری برای سازمان مرکزی و ایستگاه‌ها لحاظ می‌شود. بر اساس رابطه (۶)، میزان موجودی مصرف شده همه نوع کالاها در هر ایستگاه یا سازمان حداکثر برابر ظرفیت انباشت در آن محل خواهد بود. برای مثال، اگر در یک ایستگاه حداکثر ۱۰۰ بسته صابون قابل انبار است، میزان موجودی مصرف شده از آن ایستگاه حداکثر ۱۰۰ واحد صابون خواهد بود و نمی‌توان خارج ظرفیت آن ایستگاه توقع صابون داشت.

از طریق رابطه (۱ و ۲) نیز محدودیت‌های فنی بدیهی بر روی متغیرهای تصمیم‌گیری لحاظ گردید. توابع ارائه شده بر اساس مدل پیشنهادی میرزایی و همکاران است [۳۲]. اجزای اصلی مسئله به‌صورت شفاف در شکل (۱) نیز نمایش داده شده‌اند. بر این اساس، هر ایستگاه امدادی در طی دوره‌های زمانی متوالی می‌تواند اقلام امدادی موردنیاز را به کمک یک سازمان امدادی مرکزی به‌دست آورد.



شکل ۱: مدل مفهومی شبکه

در بخش بعد، برای نخستین بار به توسعه یک الگوریتم جدید و کارا جهت حل این مدل پرداخته شده است.

۱-۲- الگوریتم بهبود یافته مبتنی بر بهینه‌سازی جغرافیای زیستی

الگوریتم مبتنی بر جغرافیای زیستی[1] (BBO) یک الگوریتم بهینه‌سازی جدید تکاملی است که در سال

[1] Biogeography-Based Optimization

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

۲۰۰۸ با الهام از پدیده مهاجرت پرندگان و سایر جانداران بین جزایر مختلف مطرح گردید [۳۰ و ۳۱]. دانش جغرافیای زیستی به‌عنوان زیرشاخه‌ای از علوم بیولوژی، به مطالعه و کنکاش در نحوه توزیع گونه‌ها، ایجاد گونه‌های جدید و انقراض گونه‌های موجود در بوم‌های[1] گوناگون زمین می‌پردازد. جزایر یا زیستگاه‌هایی که مکان مناسبی برای اسکان یک نژاد از جانداران باشند، شاخص تناسب یا صلاحیت (*HSI*[2]) بالاتری به آن‌ها تعلق می‌گیرد. متغیرهایی که بیانگر میزان صلاحیت یک منطقه برای مهاجرت را مشخص می‌کنند،[3] *SIV* نامیده می‌شوند. متغیرهای *SIV* مستقل بوده اما متغیرهای *HSI* وابسته هستند. جزایر با نرخ *HSI* بالا، دارای میزان مهاجرت به داخل کم‌تری خواهند بود. از سوی دیگر، جزایر با شاخص *HSI* کمتر، نرخ مهاجرت به داخل بالاتری خواهند داشت. در این الگوریتم، همچون الگوریتم ژنتیک، پاسخ‌های با برازندگی بیشتر دارای میزان مطلوبیت بیشتری هستند، جواب‌های (مناطق زیستی) با *HSI* بیشتر، بیانگر جواب‌های بهتری برای مسئله‌اند. یک پاسخ برتر (نزدیک‌تر به نقطه بهینگی مسئله) دارای *HSI* بالاتر و یک پاسخ ضعیف دارای *HSI* کمتر است. پاسخ‌های با *HSI* بالا، ویژگی‌های برتر (نخبگی) خود را با پاسخ‌های با *HSI* پایین به اشتراک می‌گذارند و با این روش، کیفیت جمعیت ضعیف افزایش می‌یابد. در این روش، عملگرهای مهاجرت و جهش، تغییرات مطلوب در نسل اولیه پاسخ‌ها را ایجاد می‌کنند. درصورتی‌که پاسخ‌های نامزد (زیستگاه‌ها) را به‌وسیله برداری از اعداد صحیح نشان دهیم، هر عنصر از این بردار همانند ژن در الگوریتم ژنتیک یک *SIV* است. پاسخ‌های مطلوب و ضعیف در این بردار به ترتیب دارای *HSI* بالاتر (زیستگاه‌هایی با گونه‌های بسیار) و پایین‌تر خواهند بود. هر زیستگاه دارای دو نرخ مهاجرت به داخل[4] (درون کوچ) (λ) و مهاجرت به خارج[5] (برون کوچ) (μ) است. در رابطه (۹ و ۱۰) نحوه محاسبه این دو نرخ بیان شده است:

$$\lambda_i = I\left(1-k(i)/n\right),$$ رابطه(۹)

$$\mu_i = E\left(k(i)/n\right),$$ رابطه (۱۰)

که در این روابط، I و E به ترتیب میزان نرخ مهاجرت به‌داخل و خارج راه‌حل‌ها را بیان می‌کنند و $k(i)$ رتبه گونه‌های ساکن در زیستگاه i ام است که بین ۱ (برای بهترین پاسخ) و تعداد اعضای جمعیت n (برای بدترین پاسخ) واقع شده است. عملگر مهاجرت در این الگوریتم به‌منظور بهبود کیفیت پاسخ‌های ضعیف بر اساس پاسخ‌های نخبه و برتر لحاظ شده است. دیگر متغیری که در اصول مربوط به مهاجرت در جغرافیای زیستی مطرح است، احتمال وجود یک نژاد یا گونه زیستی در یک زیستگاه یا جزیره است. این متغیر بر اساس رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود. بر اساس قواعد مارکوف و فرآیندهای تصادفی برای حرکت یک گونه از زمان t به زمان $t+\Delta t$، احتمال رخداد سه حالت متصور است تا در پایان s گونه در زمان $t+\Delta t$ در جزیره ساکن باشند: در زمان t، s گونه موجودند و تغییری در این تعداد در طول بازه رخ ندهد، در زمان t، $s-1$ گونه موجودند و در طول بازه یک کوچ به داخل رخ دهد و یا در زمان t، $s+1$ گونه موجود بوده و در طول بازه یک کوچ به خارج رخ دهد.

رابطه(۱۱)

$$P_s(t+\Delta t) = P_s(t)\left(1-\lambda_s\Delta t-\mu_s\Delta t\right)+P_{s-1}\lambda_{s-1}\Delta t+P_{s+1}\lambda_{s+1}\Delta t,$$

اگر طول بازه Δt بسیار کوچک باشد ($\Delta t\to 0$)، می‌توان از احتمال بیش از یک مهاجرت روبه‌داخل و خارج صرف‌نظر نمود و رابطه را به‌صورت زیر تعدیل کرد.

[2] Habitat
[2] Habitat Suitability Index
[3] Suitability Index Variable

[4] Immigration
[5] Emigration

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

$$P_k^{\varepsilon=\Delta t\to 0}=\begin{cases}-\lambda_0 P_0+\mu_1 P_1 & k=0\\ -\left(\lambda_k+\mu_k\right)P_k+\lambda_{k-1}P_{k-1}+\lambda_{k+1}P_{k+1} & 1\le k\le n-1,\\ -\mu_k P_n+\lambda_{n-1}P_{n-1} & k=n\end{cases}$$
$$\forall k=0,1,...,n\ ,\ \lambda_0=0,\ \ \mu_0=0$$

رابطه (۱۲)

جهت سادگی محاسبات $n=s_{max}$ و $P=\left[P_0,P_1,...,P_n\right]$ فرض می‌شود، در این صورت $P^{\varepsilon}=AP$ که ماتریس A به‌صورت رابطه (۱۳) می‌گردد:

$$A=\begin{bmatrix}-\lambda_0 & \mu_1 & & 0 & \cdots & 0\\ \lambda_0 & -\left(\lambda_1+\mu_1\right) & & \mu_2 & \ddots & \vdots\\ \vdots & \ddots & & \ddots & \ddots & \vdots\\ \vdots & \ddots & \lambda_{n-2} & -\left(\lambda_{n-1}+\mu_{n-1}\right) & & \mu_n\\ 0 & \cdots & 0 & \lambda_{n-1} & & -\mu_n\end{bmatrix},$$

رابطه(۱۳)

همچنین، حالت پایدار احتمال شمارشی هرگونه مطابق با رابطه (۱۴) است:

$$P_k=\begin{cases}P_0=\dfrac{1}{1+\sum_{k=1}^{n}\dfrac{\lambda_0\lambda_1\cdots\lambda_{k-1}}{\mu_1\mu_2\cdots\mu_k}}, & k=0\\ P_0=\dfrac{\lambda_0\lambda_1\cdots\lambda_{k-1}}{\mu_1\mu_2\cdots\mu_k\left(1+\sum_{k=1}^{n}\dfrac{\lambda_0\lambda_1\cdots\lambda_{k-1}}{\mu_1\mu_2\cdots\mu_k}\right)}, & 1\le k\le n\end{cases},$$

رابطه(۱۴)

با یک احتمال P_k، هر راه‌حل در طی بهینه‌سازی بر اساس راه‌حل‌های دیگر اصلاح می‌شود. درصورتی‌که راه‌حلی برای اصلاح انتخاب گردد، با استفاده از نرخ مهاجرت به داخل آن (λ) و به شکل احتمالی، مشخص می‌گردد که آیا *SIV* های موجود در این راه‌حل باید اصلاح شوند یا خیر. اگر یک *SIV* واقع در راه‌حل S_i جهت اصلاح انتخاب شود، به کمک نرخ مهاجرت به خارج (μ) پاسخ‌های دیگر مسئله، به شکل احتمالی، به کمک رابطه (۱۵) تعیین می‌شود که کدام پاسخ‌ها باید سبب مهاجرت یک *SIV* به پاسخ S_i شود

$$H_i\left(SIV\right)\overset{P_k}{\leftarrow}H_j\left(SIV\right),$$

رابطه (۱۵)

رخدادهای غیرمترقبه و پیش‌بینی‌نشده همچون بلایای طبیعی می‌تواند تعادل تعداد گونه‌ها را دچار انحراف نماید و میزان *HSI* یک زیستگاه معین را دستخوش تغییر کند. در این الگوریتم، از احتمال تعداد (شمارش) گونه‌های ساکن در جزیره برای محاسبه نرخ جهش استفاده می‌شود. این احتمالات را می‌توان بر پایه معادله P_s در رابطه (۱۶) تعیین نمود.

$$m(s)=m_{\max}\left(1-p_s/p_{\max}\right),$$

رابطه (۱۶)

که در رابطه (۱۶)، m_{max} بیانگر بیشترین مقدار نرخ جهش است. با این رهیافت، هر دو نوع از پاسخ‌های دارای مطلوبیت بالاتر و پایین‌تر، دارای یک میزان شانس برای بهبود در مقادیر اولیه خود هستند.

۳-۱- عملگر پیشنهادی

الگوریتم BBO همچون دیگر الگوریتم‌های تکاملی، در برخی مسائل، ازجمله مسئله پیچیده این تحقیق، دچار مشکل هم‌گرایی زودرس به نقاط بهینه محلی می‌شود [۳۳]. در این پژوهش، به‌منظور بهبود هر چه بیشتر کارایی محاسباتی الگوریتم BBO از منظر قابلیت‌های متنوع سازی[1] و متمرکزسازی[2]، در این زیر

[1] Diversification
[2] Intensification

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

بخش، یک عملگر مهاجرت جدید طراحی شده است. در روش BBO، عملگر مهاجرت برای انتقال گونه‌ها به سمت جزایر یا بوم‌های بهتر (پاسخ‌های بهتر) است و بدین منظور، هر پاسخ کاندید H_i بر اساس اطلاعات به اشتراک گذاشته‌شده بین دیگرگونه‌های جمعیت و مقادیر (λ) و (μ) خود اصلاح می‌گردد. در الگوریتم پیشنهادی (MBBO)، عملگر مهاجرت به‌صورت رابطه (۱۷) تعریف می‌شود.

$$H_i^{d,t+1}(SIV) \leftarrow \theta^d(i)\times H_i^{d,t}(SIV)+\left(1-\theta^d(i)\right)\times H_j^{d,t}(SIV),$$

رابطه (۱۷)

که $H_i^{d,t}(SIV)$ بیانگر پاسخ i ام یک مسئله d-بعدی در تکرار t ام، $H_j^{d,t}(SIV)$ پاسخ j ام یک مسئله d-بعدی در تکرار t ام و $H_i^{d,t+1}(SIV)$ پاسخ جدید i ام یک مسئله d-بعدی در تکرار (t+۱) ام پس از مهاجرت به مکان جدید است. در رابطه (۱۷)، $\theta^d(i)$ خود تابعی بازگشتی است که بر اساس رابطه (۱۸) تعریف می‌گرد :

$$\theta_{i+1}^d = a\left(\theta_i^d\right)^2 \sin(\pi\theta_i^d),\ \ i=2,\cdots,k;\ \ a=2.3;\ \theta_1^d \in [0,1],$$

رابطه (۱۸)

در عملگر جدید مهاجرت MBBO، ویژگی‌های هر پاسخ جدید H_i بر پایه یک ترکیب دینامیکی از ویژگی‌های پیشین خود آن پاسخ و ویژگی‌های متغیر دیگر H_j تعیین می‌شود، درحالی‌که در الگوریتم اولیه، این مقدار تنها بر اساس ویژگی‌های یک پاسخ دیگر محاسبه می‌شود. مهاجرت دینامیک این امکان را ایجاد می‌کند تا در هر تکرار، فضای جستجوی مسئله متناسب با ویژگی‌های بهتر همان تکرار و میزان پیشرفت بوم ها، اکتشاف و استخراج گردد. از آنجا که این معادله بازگشتی، یک سیگنال آشوبی است ، نحوه جستجوی آشوبی محیط مسئله نیز منجر به ایجاد تنوع بیشتر در الگوهای متمرکزسازی و متنوع سازی الگوریتم می گردد [۳۴]. با این عملگر، در صورت همگرایی زودرس الگوریتم به بهینه محلی، به‌دلیل وجود الگوی آشوبی در متنوع سازی، شانس الگوریتم در فرار از نقاط بهینه محلی افزایش می یابد. این امر می‌تواند به بهبود تعادل میان رفتارهای متنوع‌سازی و متمرکزسازی الگوریتم نیز کمک کند. شبه کد الگوریتم MBBO در شکل (۲) قابل‌مشاهده است.

۳-۲- پیاده‌سازی MBBO جهت حل مدل مسئله

با توجه به چند دوره‌ای بودن مسئله پیش رو و با فرض امکان ارسال مستقیم کالای امدادی، مسئله مطرح در این پژوهش ازجمله مسائل با درجه پیچیدگی سخت خواهد بود [۳۵]. ازاین‌رو، الگوریتم بهینه‌سازی جغرافیای زیستی می‌تواند روش مناسبی برای یافتن پاسخ‌های ممکن مسئله باشد. در این بخش جزئیات نحوه کد کردن مسئله تشریح شده است. چالش مطرح در این پژوهش، در قالب یک مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته طراحی گردیده که در آن متغیرهای تصمیم شامل متغیرهای پیوسته (E_{svt}، Z_{svt} و S_{st}) و متغیرهای صفر و یک (H_t و G_{vt}) هستند. بر اساس تفکیک روی متغیرها، یک استراتژی دوبخشی جهت حل مسئله مناسب خواهد بود. بدین منظور، ابتدا مقادیر متغیرهای ناپیوسته تعیین شده و سپس مسئله به یک مسئله برنامه‌ریزی خطی با متغیرهای پیوسته تبدیل می‌گردد که می‌توان آن را با روش‌های موجود برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی تحلیل کرد و در انتها، جواب نهایی مسئله را یافت.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

Algorithm MBBO

1. Initialize a set of random habitats (candidate solutions of the problem) $\{H_1, H_2, H_3, \ldots, H_n\}$
2. **while** the termination condition is not satisfied
3. Calculate HSI of each habitat
4. Update S, λ, and μ for every habitat based on HSI
5. **for** i=1 to maximum number of habitants (solutions) **do**
6. **if** $rand < \lambda_i$ **then**
7. **for** j=1 to maximum number of SIV(solution features) **do**
8. **if** $rand < \mu_j$
9. Select a random habitant Hi with probability of λ_i
10. **if** Hi is selected **then**
11. Select habitant H_j with probability of μ_j
12. **if** H_j is selected
13. $H_i^{d,t+1}(SIV) \leftarrow \theta^d(i) \times H_i^{d,t}(SIV) + (1-\theta^d(i)) \times H_j^{d,t}(SIV)$
14. **end if**
15. **end if**
16. **end if**
17. **end for**
18. **end if**
19. **end for**
20. Select H_i (SIV) based upon mutation probability m_i
21. **if** H_i (SIV) is selected **then**
22. Mutate H_i (SIV) with a randomly generated SIV;
23. **end if**
24. **Next for**
25. Perform Elitism (re-compute HSI values)
26. **end while**

شکل ۲: شبه کد الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر جغرافیای زیستی MBBO

در این مقاله برای نمایش بوم‌ها، بر مبنای روش پیشنهادی عزیز و معین [۳۶]، از استراتژی نمایش زمان ارسال جهت نمایش بردار موقعیت بوم‌ها بهره‌گیری می‌شود. بدین منظور، مقادیر متغیرهای H_t و G_{vt} با مقادیر صفر و یک بیان می‌شود. نمایی کلی از بردار موقعیت بوم‌ها برای حل مسئله در حالتی با ۶ دوره برنامه‌ریزی و ۳ ایستگاه امدادی را در شکل (۳) می‌توان دید. موجودی سازمان و ایستگاه‌ها در ابتدای دوره برنامه‌ریزی برابر صفر فرض می‌شود، بنابراین، در دوره ابتدایی، مقادیر مربوط به کالاهای امدادی و ایستگاه‌ها برابر با ۱ است.

H_t	۱	۰	۰	۱	۰	۰
G_{vt}	۱	۰	۱	۰	۱	۱
	۱	۰	۱	۰	۱	۱
	۱	۰	۱	۱	۰	۱

شکل ۳: نمونه‌ای از نحوه نمایش بوم‌ها

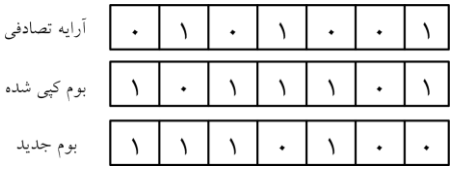
جهت مقداردهی اولیه مسئله، بوم‌های اولیه باید بین دو حالت کمترین و بیشترین تعداد دفعات ارسال تولید شوند. در ساختار روش مطرح در این مقاله و بر اساس مراجع [۱۵, ۲۹, ۳۲, ۳۷, ۳۸, ۳۹ و ۴۰]، موقعیت بوم‌ها، بیانگر متغیرهای H_t و G_{vt} است. جهت محاسبه تابع هدف، ابتدا E_{svt}، Z_{svt} و S_{st} و سپس، مقدار تابع هدف بر مبنای H_t و G_{vt} تعیین شود. در هر گام، با مشخص بودن زمان‌های تولید و ارسال (H_t و G_{vt}) و با پیاده‌سازی مدل ارائه‌شده، متغیرهای E_{svt} و S_{st} و نیز مقادیر برازندگی بوم‌ها محاسبه می‌شود. در صورت استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی، محاسبات مربوط به شایستگی بوم‌ها زمان‌بر تر از روش‌های تقریبی خواهد بود. جهت افزایش سرعت الگوریتم، می‌توان در مرحله اول الگوریتم از یک روش تقریبی و در مرحله دوم از روش دقیق برنامه‌ریزی خطی استفاده کرد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

۳-۳- ایجاد همسایگی تصادفی ذرات

جهت بهبود قابلیت اکتشاف مرحله نخست الگوریتم در محدوده جواب‌های محتمل، یک همسایگی تصادفی حول هر بوم با استفاده از عملگر جهش تشکیل می‌شود. مراحل ایجاد همسایگی تصادفی ذرات به‌صورت زیر است:

- ایجاد تعداد $NSize$-1 کپی از بوم
- تولید آرایه تصادفی صفر و یک به تعداد $NSize$-1، با تعداد عناصر برابر با عناصر بوم، به‌گونه‌ای که K درصد از مؤلفه‌های ماتریس سطری به‌دست‌آمده، به‌صورت تصادفی برابر ۱ قرار داده شوند.
- بر اساس مؤلفه‌های با ارزش ۱، مؤلفه نظیر در بوم کپی شده با صفر تعویض می‌شود؛ چگونگی اجرای عملگر جهش در شکل (۴) قابل مشاهده است.



شکل ۴: نحوه انجام عملگر جهش

۴-۳- تشکیل و به‌روزرسانی مجموعه مرجع (RSet)

از میان بوم‌های غیرتکراری موجود در جمعیت پاسخ‌ها، در هر تکرار به تعداد OPS ذره بر اساس مقادیر برازندگی بهتر انتخاب و در مجموعه مرجع ذخیره می‌شوند. این استراتژی به حفظ بوم‌های با تنوع و کیفیت بیشتر کمک می‌کند.

۵-۳- متنوع سازی ذرات

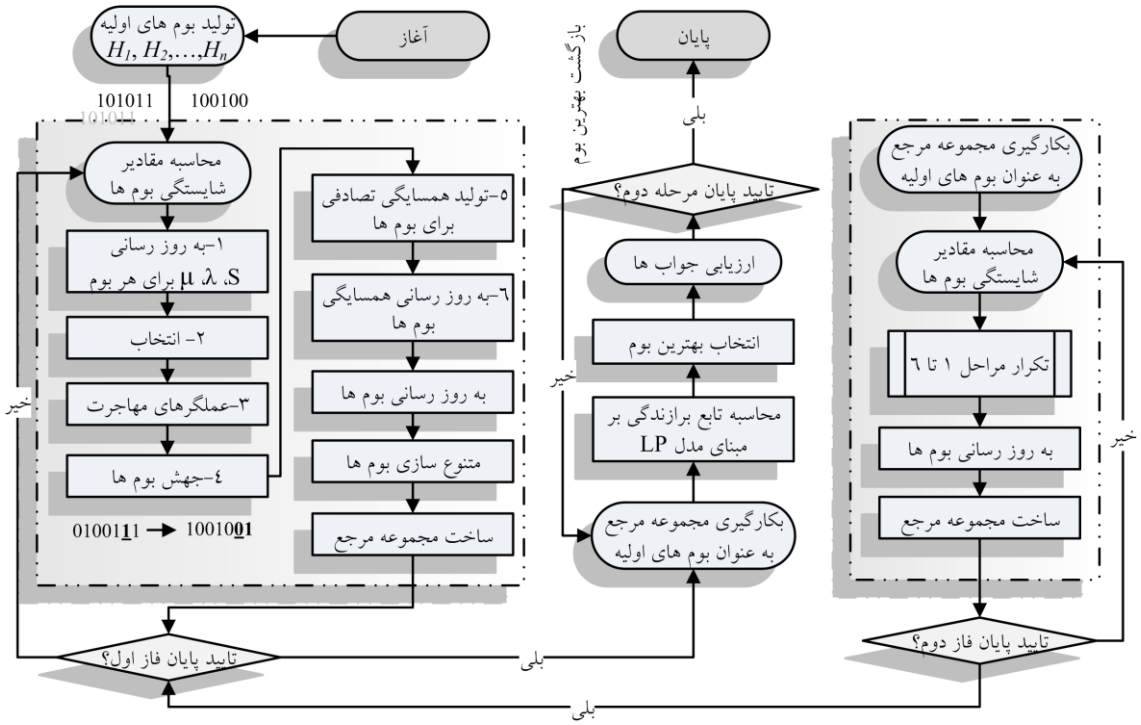
جهت کاهش احتمال همگرایی زودرس الگوریتم، در مرحله اول، بهترین بوم از میان اعضای مجموعه مرجع انتخاب و به نسبت OPL درصد از بوم‌های گروه، از بوم انتخاب‌شده، کپی برداشته می‌شود. بوم‌های کپی با عملگر جهش توضیح داده شده، تغییر می‌یابند و با بدترین بوم‌های گروه جایگزین می‌شوند. با این روش، با اعمال تغییرات تصادفی محدود در بهترین بوم گروه، با افزایش مؤلفه‌های خوب در میان پاسخ‌های یافت شده، روند متنوع‌سازی الگوریتم جستجو بهبود خواهد یافت. ساختار کلی روش پیشنهادی بر اساس روش جغرافیای زیستی بهبودیافته در شکل (۵) نشان داده شده است.

نتایج و بحث

در این بخش با بهره‌گیری از مجموعه‌ای از مسائل نمونه تصادفی، کارکرد الگوریتم MBBO با الگوریتم‌های BBO، PSO [۴۱]، DE [۴۲]، GA [۴۳] و نرم‌افزار LINGO [۴۴] (تنها جهت حل مسائل کوچک‌مقیاس) مقایسه می‌گردد. با توجه به مراحل بازگشتی موجود در الگوریتم‌ها، تعدد روش‌ها، مزایای زبان‌های تابعی و پیچیدگی‌های مطرح در مسئله، از زبان برنامه‌نویسی تابعی Haskell [۴۵] در ساخت و تولید سیگنال‌های اضافه‌شده در الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است. الگوریتم‌های GA، DE و PSO ازجمله الگوریتم‌های مستحکم در پژوهش‌های مرتبط با مسائل مرتبط با بهینه‌سازی هستند و ازاین‌رو می‌توانند معیار مناسبی جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی نیز باشند. در جدول (۱)، مشخصات پیاده‌سازی‌های صورت گرفته گزارش گردیده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]



شکل ۵: ساختار روش پیشنهادی

جدول ۱: جزئیات سیستم، زبان و نرم‌افزارهای پیاده‌سازی

مشخصات پیاده‌سازی	جزئیات پیاده‌سازی
مشخصات رایانه	Pentium IV processor CPU, 1.7 GHz, 512 MB RAM, Windows 7
زبان‌های برنامه‌نویسی	MATLAB R2012a (7.14), C++, Haskell
نرم‌افزارها	لینگو، متلب، ArcGIS، هاگز ۱۹۸
الگوریتم‌ها	DE,GA,PSO,BBO,MBBO

[1] Hugs 98 : http://haskell.org/hugs

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

انتخاب پارامترهای الگوریتم‌ها به کارآزمودگی کافی نیاز دارد، ازاین‌رو، با استفاده از تحلیل تاکوچی[1]، مناسب‌ترین پارامترهای آغازین برای الگوریتم‌ها انتخاب شده‌اند. با این‌حال، جهت کاهش وابستگی هرچه بیشتر روش‌ها نسبت به نحوه انتخاب پارامترها، میانگین نتایج اجراهای مستقل و متعدد در نظر گرفته شده است. در الگوریتم GA، تعداد تکرارها برابر ۵۰۰، اندازه جمعیت برابر ۱۰۰، تعداد جواب نخبه[2] برابر ۱۰ و ضریب جریمه برای مسائل نمونه کوچک برابر ۱۰۰ انتخاب شده و برای مسائل نمونه بزرگ به ترتیب برابر با ۱۰۰۰، ۲۵۰، ۵۰ و 10^5 قرار داده شده است. مقادیر برای الگوریتم PSO بدین شرح است: تعداد تکرارها برابر ۵۰۰، اندازه جمعیت برابر ۱۰۰، فاکتورهای یادگیری و ضریب جریمه در نمونه‌های کوچک به ترتیب برابر با ۲، ۲، ۶ و ۱۲۰ و برای نمونه‌های بزرگ به ترتیب برابر با 10^3، ۱۵۰، ۲، ۲، ۶ و 10^5 انتخاب گردیده است. در الگوریتم DE برای همه مسائل، میزان تقاطع برابر ۰.۵، ضریب وزن دهی ۰.۹، جمعیت و ضریب جریمه برای نمونه‌های کوچک و بزرگ به ترتیب برابر ۱۰۰ و ۱۰۰۰، ۱۰۰، 10^5 انتخاب شده است. مطابق تحقیقات پیشین، در این پژوهش نیز به دو دلیل از داده‌های نمونه بهره‌گیری شده است: نخست، داده‌های واقعی و قابل‌اعتماد برای سناریوی امدادی مطرح در این پژوهش موجود نیست و در صورت وجود نیز به‌دلیل سادگی و نقصان، نمی‌توانند تفاوت کارایی الگوریتم‌ها را نشان دهند، دوم، داده‌های نمونه می‌توانند به‌عنوان یک محک مناسب و دشوار، کارایی و استحکام الگوریتم‌ها را از منظر دقت و زمان اجرا به‌خوبی آشکار کنند [۳۸]. مسائل نمونه (بنچمارک[3]) در دو گروه با ابعاد کوچک و بزرگ به‌صورت تصادفی ایجادشده‌اند. در جدول (۲)، ابعاد مسائل حل‌شده، تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی ناوگان‌ها و شمار کالاهای امدادی گزارش شده است. در تولید این مسائل نمونه، هزینه حمل‌ونقل کلیه کالاها از مقادیر مربوط به مسائل استاندارد مسیریابی وسیله نقلیه با ظرفیت محدود[4] به‌دست‌آمده است (داده‌های مسیریابی وسیله نقلیه[5]).

جدول ۲: جزئیات مسائل نمونه

شماره مسئله	ابعاد مسئله (T/N/S)	شماره مسئله	ابعاد مسئله (T/N/S)
۱	کوچک (۱۵/۲/۵)	۴	بزرگ (۱۰/۱۰۱/۳)
۲	کوچک (۱۰/۵/۳)	۵	بزرگ (۱۵/۱۲۱/۵)
۳	کوچک (۱۰/۵/۵)	۶	بزرگ (۱۵/۱۵۱/۳)

شبکه امدادی در مسئله ۱ دارای ۱ ایستگاه، ۱۵ دوره برنامه‌ریزی و ۵ کالای امدادی است. مسئله ۲ دارای ۱۰ دوره برنامه ریزی، ۵ ایستگاه و ۳ کالای امدادی است. مسئله ۳ دارای ۱۰ دوره برنامه ریزی، ۵ ایستگاه و ۵ کالای امدادی است. مسئله ۴ دارای ۱۰ دوره برنامه ریزی، ۱۰۱ ایستگاه و ۳ کالای امدادی است. در مسئله ۴، شبکه دارای ۱۵ دوره برنامه ریزی، ۱۲۱ ایستگاه و ۵ کالا است. در مسئله ۶، شبکه دارای ۱۵ دوره برنامه ریزی، ۱۵۱ ایستگاه و ۳ کالا است. در این مسائل، توپولوژی شبکه شامل تعداد یک سازمان و شامل تعدادی ایستگاه است. برای مثال، در مسئله ۶، ۱۵۰ ایستگاه حول یک ایستگاه مرکزی قرار گرفته اند و وسایل نقلیه روی شبکه قرار است سه نوع کالا را در طی ۱۵ دوره برنامه ریزی از بهترین مسیرها بین ایستگاه ها توزیع کنند. این مسائل نمونه بر اساس مقاله [۴۶] تولید شده است. یکی از معیارهای مناسب در ارزیابی کارایی الگوریتم‌ها از منظر استحکام[6] محاسباتی؛ مقایسه تعداد دفعات اجراهای موفق الگوریتم

[1] Taguchi
[2] Elite count
[3] Benchmark
[4] Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)
[5] Vehicle Routing Datasets: https://www.coin-or.org/SYMPHONY/branchandcut/VRP/data/index.htm.old
[6] Robustness

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

در مجموع پیاده‌سازی‌های مستقل است. بدین منظور نرخ موفقیت هر الگوریتم در جستجو و اکتشاف بر اساس رابطه (۱۹) محاسبه شده است.

رابطه (۱۹)

$$Sr = 100 \times \left[NumofEvaluate_{best} / run_{\text{total}} \right]$$

که در این رابطه $NumofEvaluate_{best}$ نشان‌دهنده تعداد اجراهای موفق الگوریتم موردبررسی و run_{total} بیانگر تمام اجراهای یک روش است. شرط ارزیابی یک اجرا به‌عنوان یک اجرای موفق نیز بر اساس رابطه (۲۰) تعریف می‌گردد.

رابطه (۲۰)

$$\sum_{\chi=1}^{Dim} \left(\Theta_{\chi}^{gb} - \Theta_{\chi}^{B} \right)^2 \le \left(\Xi_{\max} - \Xi_{\min} \right) \times 10^{-2}$$

که در این معادله، Θ_{χ}^{gb} بهترین پاسخ سراسری یافت شده در فضای جستجو، Θ_{χ}^{B} بیانگر پاسخ بهینه در دسترس، Dim بیانگر بعد مسئله، $\Xi_{\max}$ و $\Xi_{\min}$ نیز به‌ترتیب بیانگر کران‌های بالا و پایین متغیرهای مسئله هستند. بر مبنای تعریف این رابطه، هرگاه اختلاف جواب کشف شده با بهترین پاسخ مسئله از یک صدم بیشتر نباشد، اجرای جاری الگوریتم می‌تواند به‌عنوان یک اجرای موفق در نظر گرفته شود. این رابطه، یک تعریف رایج از نرخ موفقیت در زمینه تست و ارزیابی الگوریتم‌های بهینه سازی است [۴۷] و مقادیر سمت راست آن بر اساس دقت مدنظر در هر مسئله قابل تغییر است. این معیار در کنار معیارهای آماری بیانگر میزان استحکام محاسباتی الگوریتم پیشنهادی است. با توجه به ارزیابی اولیه و متغیرها و ماهیت مسئله، در اینجا، کوچکترین حالت بین کران‌های بالا و پایین متغیرها در نظر گرفته شده تا به حداکثر دقت در پاسخ ها برسیم. بنابراین، سمت راست معادله بر اساس نرخ مصرف انباشت (بین صفر و یک) محاسبه شده است. در نتیجه، در محاسبات، مقدار سمت راست برابر با 10^{-4} بوده است.

جهت بررسی برتری آماری نتایج الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش‌های مورد مقایسه، آزمون آماری ویلکاکسون[1] در سطح اطمینان ۹۵ درصد (α=۰/۰۵) اجرا شده است.

هر الگوریتم در ۵۰ اجرا برای حل هر مسئله نمونه (مسائل ۱ تا ۶ در ستون اول جدول‌ها) آزمایش گردیده و عملکرد آن بر مبنای میانگین مقادیر به‌دست‌آمده برای توابع هدف در همه این اجراها و متوسط زمان CPU صرف شده سنجیده شده و نتایج حاصل نیز در جدول‌های (۳ و ۴) ذکرشده است. نتایج آزمون آماری و نرخ موفقیت الگوریتم‌ها نیز در جدول‌های (۴ و ۵) بیان شده است.

بر اساس نتایج جدول‌های (۳ و ۴) مشاهده می‌شود که الگوریتم پیشنهادی MBBO در حل مسائل با ابعاد کوچک از سرعت محاسباتی بیشتری در مقایسه با الگوریتم‌های معیار برخوردار بوده است. در حل مسائل با ابعاد بزرگ نیز زمان محاسباتی الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم‌های بررسی‌شده به‌مراتب کمتر شده است. بر اساس نتایج جدول (۳) در بخش مسئله شماره ۱، الگوریتم‌های PSO، DE، GA و BBO در رتبه‌های بعدی از دیدگاه زمان محاسباتی قرار می‌گیرند. از دیدگاه آماری، در بیشتر موارد، نتایج الگوریتم پیشنهادی دارای اختلاف معناداری نسبت به دیگر روش‌ها بوده است. کمتر بودن زمان اجرا در نتیجه استفاده از عملگر دینامیک مهاجرت و افزایش توان MBBO در جستجوی فضای مسئله با توجه به ایجاد همسایگی‌های تصادفی برای بوم‌ها و فرآیند متنوع سازی است. ازآنجاکه در الگوریتم MBBO قابلیت‌های جستجوی عمومی و محلی به تعادل پایدارتری رسیده است و متناسب با پیشرفت مسئله، میزان تمایل الگوریتم به جستجوی محلی و سراسری تعدیل می‌شود، این الگوریتم دارای استحکام محاسباتی بیشتری در حل مسائل نمونه بوده است. نرخ موفقیت الگوریتم پیشنهادی در شکل (۶) نیز با دیگر روش‌ها مقایسه گردیده است.

[1] Wilcoxon signed ranks test

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

جدول ۳: بهترین و میانگین مقادیر به‌دست‌آمده برای توابع هدف در ۵۰ تکرار و زمان محاسبات و نرخ موفقیت الگوریتم‌ها جهت حل مسائل نمونه تصادفی با ابعاد کوچک به همراه نتایج آزمون آماری (/: غیرقابل اجرا، + به معنی برتری آماری، ≅ برابری آماری و // بهتر نبودن آماری الگوریتم پیشنهادی)

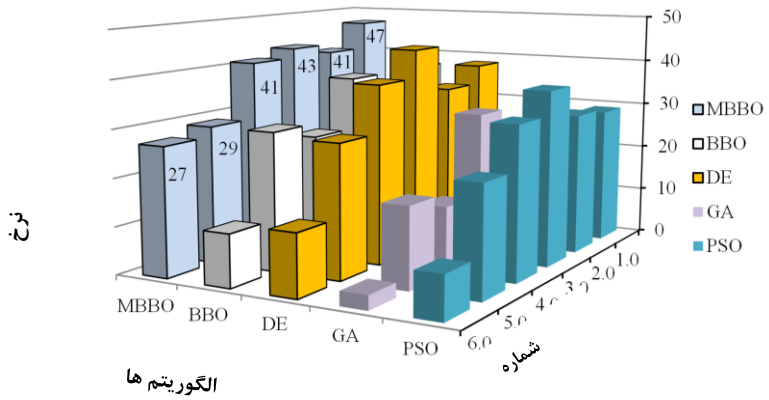
شماره مسئله	معیار / الگوریتم	MBBO	BBO	DE	GA	PSO	LINGO
مسئله ۱	بهترین	۵۰۴۸	۲,۵۰۶۵	۵۰۳۲.۳	۵۰۲۶.۷	۵۱۳۸٫۹	۵۰۴۸
	میانگین	۵۰۴۷٫۵	۵۹۴۵٫۳	۵۱۱۴.۶	۵۹۲۷.۳	۵۶۷۴٫۶	۵۰۴۸
	زمان	۱٫۹۸۳۴	۳٫۷۹۰۷	۲.۷۴۵۷	۳.۱۴۶۷	۲٫۱۴۰۰	۱۲٫۷۱۵۲
	Sr	۴۷	۳۷	۳۸	۲۵	۲۹	/
	آزمون آماری	/	+	+	+	+	/
مسئله ۲	بهترین	۱۲۵۵۰/۲	۱۲۵۵۱٫۷	۱۲۵۴۶.۸	۱۲۵۴۲.۶	۱۲۵۰۲	۱۲۵۵۴٫۴
	میانگین	۱۲۵۴۷/۹	۱۲۵۸۷٫۴	۱۲۵۹۴.۴	۱۳۴۷۹.۵	۱۳۲۱۸٫۲	۱۲۵۵۴/۴
	زمان	۶٫۷۵۴۲۷	۹٫۶۵۴۱۳	۷.۵۵۲۶۹	۱۵.۷۸۵۶	۸٫۴۷۶۴۵	۲۷٫۷۹۹۶
	Sr	۴۱	۳۲	۳۴	۲۴	۳۰	/
	آزمون آماری	/	+	≅	+	+	/
مسئله ۳	بهترین	۱۸۱۴۸.۲	۱۸۱۷۸٫۳	۱۸۱۵۸	۱۸۲۰۱.۷	۱۸۱۹۸٫۸	۱۸۱۵۰٫۴
	میانگین	۱۸۱۴۷.۲	۱۸۲۳۸٫۲	۱۸۱۶۰.۷	۱۸۴۹۱.۹	۱۸۳۷۲٫۱	۱۸۱۵۰/۴
	زمان	۴.۱۲۵۷۷	۵٫۴۵۲۹۶	۴.۵۴۶۶۴	۷.۳۶۳۸۷	۷٫۷۱۴۶۶	۲۱٫۱۱۴۶
	Sr	۴۳	۳۷	۴۴	۳۱	۳۷	/
	آزمون آماری	/	//	+	+	+	/

جدول ۴: بهترین و میانگین مقادیر به‌دست‌آمده برای توابع هدف در ۵۰ تکرار و زمان محاسبات و نرخ موفقیت الگوریتم‌ها جهت حل مسائل نمونه تصادفی با ابعاد بزرگ به همراه نتایج آزمون آماری

شماره مسئله	معیار/الگوریتم	MBBO	BBO	DE	GA	PSO
مسئله ۴	بهترین	۲۴۸۴۹۹	۲۴۹۱۷۴	۲۵۶۱۹۵	۲۷۳۴۷۶	۲۷۱۰۰۲
	میانگین	۲۴۸۵۱۳	۲۴۹۴۷۳	۲۵۶۲۵۸	۲۷۳۶۹۱	۲۷۱۰۴۹
	زمان	۱۵۰۴	۱۶۷۳	۱۳۵۴	۱۹۶۰	۱۸۹۴
	Sr	۴۱	۲۶	۳۸	۱۴	۳۲
	آزمون آماری	/	+	//	+	+
مسئله ۵	بهترین	۶۵۲۴۰۱	۶۸۲۲۴۶	۶۷۲۳۵۶	۶۹۴۰۶۸	۸۱۷۵۰۹
	میانگین	۶۵۲۴۵۶	۶۸۲۴۶۴	۶۷۲۵۴۶	۶۹۴۱۲۵	۸۱۷۵۶۷
	زمان	۳۴۴۶	۳۷۱۲	۳۶۰۶	۵۱۲۸	۵۰۹۳
	Sr	۲۹	۲۹	۲۸	۱۷	۲۳
	آزمون آماری	/	≅	≅	+	+
مسئله ۶	بهترین	۵۰۴۶۸۹	۵۱۰۱۲۰	۵۶۴۶۸۵	۵۸۶۳۷۶	۸۷۱۸۶۹
	میانگین	۵۰۴۷۱۲	۵۱۰۲۴۳	۵۶۴۸۲۳	۵۸۶۴۱۲	۸۷۱۹۲۵
	زمان	۲۱۴۵	۲۹۲۴	۳۴۲۱	۴۲۰۲	۴۳۵۳
	Sr	۲۷	۱۱	۱۳	۳	۹
	آزمون آماری	/	//	≅	+	+

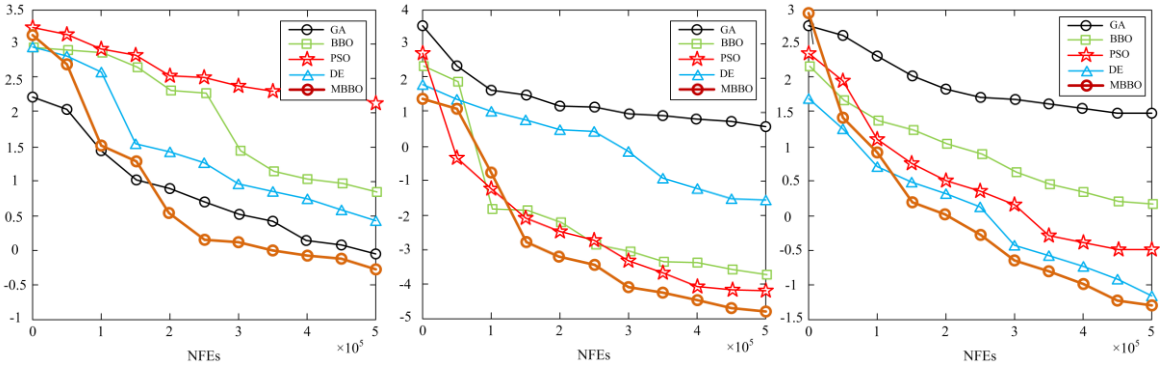
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]



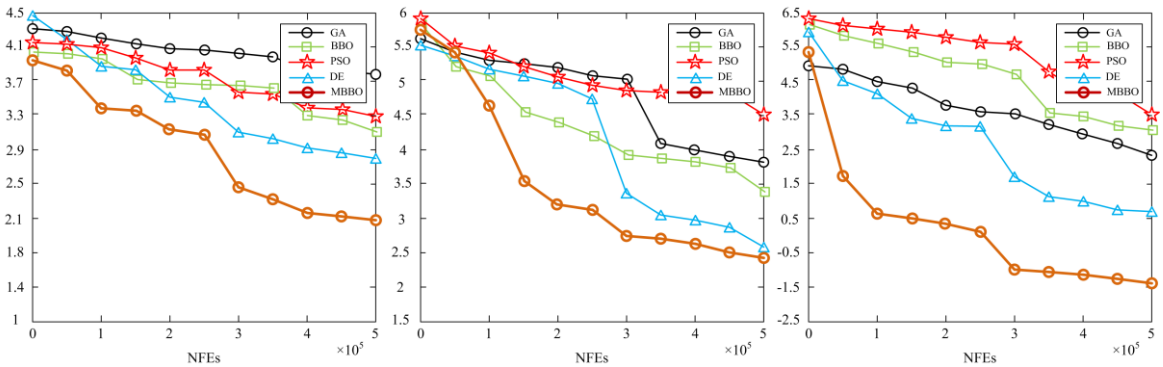
شکل ۶: مقایسه میزان استحکام (نرخ موفقیت) روش‌های مختلف در حل همه مسائل ۱ تا ۶

با توجه به شکل (۶)، مشاهده می‌شود که الگوریتم MBBO دارای استحکام قابل قبولی نسبت به سایر روش‌ها است. سرعت همگرایی الگوریتم پیشنهادی در رقابت با سایر الگوریتم‌ها پس از ۵۰ اجرای مستقل در شکل‌های (۷ و ۸) منعکس گردیده است. در این شکل‌ها، NFE بیانگر تعداد ارزیابی تابع هدف مسئله (حاصلضرب تعداد اعضای جمعیت در تعداد تکرارها [۴۸]) است. همچنین، لگاریتم اختلاف پاسخ‌ها و بهترین مقدار یافت شده توسط روش‌ها مقایسه گردیده که یک روش استاندارد جهت ارزیابی سرعت همگرایی الگوریتم‌هاست [۴۹].



(الف) همگرایی برای مسئله ۱ (ب) همگرایی برای مسئله ۲ (ج) همگرایی برای مسئله ۳

شکل ۷: مقایسه سرعت همگرایی روش‌ها برای مسائل اول تا سوم



(الف) همگرایی برای مسئله ۴ (ب) همگرایی برای مسئله ۵ (ج) همگرایی برای مسئله ۶

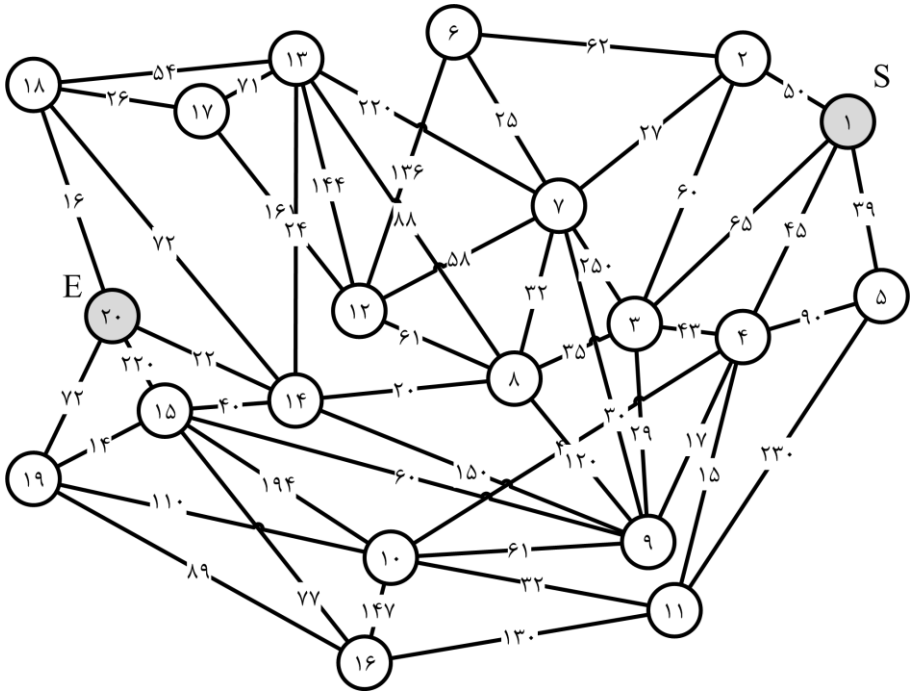
شکل ۸: مقایسه سرعت همگرایی روش‌ها برای مسائل چهارم تا ششم

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

با توجه به نمودارهای همگرایی شکل (۷) الف، سرعت همگرایی الگوریتم MBBO و دقت همگرایی بهتر از سایر روش‌ها شامل BBO و در رقابت نزدیک با DE بوده است. با توجه به منحنی‌های حاصل از مسئله ۲ در شکل (۷) ب، سرعت همگرایی روش‌های MBBO، PSO و BBO در رقابت نزدیکی با یکدیگر بوده اما همچنان روش MBBO با سرعت بیش‌تر به مقادیر بهتر همگرا شده است. با توجه به نمودارهای مسئله ۳ تا ۶ در شکل (۷-ج و ۸)، همگرایی الگوریتم MBBO بهتر از سایر روش‌ها شده که به دلیل بهبود حاصل از عملگرهای جدید و تأثیر آن بر قدرت متنوع سازی الگوریتم ارائه شده است. بهبود سرعت همگرایی الگوریتم پیشنهادی به‌دلیل عملگرهای دینامیکی اضافه‌شده در عملگر مهاجرت الگوریتم اولیه و بهبود حاصل شده در قابلیت‌های جستجو و اکتشاف الگوریتم است. در نتیجه الگوریتم قادر به یافتن پاسخ‌های بهتر در تکرارهای کمتر بوده و سرعت همگرایی بهبودیافته است.

۴-۱- بررسی الگوریتم‌ها در یک مسئله ساده تر

علاوه بر پیاده سازی های مفصل ارائه شده در بخش قبلی، در این بخش نیز، به‌منظور روشن ساختن هر بیشتر کارایی و دقت روش‌های مختلف، یک مأموریت امدادرسانی ساده شده بررسی گردیده و نمایش داده شده است. با تقلیل در مدل‌سازی و صرف‌نظر از پارامترهای دخیل و زمان و معادلات مدل‌سازی و قیود مطرح، این مسئله از منظر ریاضی می‌تواند در ساده‌ترین حالت به یک مسئله کوتاه‌ترین مسیر بر روی یک گراف با وزن یال‌های مشخص و برای مثال با ۲۰ گره تبدیل گردد. توپولوژی مورد آزمایش این گراف با ۲۰ گره در شکل (۹) نشان داده شده است. توجه شود که این گراف بیان ریاضی مسیرهای ممکن در یک منطقه امدادرسانی بر روی نقشه است، به گونه ای که هر گره یک امدادجو (کمپ) و هر یال بیانگر طول مسیر ممکن بین آن دو گره است.



شکل ۹: یک شبکه نمونه با ۲۰ گره به همراه وزن یال‌ها (S: گره آغاز، E: گره پایان)

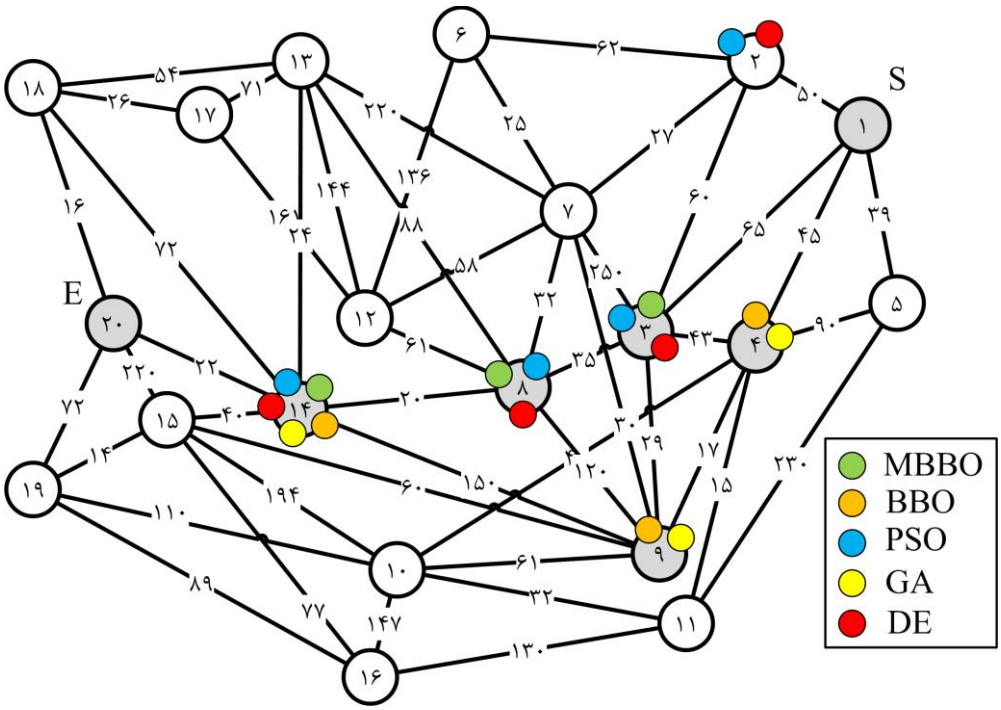
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

تابع هدف مسئله تقلیل یافته به‌صورت رابطه (۲۱) قابل تعیین است:

$$F_i = 1/\left(\sum_{s=1}^{N_i-1} J_{mn}\right), m = LL^i(s),\ n = LL^i(s+1) \quad (۲۱)$$

که در این رابطه، LL^i نشان‌دهنده مجموعه توالی شناسه گره‌های i-امین بوم، $N_i = LL_i$ نشان‌دهنده تعداد گره‌های واقع در مسیر موردنظر و J_{mn} بیانگر هزینه بخش‌هایی است بین گره m و گره n واقع‌شده‌اند. الگوریتم‌های MBBO، BBO، PSO، GA و DE در حل این مسئله، به ترتیب مسیرهایی با هزینه‌های زیر محاسبه می‌کنند: ۱۴۲،۲۳۴، ۱۸۷، ۲۳۴، ۱۸۷. بر این اساس، توالی گره‌های یافت شده با این روش‌ها به‌صورت زیر بوده است: (۱) MBBO: ۱-۳-۸-۱۴-۲۰، (۲) BBO: ۱-۴-۹-۱۴-۲۰، (۳) PSO: ۱-۲-۳-۸-۱۴-۲۰، (۴) GA: ۱-۴-۹-۱۴-۲۰، (۵) DE: ۱-۲-۳-۸-۱۴-۲۰. این نتایج در حالی محاسبه گردیده که بر مبنای نتایج الگوریتم دقیق و کلاسیک دایکسترا در حل این مسئله، کوتاه‌ترین مسیر با عبور از گره‌های: ۱-۳-۸-۱۴-۲۰ و با هزینه ۱۴۲ بوده است. با در نظر گرفتن نتایج الگوریتم دایکسترا، مشاهده می‌شود که الگوریتم BBO و دیگر الگوریتم‌های مورد مقایسه، مسیرهایی زیر بهینه را محاسبه کرده‌اند، اما الگوریتم MBBO قادر به تعیین دقیق‌ترین مسیر بهینه است و نتایج آن با الگوریتم دایکسترا یکسان بوده است. با مقایسه هزینه مسیرهای یافت شده مشاهده می‌شود که نتایج الگوریتم جدید دارای هزینه کمتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها بوده است. مسیرهای یافت شده توسط روش‌های مختلف در شکل (۱۰) نمایش داده شده است.



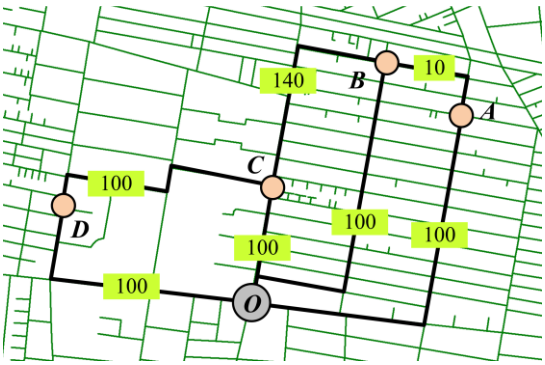
شکل ۱۰: مقایسه مسیرهای به‌دست‌آمده با الگوریتم‌های مختلف

۴-۲- ارائه یک کاربرد عینی

در انتهای این بخش، به نمایش نتایج یک مثال روشن، نمونه و عینی از کاربرد رهیافت پیشنهادی در حل مدل با پارامترهای اصلی و در یک سناریوی امدادی فرضی در شهر تهران نیز پرداخته شده است. با فرض آنکه مجموعه $\{A, B, C, D\}$ نشان دهنده چهار ایستگاه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

برپا شده در خیابان های اطراف محل حادثه (برای مثال حادثه ساختمان پلاسکو) باشد. در شکل (۱۱) مسیرهای ممکن بین سازمان (دایره O) و ایستگاه‌ها (دایره‌های نارنجی) و مسیرهای بین ایستگاه‌ها به همراه هزینه انتخاب آن‌ها (با زمینه سبز) نمایش داده شده است.



شکل ۱۱: نمایشی از یک سناریوی امدادی فرضی در نقشه بردارمبنای منطقه‌ای در تهران

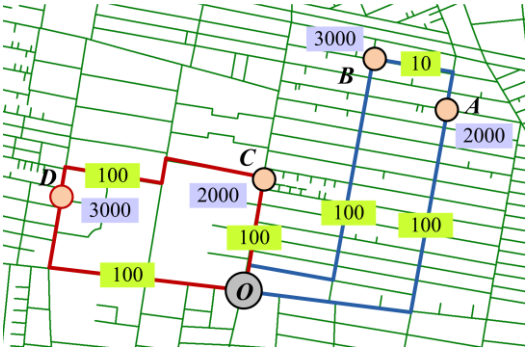
فرض کنید هر وسیله امدادی، ظرفیت حمل ۵۰۰۰ واحد کالای امدادی را داشته باشد. علاوه بر آن، میزان اقلام امدادی ذخیره شده در ایستگاه‌های A، B، C و D نمی‌تواند از حد مجاز فراتر رود، زیرا هر ایستگاه گنجایش مشخصی برای انباشت اقلام امدادی دارد. فرض کنید سازمان مرکزی هیچ محدودیتی در تعداد وسیله ارسالی نداشته باشد. در جدول (۵)، مقدار نیاز روزانه و ظرفیت هر ایستگاه قابل مشاهده است.

جدول ۵: جزئیات نیاز روزانه و ظرفیت برای ایستگاه‌های امدادی مطرح در مثال کاربردی

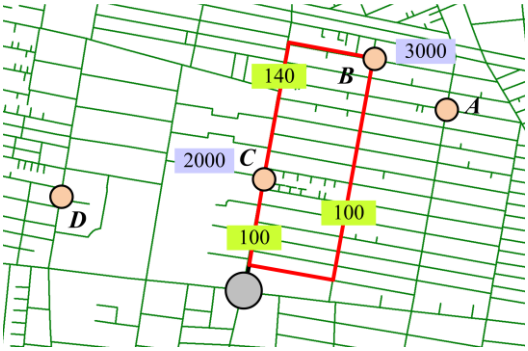
شناسه ایستگاه	ظرفیت انباشت	نیاز روزانه
A	۵۰۰۰	۱۰۰۰
B	۳۰۰۰	۳۰۰۰
C	۲۰۰۰	۲۰۰۰
D	۴۰۰۰	۱۵۰۰

بر اساس مدل، فرض شود مقدار گنجایش اولیه هر ایستگاه برابر حداکثر سطح انباشت آن باشد. رهیافت پیشنهادی قادر به تامین دوره ای کالاهای درخواستی همه ایستگاه‌ها بر اساس یک استراتژی بهینه و با کمترین هزینه ممکن است. بدین منظور، استراتژی بهینه با این چیدمان و بر اساس نقشه معابر بخشی از تهران به‌دست آمده است. بر اساس استراتژی بهینه در طول چندین دوره زمانی برای اجرای عملیات (برای مثال، مشابه اجرای چندین روز عملیات در حادثه پلاسکوی تهران)، شمار ایستگاه‌های فعال و لازم، بهترین میزان ارسال کالای امدادی به هر ایستگاه و بهترین مسیرها برای تامین کالای امدادی مشخص می‌گردد. خروجی این فرآیند، رویکردی با کمترین هزینه اجرا برای تیم مدیریت امداد خواهد بود. برای این سناریو، این استراتژی بهینه به کمک روش پیشنهادی به‌دست می‌آید: در روز اول، ایستگاه‌های A و B با یک وسیله امدادی و ایستگاه‌های C و D با وسیله دیگری تامین کالا می‌شوند. بدین ترتیب، در روز اول، سازمان مرکزی با بهره‌گیری از حداکثر ظرفیت وسایل امدادی، به میزان ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ واحد کالای مورد نیاز را به ایستگاه‌های A، B، C و D ارسال نماید. در روز دوم، ایستگاه‌های C و B به کمک یک وسیله ارسالی به میزان ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ واحد تغذیه می‌گردند، اما به A و D کالایی ارسال نمی‌شود. نتایج استراتژی بهینه برای روز های اول و دوم به ترتیب در شکل (۱۲-الف و ۱۲-ب) قابل مشاهده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]



الف: استراتژی روز اول



ب: استراتژی روز دوم

شکل ۱۲: نتایج استراتژی بهینه در روزهای اول و دوم عملیات امداد

بر اساس مدل، هزینه روزانه متوسط برای اجرای این عملیات امداد برابر ۳۸۰ واحد می‌شود. میزان بهینه دقیق مدل نیز برابر ۳۸۰ گردید. در نتیجه، رویکرد پیشنهادی توانسته منجر به کشف بهترین استراتژی ممکن عملیات امداد شود. بر اساس نتایج ارائه شده، استراتژی پیشنهادی می‌تواند حتی برای عملیات‌های بسیار وسیع‌تر با شمار ایستگاه های فراوان، که روش‌های دقیق دیگر قادر به حل کارای مسئله نیستند، نتایج برتری را به‌دست آورد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به دلیل پیچیدگی محاسباتی مسئله مسیریابی زمانمند در ابعاد بزرگ و کاربردی، روش‌های حل دقیق فاقد کارایی لازم در یافتن پاسخ‌های دقیق در طی یک زمان محاسباتی معقول هستند. در این مقاله، به حل یک مسئله مسیریابی زمانمند چند دوره‌ای بر اساس یک روش الگوریتم جغرافیای زیستی بهبودیافته پرداخته شده است. بر اساس نتایج آماری در حل مسائل با ابعاد نمونه مختلف و در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های مستحکم نظیرBBO، PSO، DE و GA، الگوریتم MBBO دارای کارایی بهتری در یافتن پاسخ‌های مطلوب بوده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم‌های مورد مقایسه از نظر دقت نتایج، استحکام محاسباتی و سرعت همگرایی بهبودیافته است. با توجه به نتایج، الگوریتم توسعه‌یافته می‌تواند به‌عنوان روشی با کارایی و استحکام محاسباتی بالا در حل مسائل کاربردی و با ابعاد بزرگ مسیریابی به کار گرفته شود. با نظر به زیرساخت‌های کنونی در ایران، استراتژی ارائه‌شده می‌تواند تأثیر به سزایی در بهبود کارایی و کیفیت‌بخشی به مأموریت‌های امدادی داشته باشد. اگرچه این الگوریتم دارای عملکرد قوی در حل مسئله با ابعاد کوچک و بزرگ است، اما ممکن است در صورت تنظیم تعداد تکرارها، یا تعداد جمعیت پایین، همچون هر الگوریتم تکاملی دیگری، دچار همگرایی به بهینه محلی در حل مسائل با ابعاد بزرگ شود. بنابراین، باید برای مسائل با ابعاد بزرگ، تعداد تکرارها و جمعیت کافی برای این الگوریتم تنظیم شود. در تحقیقات آینده، می‌توان به حل مسئله در حالتی که کمبود کالاهای امدادی مجاز باشد پرداخت. توسعه یک مدل با درنظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای مسئله می‌تواند نقش به سزایی در مطالعات داشته باشد. همچنین می‌توان مسئله را برای حالتی که امکان ارسال چندین وسیله امدادرسان به یک ایستگاه امدادی در هر دوره زمانی وجود داشته باشد، توسعه داد. در این تحقیق، به توسعه یک روش جدید بر اساس الگوریتم BBO پرداخته شد و به‌کارگیری آن در مسئله مسیریابی امدادی پرداخته شد. در تحقیقات آتی می‌توان کارایی الگوریتم‌های دیگر را در حل این مسئله بررسی کرد. همچنین می‌توان کارایی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

روش پیشنهادی MBBO را در حل دیگر مسائل مقید علوم مهندسی مورد بررسی قرارداد.

مراجع

[1] E. Aivazidou, N. Tsolakis, E. Iakovou, and D. Vlachos, "The emerging role of water footprint in supply chain management: A critical literature synthesis and a hierarchical decision-making framework," Journal of Cleaner Production, vol. 137, pp. 1018-1037, 2016.

[2] C. Bode and S. M. Wagner, "Structural drivers of upstream supply chain complexity and the frequency of supply chain disruptions," Journal of Operations Management, vol. 36, pp. 215-228, 2015.

[3] B. Chang, C. Kuo, C.-H. Wu, and G.-H. Tzeng, "Using fuzzy analytic network process to assess the risks in enterprise resource planning system implementation," Applied Soft Computing, vol. 28, pp. 196-207, 2015.

[4] S. Mohseni, M. S. Pishvaee, and H. Sahebi, "Robust design and planning of microalgae biomass-to-biodiesel supply chain: A case study in Iran," Energy, vol. 111, pp. 736-755, 2016.

[5] K. Xu and H. Gong, "Emergency logistics support capability evaluation model based on triangular fuzzy entropy and Choquet integral," Journal of Industrial and Production Engineering, pp. 1-8, 2016.

[6] S. Zhang, C. K. Lee, H. Chan, K. L. Choy, and Z. Wu, "Swarm intelligence applied in green logistics: A literature review," Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 37, pp. 154-169, 2015.

[7] Y.-J. Zheng, S.-Y. Chen, and H.-F. Ling, "Evolutionary optimization for disaster relief operations: a survey," Applied Soft Computing, vol. 27, pp. 553-566, 2015.

[8] Y.-J. Zheng and H.-F. Ling, "Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: a cooperative fuzzy optimization approach," Soft Computing, vol. 17, pp. 1301-1314, 2013.

[9] K. Z. Zhou, C. Su, A. Yeung, and S. Viswanathan, "Supply chain management in emerging markets," Journal of Operations Management, 2016.

[10] G. C. Crişan, C.-M. Pintea, and V. Palade, "Emergency management using geographic information systems: application to the first romanian traveling salesman problem instance," Knowledge and Information Systems, vol. 50, pp. 265-285, 2017.

[11] Z.-H. Hu, J.-B. Sheu, Y.-Q. Yin, and C. Wei, "Post-disaster relief operations considering psychological costs of waiting for evacuation and relief resources," Transportmetrica A: Transport Science, vol. 13, pp. 108-138, 2017.

[12] C. Lin, K. L. Choy, G. T. Ho, S. Chung, and H. Lam, "Survey of green vehicle routing problem: past and future trends," Expert Systems with Applications, vol. 41, pp. 1118-1138, 2014.

[13] R. F. Roldán, R. Basagoiti, and L. C. Coelho, "Robustness of inventory replenishment and customer selection policies for the dynamic and stochastic inventory-routing problem," Computers & Operations Research, vol. 74, pp. 14-20, 2016.

[14] Y.-B. Park, J.-S. Yoo, and H.-S. Park, "A genetic algorithm for the vendor-managed inventory routing problem with lost sales," Expert Systems With Applications, vol. 53, pp. 149-159, 2016.

[15] H. Andersson, A. Hoff, M. Christiansen, G. Hasle, and A. Løkketangen, "Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing," Computers & Operations Research, vol. 37, pp. 1515-1536, 2010.

[16] M. Soysal, J. M. Bloemhof-Ruwaard, R. Haijema, and J. G. van der Vorst, "Modeling a green inventory routing problem for perishable products with horizontal collaboration," Computers & Operations

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

Research, 2016.

[17] L. C. Coelho, J.-F. Cordeau, and G. Laporte, "Thirty years of inventory routing," Transportation Science, vol. 48, pp. 1-19, 2013.

[18] L. Bertazzi, M. Savelsbergh, and M. G. Speranza, "Inventory routing," in The vehicle routing problem: latest advances and new challenges, ed: Springer, 2008, pp. 49-72.

[19] M. Chitsaz, A. Divsalar, and P. Vansteenwegen, "A two-phase algorithm for the cyclic inventory routing problem," European Journal of Operational Research, vol. 254, pp. 410-426, 2016.

[20] E. E. Zachariadis, C. D. Tarantilis, and C. T. Kiranoudis, "An integrated local search method for inventory and routing decisions," Expert Systems with Applications, vol. 36, pp. 10239-10248, 2009.

[21] Y. Yu, H. Chen, and F. Chu, "A new model and hybrid approach for large scale inventory routing problems," European Journal of Operational Research, vol. 189, pp. 1022-1040, 2008.

[22] J. Li, H. Chen, and F. Chu, "Performance evaluation of distribution strategies for the inventory routing problem," European Journal of Operational Research, vol. 202, pp. 412-419, 2010.

[23] A. M. Campbell and J. R. Hardin, "Vehicle minimization for periodic deliveries," European Journal of Operational Research, vol. 165, pp. 668-684, 2005.

[24] Z. Pan, J. Tang, and R. Y. Fung, "Synchronization of inventory and transportation under flexible vehicle constraint: A heuristics approach using sliding windows and hierarchical tree structure," European Journal of Operational Research, vol. 192, pp. 824-836, 2009.

[25] R. G. Van Anholt, L. C. Coelho, G. Laporte, and I. F. Vis, "An inventory-routing problem with pickups and deliveries arising in the replenishment of automated teller machines," Transportation Science, 2016.

[26] N. Aziz and N. Mom, "Genetic algorithm based approach for the mufti product multi period inventory routing problem," in 2007 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2007, pp. 1619-1623.

[27] N. H. Moin, S. Salhi, and N. Aziz, "An efficient hybrid genetic algorithm for the multi-product multi-period inventory routing problem," International Journal of Production Economics, vol. 133, pp. 334-343, 2011.

[28] Q.-H. Zhao, S. Chen, and C.-X. Zang, "Model and algorithm for inventory/routing decision in a three-echelon logistics system," European Journal of Operational Research, vol. 191, pp. 623-635, 2008.

[29] A. I. Esparcia-Alcazar, L. Lluch-Revert, M. Cardos, K. Sharman, and J. Merelo, "Configuring an evolutionary tool for the Inventory and Transportation Problem," in Proceedings of the 9th annual conference on Genetic and evolutionary computation, 2007, pp. 1975-1982.

[30] W. Zhu and H. Duan, "Chaotic predator–prey biogeography-based optimization approach for UCAV path planning," Aerospace science and technology, vol. 32, pp. 153-161, 2014.

[31] [31] R. Kumar, R. Gupta, and A. K. Bansal, "Economic analysis and power management of a stand-alone wind/photovoltaic hybrid energy system using biogeography based optimization algorithm," Swarm and Evolutionary Computation, vol. 8, pp. 33-43, 2013.

[32] A. Hossein Mirzaei, I. Nakhai Kamalabadi, and S. H. Zegordi, "A new algorithm for solving the inventory routing problem with direct shipment," Journal of Production & Operations Management, vol. 2, pp. 1-28, 2012.

[33] M. Berghida and A. Boukra, "EBBO: an enhanced biogeography-based optimization algorithm for a vehicle routing problem with heterogeneous fleet, mixed backhauls, and time windows," The International Journal of

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

Advanced Manufacturing Technology, vol. 77, pp. 1711-1725, 2015.

[34] E. Emary and H. M. Zawbaa, "Impact of Chaos Functions on Modern Swarm Optimizers," PLOS ONE, vol. 11, p. e0158738, 2016.

[35] J. K. Lenstra and A. Kan, "Complexity of vehicle routing and scheduling problems," Networks, vol. 11, pp. 221-227, 1981.

[36] S. Mirzapour Al-e-hashem and Y. Rekik, "Multi-product multi-period Inventory Routing Problem with a transshipment option: A green approach," International Journal of Production Economics, vol. 157, pp. 80-88, 2014.

[37] A. J. Kleywegt, V. S. Nori, and M. W. Savelsbergh, "The stochastic inventory routing problem with direct deliveries," Transportation Science, vol. 36, pp. 94-118, 2002.

[38] B. L. Golden, S. Raghavan, and E. A. Wasil, The vehicle routing problem: latest advances and new challenges vol. 43: Springer Science & Business Media, 2008.

[39] M. Dror, M. Ball, and B. Golden, "A computational comparison of algorithms for the inventory routing problem," Annals of Operations Research, vol. 4, pp. 1-23, 1985.

[40] A. Federgruen and D. Simchi-Levi, "Analysis of vehicle routing and inventory-routing problems," Handbooks in operations research and management science, vol. 8, pp. 297-373, 1995.

[41] Q. Qin, S. Cheng, Q. Zhang, Y. Wei, and Y. Shi, "Multiple strategies based orthogonal design particle swarm optimizer for numerical optimization," Computers & Operations Research, vol. 60, pp. 91-110, 2015.

[42] S.-M. Guo and C.-C. Yang, "Enhancing differential evolution utilizing eigenvector-based crossover operator," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 19, pp. 31-49, 2015.

[43] C. R. Reeves, "A genetic algorithm for flowshop sequencing," Computers & operations research, vol. 22, pp. 5-13, 1995.

[44] B. Liu and N. Jin, "An application of lingo software to solve dynamic programming problem in the field of environmental protection," in 2015 IEEE Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), 2015, pp. 577-580.

[45] K. Hammond and G. Michaelson, Research directions in parallel functional programming: Springer Science & Business Media, 2012.

[46] M. Boudia and C. Prins, "A memetic algorithm with dynamic population management for an integrated production–distribution problem," European Journal of Operational Research, vol. 195, pp. 703-715, 2009.

[47] A. H. Gandomi and X.-S. Yang, "Chaotic bat algorithm," Journal of Computational Science, vol. 5, pp. 224-232, 2014.

[48] V. Punnathanam and P. Kotecha, "Reduced Yin-Yang-Pair optimization and its performance on the CEC 2016 expensive case," in Evolutionary Computation (CEC), 2016 IEEE Congress on, 2016, pp. 2996-3002.

[49] M. D. Li, H. Zhao, X. W. Weng, and T. Han, "A novel nature-inspired algorithm for optimization: Virus colony search," Advances in Engineering Software, vol. 92, pp. 65-88, 2016.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]

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

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.7 No.1, Spring 2019

Research Paper

Efficient Strategy based on Improved Biogeography-based Algorithm for Inventory Routing problem

Ali Asghar Heidari[1], Rahim Ali Abbaspour*[,2]

1- Ph.D. candidate in GIS, School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehran
2- Assistant professor, School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehra

Abstract

Researchers and urban administrators have often considered the routing problem as one of the fundamental phases in developing hazard management systems. In this research, a routing problem is investigated and analyzed by proposing an enhanced metaheuristic algorithm based on biogeography. In this problem, the production planning, inventory management, and distribution planning have been considered, and the purpose is to minimize the total costs of production setup, inventory holding, and distribution of relief products. Then, to avoid the problem of premature convergence to local optima and to improve the efficiency and convergence rate of the algorithm on large-scale and constrained problems, a new optimization algorithm based on biogeography with a new migration operator is proposed. With regard to the instances of routing problems, the performance of the proposed algorithm is compared to other methods based on the running time, convergence speed, robustness, best and average of the results and statistical superiority. The statistical assessment verifies the efficiency improvements and obtaining better results by the proposed strategy in tackling the temporal relief routing task.

Key words: *Biogeography-Based Algorithm, Time, Routing, Optimization, Relief Systems.*

Correspondence Address. *School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehran,*
Tel: *09123011255*
Email: *abaspour@ut.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-19]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.169]