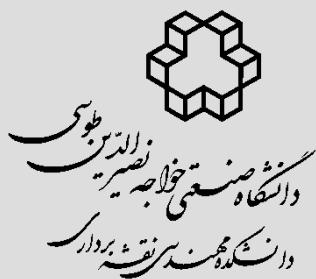


# نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی



سال هفتم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۸

Vol.7, No.1, Spring 2019

۱۶۹-۱۹۱

مقاله پژوهشی

## رهیافتی کارا مبتنی بر الگوریتم جغرافیای زیستی بهبود یافته جهت حل مسئله مسیریابی موجودی

علی اصغر حیدری<sup>۱</sup>، رحیم علی عباسپور<sup>۲\*</sup>

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

### چکیده

مسئله مسیریابی همواره به عنوان یکی از مراحل بنیادین توسعه سامانه‌های مدیریت مخاطرات موردن توجه پژوهشگران و مدیران شهری بوده است. در این پژوهش، یک مسئله مسیریابی با ارائه یک روش فرا اکتشافی بهبود یافته 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 را اندازی سامانه، توزیع و نگهداری کالاهای امدادی است. سپس، به منظور جلوگیری از همگرایی زور درس به پاسخ‌های بهینه محلی و ارتقاء کارایی و سرعت همگرایی الگوریتم در مسائل مقید و با بعد بزرگ، یک الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی جدید با عملکردنیامیک 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 میان بهبود کارایی و کسب نتایج برتر با استفاده از رهیافت پیشنهادی در مسیریابی زمان‌مند وسائل 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

## ۱- مقدمه

در مسئله IRP، علاوه بر متغیرهای های مسئله VRP، متغیرهای موجودی و زمان نیز در نظر گرفته شده اند. مسئله IRP می تواند تعادلی بین هزینه های حمل و نقل و مدیریت موجودی برقرار نماید که از اهمیت ویژه ای در پایداری سامانه های حمل و نقل برخوردار است [۱۴]. برای مثال، در سناریوی این تحقیق، مسئله IVRP می تواند ارسال کالا ایامدادی 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 تصمیم گیری مسئله شامل زمان بازدید هر مصرف کننده و کمیت ارسالی هستند و هدف تعیین مسیرهای بهینه ای است که عملکرد سامانه را بر مبنای محدودیت های مدنظر کارفرما بهینه نماید. از این رو، هدف تعیین زمان بندی و میزان تحویل کالا به مشتریان بر مبنای مجموعه ای از قیود است، به گونه ای که هیچ یک از مشتریان با کمبود کالا مواجه نشوند [۱۶].<sup>۵</sup> کولهپو<sup>۶</sup> و همکاران به یک بررسی مروری در مورد انواع مختلف مسئله IRP پرداختند [۱۷]. بر تازی<sup>۷</sup> و همکاران نیز مطالعه جامعی پیرامون چندین نوع از مسئله IRP را ارائه نمودند [۱۸]. در این مسئله، می توان یک یا چندین محصول برای تحویل به مشتریان در نظر گرفت. متغیر زمان نیز می تواند پیوسته یا گستته باشد. چیز ساز و همکاران یک مدل چرخه ای جدید برای IVRP ارائه نمودند [۱۹]. رازخاریادیس<sup>۸</sup> و همکاران، بر مبنای افق زمانی برنامه ریزی، رویکردهای حل IRP را بدین صورت طبقه بندی نمودند: مدل های یک دوره ای؛ چند دوره ای و با دوره های نامحدود [۲۰]. یو<sup>۹</sup> و همکاران، به مدل سازی قیود تحویل مستقل و تعداد خودروهای حمل کالا

مخاطرات طبیعی زیادی در پهنه فلات ایران رخ می دهد، اما بخشی از هزینه های ناشی از این مخاطرات، صرفاً به دلیل اثرات مغرب حداثه نبوده، بلکه به دلیل عدم برنامه ریزی کارآمد جهت مدیریت بحران و پس از مخاطره ایجاد شده است. امروزه با رشد سریع شهرنشینی، مباحث مربوط به مدیریت، راهوری و سامان دهی مجروحین در صورت وقوع بحران های طبیعی و انسانی به یکی از مسائل چالش برانگیز در زمینه مطالعات لجستیک و زنجیره تأمین تبدیل شده است [۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹]. با نگاهی به پیامدهای جانبی برآمده از نا به سامانه های پس از وقوع مخاطرات همچون اتلاف هزینه ها و منابع و افزایش تلفات انسانی، اهتمام بیش از پیش به مبحث سامانه های امداد رسانی موردنیاز است [۸].

محققان فراوانی نیز در جستجوی راهکاری کارا برای مدیریت هزینه های ناشی از امداد رسانی در مخاطرات بوده اند. برای نمونه، در سال ۲۰۱۷، روبکردی مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی و بر اساس مسئله فروشنده دوره گرد<sup>۱۰</sup> 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 سامان دهی تردد و سایل نقلیه امدادی و به منظور افزایش کارایی و بهره وری سامانه های امدادی به ثبت می رسد، با چالش تعیین مسیر بهینه یک ناوگان حمل و نقل در مسئله مسیریابی موجودی و سایل نقلیه (IVRP<sup>۱۲</sup>) مواجه شویم [۱۲].

مسئله IVRP یک تعمیم کاربردی مسئله معروف مسئله مسیریابی و سایل نقلیه<sup>۱۳</sup> (VRP) و VR با محدودیت پنجره های زمانی<sup>۱۴</sup> (VRPTW) است [۱۳].

<sup>۱</sup> Traveling Salesman Problem<sup>۲</sup> Inventory Routing Problem<sup>۳</sup> Vehicle Routing Problem<sup>۴</sup> Vehicle Routing Problem with Time Window

به دلیل نیازهای روزافزون جهت کمینه‌سازی هزینه‌ها 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 هزینه‌های 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 مهاجرات گونه‌ها بین نواحی مختلف به حل بسیاری از مسائل مقید و ان‌پی 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 جواب‌های محتمل، یک همسایگی تصادفی حول هر بوم با استفاده از عملگر جهش تشکیل می‌شود که مکانیزم این عملگر نیز برای نخستین بار در الگوریتم جغرافیای زیستی<sup>۷</sup> (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 برآوردگی بهتر انتخاب و در مجموعه مرجع ذخیره شدنده که این استراتژی به حفظ بوم‌های با تنوع و کیفیت بیشتر کمک می‌نماید. علاوه بر این مکانیزم‌ها، فرآیند متنوع سازی نیز به الگوریتم اضافه شده است.

<sup>7</sup> Biogeography-based optimization

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<sup>۱</sup> و همکاران در کنار تحلیل دقیق رهیافت ارسال مستقیم کالاهای عملکرد این روش را در شرایط مختلف ارزیابی نمودند [۲۲]. همچنین، کمبل و هردن<sup>۲</sup> از یک الگوریتم حریصانه برای تعیین کمینه تعداد وسایل نقلیه موردنیاز با استراتژی ارسال مستقیم استفاده کردند [۲۳]. پن<sup>۳</sup> و همکاران قیود منعطف مربوط به وسایل نقلیه را بررسی کردند. تحقیق آن‌ها از یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط استفاده نمود و نتایج نشان دهنده مزیت استفاده از الگوریتم‌های فرا اکتشافی جهت حل IVRP است [۲۴]. مسئله IVRP یک مسئله ان‌پی سخت است [۲۵]. در نتیجه، الگوریتم‌های دقیق مانند روش شاخه و کران همیشه راهگشا نیستند و از این رو، تحقیقات زیادی نیز از الگوریتم‌های فرا اکتشافی برای تخمین پاسخ‌ها بهره‌گیری نمودند. در این راستا، عزیز و مام<sup>۴</sup> به حل مسئله IVRP با چندین کالا و در چند دوره با استفاده از الگوریتم ژنتیک<sup>۵</sup> (GA) و جهت کمینه‌سازی هزینه‌های انتقال و انبارداری پرداختند [۲۶]. معین<sup>۶</sup> و همکاران با رویکردهای مشابه‌ای، به توسعه الگوریتم‌های دیگری بر مبنای الگوریتم GA پرداختند [۲۷]. حل این مسئله با زنجیره تأمین دوستخی 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].

<sup>1</sup> Li

<sup>2</sup> Campbell and Hardin

<sup>3</sup> Pan

<sup>4</sup> Aziz and Mom

<sup>5</sup> Genetic Algorithm

<sup>6</sup> Moin

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 می‌گردد. هر خودروی امدادی ظرفیت محدودی برای هر عملیات انتقال کالا دارد. سازمان مرکزی که کالاهای را انتبار نموده، می‌تواند به صورت 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 می‌تواند اقلام را به یک ایستگاه ارسال نماید، زیرا ارسال همه اقلام برای همه ایستگاهها به طور 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 ایستگاه‌ها 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) به صورت یکتابع کمینه‌سازی بیان شده که شامل هزینه‌های ثابت راهاندازی هر خط تأمین، هزینه‌های مربوط به ارسال کالای امدادی به ایستگاهها، و هزینه‌های مربوط به تأمین کننده کالاهای ایستگاههای امدادی از محل نگهداری یک کالا است.

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

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 انتخاب شده، 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 جغرافیایی 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 به دست آمده از روش حل دقیق و چندین روش فراکتشافی دیگر شامل الگوریتم‌های GA، توده ذرات<sup>۱</sup> (PSO) و تکامل اختلافی<sup>۲</sup> (DE) مقایسه گردید. الگوریتم‌های 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 توابلوژی 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 توابلوژی زمانی چند دوره‌ای و وضعیت چند کالایی حل شده است. هدف تیم مدیریت کمینه‌سازی هزینه‌های امدادرسانی همچون بودجه مورد نیاز برای

<sup>1</sup> Particle swarm optimization

<sup>2</sup> Differential evolution

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، می‌توان گفت که میزان تقاضا در آن ایستگاه ۱۰ واحد صابون بوده است.

$$\text{Minimize } Y = \sum_{t,v|v \neq 0} C_v G_{vt} + \sum_t \mu_t \cdot H_t + \sum_{s,v,t} T_{sv} \cdot Z_{svt}$$

رابطه (۱)

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

رابطه (۲)

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

رابطه (۳)

$$\sum_s \beta_s \cdot S_{st} \leq M_{\max} \cdot H_t \quad \forall t$$

رابطه (۴)

$$\sum_s \alpha_s \cdot E_{svt} \leq R \cdot G_{vt} \quad \forall v | v \neq 0, t$$

رابطه (۵)

$$\sum_s \alpha_s \cdot Z_{svt} \leq U_v \quad \forall v, t$$

رابطه (۶)

$$G_{vt}, H_t \in \{0, 1\} \quad \forall v, t$$

رابطه (۷)

$$Z_{svt}, S_{st}, E_{svt} \geq 0 \quad \forall s, v, t$$

رابطه (۸)

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 حداقل ظرفیت سازمان برای تامین همه کالاهای است. بدیهی است که سازمان نمی‌تواند بیشتر از ظرفیت تامین خود، به تامین کالاها بپردازد. برای مثال، اگر سازمان بتواند حداقل ۱۰۰ نوع کالا را تامین کند و اگر به همه ایستگاه‌ها از همه انواع کالاهای موجود فرستاده باشد، سازمان حداقل ۱۰۰ واحد کالا از

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 قبلاً موجود

رابطه (۱)

رابطه (۲)

رابطه (۳)

رابطه (۴)

رابطه (۵)

رابطه (۶)

رابطه (۷)

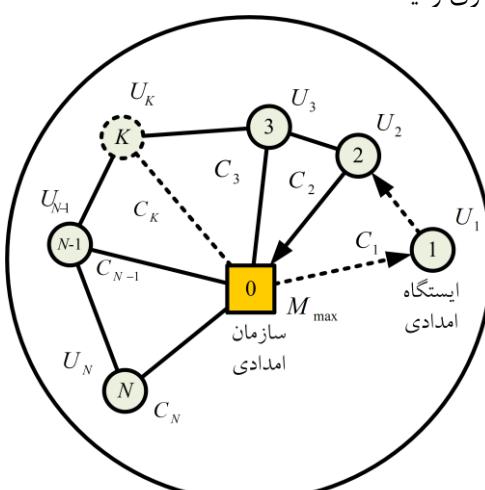
رابطه (۸)

تعادل میان مجموع کالاهای نوع  $s$  منتقل شده از سازمان به تمامی ایستگاه‌ها در دوره  $t$ ام و مجموع تمام کالاهای نوع  $s$  ام که در دوره  $t$ ام تأمین شده است، با رابطه (۳) مدل سازی 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 ایستگاه‌ها 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 ایستگاه‌ها ارسال شده است.

لحاظ می‌شود. بر اساس رابطه (۶)، میزان موجودی مصرف شده همه نوع کالاها در هر ایستگاه یا سازمان حداقل برابر ظرفیت انباشت در آن محل خواهد بود. برای مثال، اگر در یک ایستگاه حداقل ۱۰۰ بسته صابون قابل انبار است، میزان موجودی مصرف شده از آن ایستگاه حداقل ۱۰۰ واحد صابون خواهد بود و نمی‌توان خارج ظرفیت آن ایستگاه توقع صابون داشت. از طریق رابطه (۱) و (۲) نیز محدودیت‌های فنی بدینهی بر روی متغیرهای تصمیم‌گیری لحاظ گردید. توابع ارائه شده بر اساس مدل پیشنهادی میرزاپور همکاران است [۳۲]. اجزای اصلی مسئله به صورت 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 به دست آورد.

انواع مختلف فرستاده است؛ زیرا از ابتدا، حداقل 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 ایستگاه‌ها (مفهوم سمت چپ رابطه) حداقل برابر ظرفیت وسائل امدادی یا کمتر از آن خواهد بود. بدینهی است که هر وسیله حداقل به اندازه ظرفیت خود قادر به حمل کالا است؛ بنابراین، مجموع همه ارسال‌ها نیز نمی‌تواند از حداقل ظرفیت وسائل بیشتر شود (چون راه ارسال دیگری وجود ندارد).

رابطه (۶) به منظور تضمین محدود بودن ظرفیت نگهداری برای سازمان مرکزی و ایستگاه‌ها



شکل ۱: مدل مفهومی شبکه

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

الگوریتم مبتنی بر جغرافیای زیستی<sup>۱</sup> (BBO) یک الگوریتم بهینه‌سازی جدید تکاملی است که در سال

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

<sup>۱</sup> Biogeography-Based Optimization

خواهند بود. هر زیستگاه دارای دو نرخ مهاجرت به داخل<sup>۴</sup> (درون کوچ) ( $\lambda$ ) و مهاجرت به خارج<sup>۵</sup> (برون کوچ) ( $\mu$ ) است. در رابطه (۹ و ۱۰) نحوه محاسبه این دو نرخ بیان شده است:

$$\lambda_i = I(1 - k(i)/n), \quad (9)$$

$$\mu_i = E(k(i)/n), \quad (10)$$

که در این روابط،  $I$  و  $E$  به ترتیب میزان نرخ مهاجرت به داخل و خارج راه حل ها را بیان می کنند و  $(i)$  رتبه گونه های ساکن در زیستگاه  $i$  است که بین ۱ (برای بهترین پاسخ) و تعداد اعضای جمعیت  $n$  (برای بدترین پاسخ) واقع شده است. عملگر مهاجرت در این الگوریتم به منظور بهبود کیفیت پاسخ های ضعیف بر اساس پاسخ های 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 می شود. 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  $t$  گونه موجودند و تغییری در این تعداد در طول بازه رخ ندهد، در زمان  $t - 1$  گونه موجودند و در طول بازه یک کوچ به داخل رخ دهد و یا در زمان  $t + 1$  گونه موجود بوده و در طول بازه یک کوچ به خارج رخ دهد.

(۱۱)

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

اگر طول بازه  $\Delta t$  بسیار کوچک باشد ( $\Delta t \rightarrow 0$ )، می توان از احتمال بیش از یک مهاجرت روبرو داخل و خارج صرف نظر نمود و رابطه را به صورت زیر تعديل کرد.

<sup>4</sup>Immigration

<sup>5</sup>Emigration

۲۰۰۸ با الهام از پدیده مهاجرت پرنده گان و سایر جانداران بین جزایر مختلف مطرح گردید [۳۰ و ۳۱]. دانش جغرافیای زیستی به عنوان زیرشاخه ای از علوم بیولوژی، به مطالعه و کنکاش در نحوه توزیع گونه ها، ایجاد گونه های جدید و انقراض گونه های موجود در بوم های<sup>۱</sup> گوناگون زمین می پردازد. جزایر یا زیستگاه هایی که مکان مناسبی برای اسکان یک نژاد از جانداران باشند، شاخص تناسب یا صلاحیت (HSI)<sup>۲</sup> بالاتری به آن ها تعلق می گیرد. متغیرهایی که بیانگر میزان صلاحیت یک منطقه برای مهاجرت را مشخص می کنند،<sup>۳</sup> SIV نامیده می شوند. 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، پاسخ های با برازنده گی بیشتر دارای میزان مطلوبیت بیشتری هستند، جواب های (مناطق زیستی) با HSI بیشتر، بیانگر جواب های بهتری برای مسئله اند. یک پاسخ برتر (نژدیکتر به نقطه بهینگی مسئله) دارای HSI بالاتر و یک پاسخ ضعیف دارای HSI کمتر است. پاسخ های با HSI بالا، ویژگی های برتر (نخبگی) خود را با پاسخ های با HSI پایین به اشتراک می گذارند و با این روش، کیفیت جمعیت ضعیف افزایش می یابد. در این روش، عملگرهای مهاجرت و جهش، تغییرات مطلوب در نسل اولیه پاسخ ها را ایجاد می کنند. در صورتی که پاسخ های نامزد (زمیتگاهها) را به وسیله برداری از اعداد صحیح نشان دهیم، هر عنصر از این بردار همانند زن در الگوریتم ژنتیک یک SIV است. پاسخ های مطلوب و ضعیف در این بردار به ترتیب دارای HSI بالاتر (زمیتگاه هایی با گونه های بسیار) و پایین تر

<sup>2</sup>Habitat

<sup>2</sup>Habitat Suitability Index

<sup>3</sup>Suitability Index Variable

$$P_k^{\varepsilon=\Delta t \rightarrow 0} = \begin{cases} -\lambda_0 P_0 + \mu_1 P_1 & k=0 \\ -(\lambda_k + \mu_k) P_k + \lambda_{k-1} P_{k-1} + \lambda_{k+1} P_{k+1} & 1 \leq k \leq n-1, \\ -\mu_n P_n + \lambda_{n-1} P_{n-1} & k=n \end{cases}$$

$\forall k = 0, 1, \dots, n, \quad \lambda_0 = 0, \quad \mu_0 = 0$

رابطه (۱۲)

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

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

رابطه (۱۳)

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

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

رابطه (۱۴)

استفاده می‌شود. این احتمالات را می‌توان بر پایه معادله  $P_s$  در رابطه (۱۶) تعیین نمود.

$$m(s) = m_{\max} (1 - p_s / p_{\max}), \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

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 شанс برای بهبود در مقادیر اولیه خود هستند.

### ۱-۳ عملگر پیشنهادی

الگوریتم BBO همچون دیگر الگوریتم‌های تکاملی، در برخی مسائل، از جمله مسئله پیچیده این تحقیق، دچار مشکل هم‌گرایی زودرس به نقاط بینه محلی می‌شود [۳۳]. در این پژوهش، به منظور بهبود هر چه بیشتر کارایی محاسباتی الگوریتم BBO از منظر قابلیت‌های متنوع سازی<sup>۱</sup> و متمنزاسازی<sup>۲</sup>، در این زیر

با یک احتمال  $P_k$ ، هر راه حل در طی بهینه‌سازی بر اساس راه حل‌های دیگر اصلاح می‌شود. در صورتی که راه حلی برای اصلاح انتخاب گردد، با استفاده از نرخ مهاجرت به داخل آن ( $\lambda$ ) و به شکل احتمالی، مشخص می‌گردد که آیا  $SIV$  های موجود در این راه حل باید اصلاح شوند یا خیر. اگر یک  $SIV$  واقع در راه حل  $S$ ، جهت اصلاح انتخاب شود، به کمک نرخ مهاجرت به خارج ( $\mu$ ) پاسخ‌های دیگر مسئله، به شکل احتمالی، به کمک رابطه (۱۵) تعیین می‌شود که کدام پاسخ‌ها باید سبب مهاجرت یک  $SIV$  به پاسخ  $S$  شود

$$H_i(SIV) \xleftarrow{P_k} H_j(SIV), \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

رخدادهای غیرمتربقه و پیش‌بینی نشده 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

<sup>1</sup> Diversification  
<sup>2</sup> Intensification

اشتراک گذاشته شده بین دیگر گونه های جمعیت و مقادیر ( $\lambda$ ) و ( $\mu$ ) خود اصلاح می گردد. در الگوریتم پیشنهادی (MBBO)، عملگر مهاجرت به صورت رابطه (۱۷) تعریف می شود.

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

به مکان جدید است. در رابطه (۱۷)، ( $\theta^d(i)$ ) خود تابعی بازگشتی است که بر اساس رابطه (۱۸) تعریف می گرد:

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

### ۲-۳- پیاده سازی MBBO جهت حل مدل مسئله

با توجه به چند دوره ای بودن مسئله پیش رو و با فرض امکان ارسال مستقیم کالای امدادی، مسئله مطرح در این پژوهش از جمله مسائل با درجه پیچیدگی سخت خواهد بود [۳۵]. از این روش، الگوریتم بهینه سازی جغرافیای زیستی می تواند روش مناسبی برای یافتن پاسخ های ممکن مسئله باشد. در این بخش جزئیات نحوه کد کردن مسئله تشریح شده است. چالش مطرح در این پژوهش، در قالب یک مسئله برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته طراحی گردیده که در آن متغیرهای تصمیم شامل متغیرهای پیوسته ( $E_{svt}$  و  $Z_{svt}$ ) و متغیرهای صفر و یک ( $H_i$  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 برنامه ریزی خطی با متغیرهای پیوسته تبدیل می گردد که می توان آن را با روش های موجود برای حل مسائل برنامه ریزی خطی تحلیل کرد و در انتها، جواب نهایی مسئله را یافت.

بخش، یک عملگر مهاجرت جدید طراحی شده است. در روش BBO، عملگر مهاجرت برای انتقال گونه ها به سمت جزایر یا بوم های بهتر (پاسخ های بهتر) است و بدین منظور، هر پاسخ کاندید  $H_i$  بر اساس اطلاعات به 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  $(t+1)$  ام پس از مهاجرت

رابطه (۱۸)

در عملگر جدید مهاجرت MBBO، ویژگی های هر پاسخ جدید  $H_i$  بر پایه یک ترکیب دینامیکی از ویژگی های پیشین خود آن پاسخ و ویژگی های متغیر دیگر  $H_j$  تعیین می شود، در حالی که در الگوریتم اولیه، این مقدار تنها بر اساس ویژگی های یک پاسخ دیگر محاسبه می شود. مهاجرت دینامیک این امکان را ایجاد می کند تا در هر تکرار، فضای جستجوی مسئله متناسب با ویژگی های 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 متمرکر سازی و متنوع سازی الگوریتم می گردد [۳۴]. با این عملگر، در صورت همگرایی زوردرس الگوریتم به بهینه محلی، به دلیل وجود الگوی آشوبی در متنوع سازی، شانس الگوریتم در فرار از نقاط بهینه محلی افزایش می یابد. این امر می تواند به بهبود تعادل میان رفتارهای متنوع سازی و متمرکر سازی الگوریتم نیز کمک کند. شبه کد الگوریتم MBBO در شکل (۲) قابل مشاهده است.

## Algorithm MBBO

```

1. Initialize a set of random habitats (candidate solutions of the
problem)  $\{H_1, H_2, H_3, \dots, H_n\}$ 
2. while the termination condition is not satisfied
3.     Calculate HSI of each habitat
4.     Update  $S$ ,  $\lambda$ , and  $\mu$  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  $H_i$  with probability of  $\lambda_i$ 
10.                    if  $H_i$  is selected then
11.                        Select habitant  $H_j$  with probability of  $\mu_j$ 
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: شبیه کد الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر جغرافیای زیستی MBBO

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, ۳۷, ۳۲, ۲۹, ۳۸, ۳۹ و ۴۰]، موقعیت بوم‌ها، بیانگر متغیرهای  $H_t$  و  $G_{vt}$  است. جهت محاسبه تابع هدف، ابتدا  $E_{svt}$ ,  $Z_{svt}$  و  $S_{st}$ ، مقدار تابع هدف بر مبنای  $H_t$  و  $G_{vt}$  تعیین شود. در هر گام، با مشخص بودن زمان‌های تولید و ارسال ( $G_{vt}$  و  $H_t$ ) و با پیاده‌سازی مدل ارائه شده، متغیرهای  $E_{svt}$  و  $S_{st}$  و نیز مقادیر برازنده‌گی بوم‌ها محاسبه می‌شود. در صورت استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی، محاسبات مربوط به شایستگی بوم‌ها زمان برتر 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.

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

### ۳-۵- 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 انتخاب شده، 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 PSO، DE، GA [۴۱]، BBO [۴۲] 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 اضافه شده در الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است. الگوریتم‌های DE، GA و PSO از جمله الگوریتم‌های مستحکم در پژوهش‌های مرتبط با مسائل مرتبط با بهینه‌سازی هستند و ازین رو می‌توانند معیار مناسبی جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی نیز باشند. در جدول (۱)، مشخصات پیاده‌سازی‌های صورت گرفته گزارش گردیده است.

### ۳-۶- 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 به صورت 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 سطري به دست‌آمده، به صورت تصادفی برابر ۱ قرار داده شوند.
- بر اساس مؤلفه‌های با ارزش ۱، مؤلفه نظری در بوم کپی شده با صفر تعویض می‌شود؛ چگونگی اجرای عملگر جهش در شکل (۴) قابل مشاهده است.

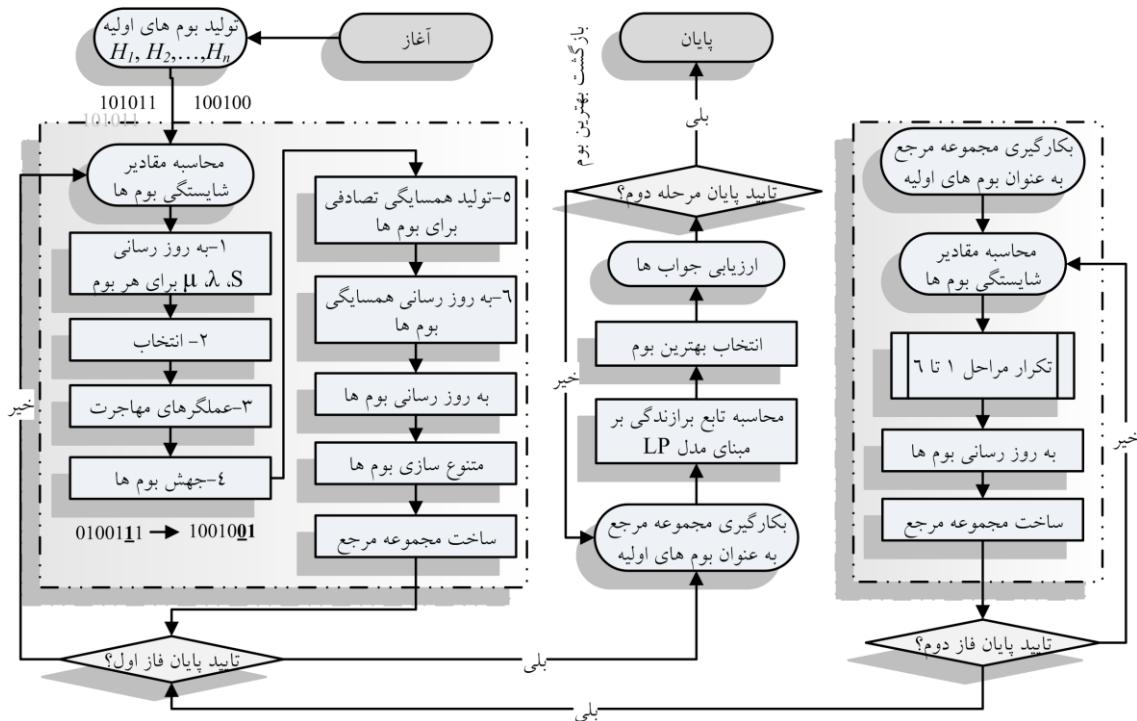
آرایه تصادفی	.	۱	۰	۱	۰	۰	۱
بوم کپی شده	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱
بوم جدید	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰

شکل ۴: نحوه انجام عملگر جهش

### ۴-۳- تشکیل و به روزرسانی مجموعه مرجع

(RSet)

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



شکل ۵: ساختار روش پیشنهادی

جدول ۱: جزئیات سیستم، زبان و نرم افزارهای پیاده سازی

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

<sup>۱</sup> Hugs 98 : <http://haskell.org/hugs>

ایجاد شده‌اند. در جدول (۲)، ابعاد مسائل حل شده، تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی ناوگان‌ها و شمار کالاهای امدادی گزارش شده است. در تولید این مسائل نمونه، هزینه حمل و نقل کالاهای از مقادیر مربوط به مسائل استاندارد مسیریابی وسیله نقلیه با ظرفیت محدود<sup>۴</sup> به دست آمده است (داده‌های مسیریابی وسیله نقلیه<sup>۵</sup>).

جدول ۲: جزئیات مسائل نمونه

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

شبکه امدادی در مسئله ۱ دارای ۱ ایستگاه، ۱۵ دوره برنامه‌ریزی و ۵ کالای امدادی است. مسئله ۲ دارای ۱۰ دوره برنامه‌ریزی، ۵ ایستگاه و ۳ کالای امدادی است. مسئله ۳ دارای ۱۰ دوره برنامه‌ریزی، ۵ ایستگاه و ۵ کالای امدادی است. مسئله ۴ دارای ۱۰ دوره برنامه‌ریزی، ۱۰۱ ایستگاه و ۳ کالای امدادی است. در مسئله ۴، شبکه دارای ۱۵ دوره برنامه‌ریزی، ۱۲۱ ایستگاه و ۵ کالا است. در مسئله ۶، شبکه دارای ۱۵ دوره برنامه‌ریزی، 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 گرفته‌اند و وسایل نقلیه روی شبکه قرار است سه نوع کالا را در طی ۱۵ دوره برنامه‌ریزی از بهترین مسیرها بین ایستگاه‌ها توزیع کنند. این مسائل نمونه بر اساس مقاله [۴۶] تولید شده است. یکی از معیارهای مناسب در ارزیابی کارایی الگوریتم‌ها از منظر استحکام محاسباتی؛ مقایسه تعداد دفعات اجرایی موفق الگوریتم

<sup>4</sup> Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)<sup>5</sup> Vehicle Routing Datasets: <https://www.coin-or.org/SYMPHONY/branchandcut/VRP/data/index.html.old><sup>6</sup> Robustness

انتخاب پارامترهای الگوریتم‌ها به کارآزمودگی کافی نیاز دارد، از این‌رو، با استفاده از تحلیل تاکوچی<sup>۱</sup>، مناسب‌ترین پارامترهای آغازین برای الگوریتم‌ها انتخاب شده‌اند. با این‌حال، جهت کاهش وابستگی هرچه بیشتر روش‌ها نسبت به نحوه انتخاب پارامترها، میانگین نتایج اجرایی مستقل و متعدد در نظر گرفته شده است. در الگوریتم GA، تعداد تکرارها برابر ۵۰۰، اندازه جمعیت برابر ۱۰۰، تعداد جواب نخبه<sup>۲</sup> برابر ۱۰ و ضریب جریمه برای مسائل نمونه کوچک برابر ۱۰۰ انتخاب شده و برای مسائل نمونه بزرگ به ترتیب برابر با ۱، ۱۰۰۰، ۲۵۰ و ۵۰<sup>۳</sup> 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 ۱۰<sup>۳</sup>، ۱۰۵، ۱۵۰، ۲، ۲، ۶ و ۱۰<sup>۴</sup> 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، ۱۰۰<sup>۵</sup> انتخاب شده است. مطابق تحقیقات پیشین، در این پژوهش نیز به دو دلیل از داده‌های نمونه بهره‌گیری شده است: نخست، داده‌های واقعی و قابل اعتماد برای سناریوی امدادی مطرح در این پژوهش موجود نیست و در صورت وجود نیز به دلیل سادگی و نقصان، نمی‌توانند تفاوت کارایی الگوریتم‌ها را نشان دهند، دوم، داده‌های نمونه می‌توانند به عنوان یک محک مناسب و دشوار، کارایی و استحکام الگوریتم‌ها را از منظر دقیقت و زمان اجرا به خوبی آشکار کنند [۳۸]. مسائل نمونه (بنچمارک<sup>۶</sup>) در دو گروه با ابعاد کوچک و بزرگ به صورت تصادفی

<sup>1</sup> Taguchi<sup>2</sup> Elite count<sup>3</sup> Benchmark

ویلکاکسون<sup>۱</sup> در سطح اطمینان ۹۵ درصد ( $\alpha=0.05$ ) اجرا شده است.

هر الگوریتم در ۵۰ اجرا برای حل هر مسئله نمونه (مسئله ۱ تا ۶ در ستون اول جدول‌ها) آزمایش گردیده و عملکرد آن بر مبنای میانگین مقادیر به دست آمده برای توانایی هدف در همه این اجراهای و متوسط زمان CPU صرف شده سنجیده شده و نتایج حاصل نیز در جدول‌های (۳ و ۴) ذکر شده 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 بررسی شده به مرتب کمتر شده است. بر اساس نتایج جدول (۳) در بخش مسئله شماره ۱، الگوریتم‌های PSO، DE، BBO و GA 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. از آنجاکه 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 تعديل 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.

<sup>1</sup> Wilcoxon signed ranks test

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

رابطه (۱۹)

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

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

رابطه (۲۰)

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

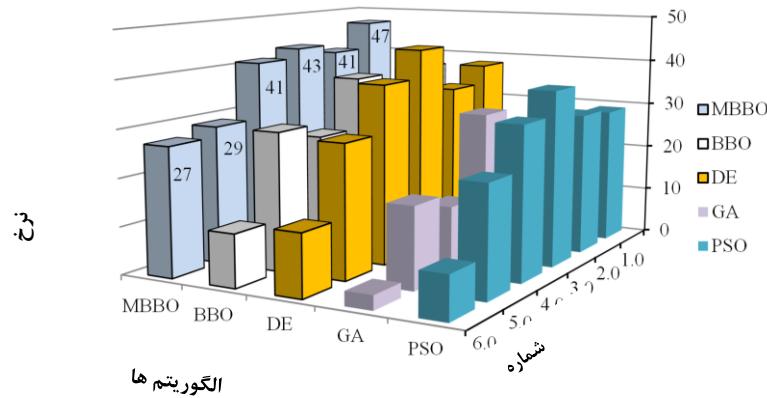
که در این معادله،  $\Theta_{\chi}^{gb}$  بهترین پاسخ سراسری یافت شده در فضای جستجو،  $\Theta_{\chi}^B$  بیانگر پاسخ بهینه در دسترس،  $Dim$  بیانگر بعد مسئله،  $\Xi_{\min}$  و  $\Xi_{\max}$  نیز به ترتیب بیانگر کران‌های بالا و پایین متغیرهای مسئله هستند. بر مبنای تعریف این رابطه، هرگاه اختلاف جواب کشف شده با بهترین پاسخ مسئله از یک صدم بیشتر نباشد، اجرای جاری الگوریتم می‌تواند به عنوان 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 دقیق مدنتظر در هر مسئله قبل 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 حداقل دقت در پاسخ‌ها 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

جدول ۳: بهترین و میانگین مقادیر به دست آمده 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 برتقی آماری، ≈ برابری آماری و // بهتر نبودن آماری الگوریتم پیشنهادی)

LINGO	PSO	GA	DE	BBO	MBBO	معیار / الگوریتم	شماره مسئله
۵۰۴۸	۵۱۳۸.۹	۵۰۲۶.۷	۵۰۲۲.۳	۲,۵۰۶۵	۵۰۴۸	بهترین	مسئله ۱
۵۰۴۸	۵۶۷۴.۶	۵۹۲۷.۳	۵۱۱۴.۶	۵۹۴۵.۳	۵۰۴۷.۵	میانگین	
۱۲,۷۱۵۲	۲,۱۴۰۰	۳.۱۴۶۷	۲.۷۴۵۷	۳,۷۹۰۷	۱,۹۸۳۴	زمان	
/	۲۹	۲۵	۳۸	۳۷	۴۷	Sr	
/	+	+	+	+	/	آزمون آماری	
۱۲۵۵۴.۴	۱۲۵۰۲	۱۲۵۴۲.۶	۱۲۵۴۶.۸	۱۲۵۵۱.۷	۱۲۵۵۰/۲	بهترین	مسئله ۲
۱۲۵۵۴/۴	۱۲۲۱۸.۲	۱۲۴۷۹.۵	۱۲۵۹۴.۴	۱۲۵۸۷.۴	۱۲۵۴۷/۹	میانگین	
۲۷,۷۹۹۶	۸,۴۷۶۴۵	۱۵.۷۸۵۶	۷.۵۵۲۶۹	۹,۶۵۴۱۳	۶,۷۵۴۲۷	زمان	
/	۳۰	۲۴	۳۴	۳۲	۴۱	Sr	
/	+	+	≈	+	/	آزمون آماری	
۱۸۱۵۰.۴	۱۸۱۹۸.۸	۱۸۲۰۱.۷	۱۸۱۵۸	۱۸۱۷۸/۳	۱۸۱۴۸.۲	بهترین	مسئله ۳
۱۸۱۵۰/۴	۱۸۲۷۲.۱	۱۸۴۹۱.۹	۱۸۱۶۰.۷	۱۸۲۳۸/۲	۱۸۱۴۷.۲	میانگین	
۲۱,۱۱۴۶	۷,۷۱۴۶۶	۷.۳۶۳۸۷	۴.۵۴۶۶۴	۵,۴۵۲۹۶	۴.۱۲۵۷۷	زمان	
/	۲۷	۳۱	۴۴	۳۷	۴۳	Sr	
/	+	+	+	//	/	آزمون آماری	

جدول ۴: بهترین و میانگین مقادیر به دست آمده 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

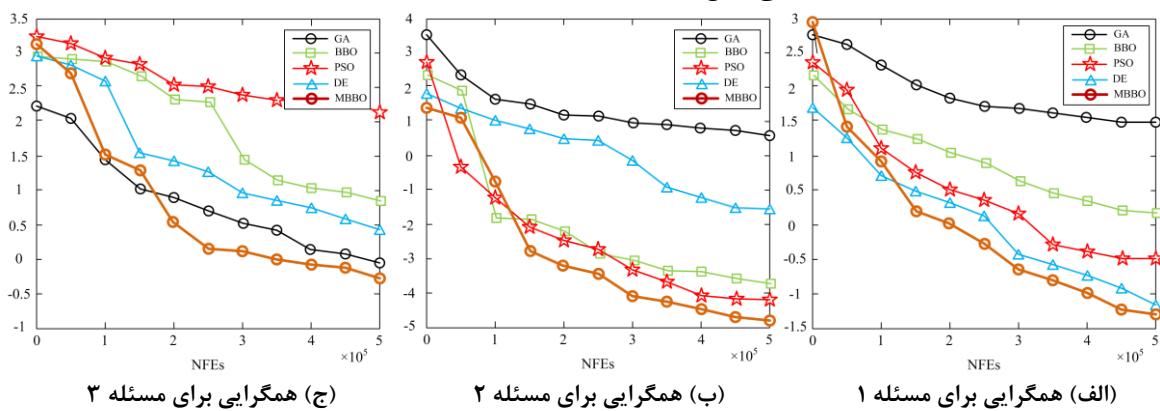
PSO	GA	DE	BBO	MBBO	معیار / الگوریتم	شماره مسئله
۲۷۱۰۰۲	۲۷۲۴۷۶	۲۵۶۱۹۵	۲۴۹۱۷۴	۲۴۸۴۹۹	بهترین	مسئله ۴
۲۷۱۰۴۹	۲۷۲۶۹۱	۲۵۶۲۵۸	۲۴۹۴۷۳	۲۴۸۵۱۳	میانگین	
۱۸۹۴	۱۹۶۰	۱۳۵۴	۱۶۷۳	۱۵۰۴	زمان	
۲۲	۱۴	۳۸	۲۶	۴۱	Sr	
+	+	//	+	/	آزمون آماری	
۸۱۷۵۰۹	۶۹۴۰۶۸	۶۷۲۳۵۶	۶۸۲۲۴۶	۶۵۲۴۰۱	بهترین	مسئله ۵
۸۱۷۵۶۷	۶۹۴۱۲۵	۶۷۲۵۴۶	۶۸۲۴۶۴	۶۵۲۴۵۶	میانگین	
۵۰۹۳	۵۱۲۸	۳۶۰۶	۳۷۱۲	۳۴۴۶	زمان	
۲۳	۱۷	۲۸	۲۹	۲۹	Sr	
+	+	≈	≈	/	آزمون آماری	
۸۷۱۸۶۹	۵۸۶۳۷۶	۵۶۴۶۸۵	۵۱۰۱۲۰	۵۰۴۶۸۹	بهترین	مسئله ۶
۸۷۱۹۲۵	۵۸۶۴۱۲	۵۶۴۸۲۳	۵۱۰۲۴۳	۵۰۴۷۱۲	میانگین	
۴۲۵۲	۴۲۰۲	۳۴۲۱	۲۹۲۴	۲۱۴۵	زمان	
۹	۳	۱۳	۱۱	۲۷	Sr	
+	+	≈	//	/	آزمون آماری	



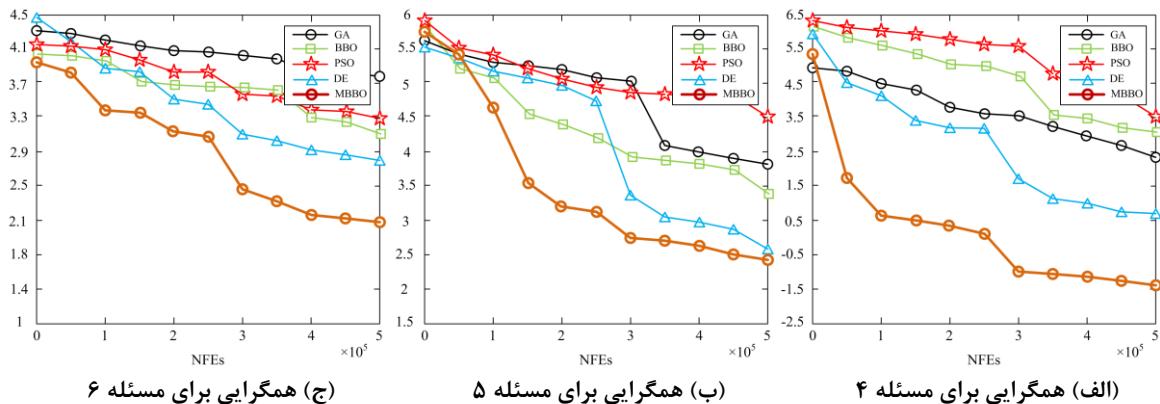
شکل ۶: مقایسه میزان استحکام (ترخ موفقیت) روش‌های مختلف در حل همه مسائل ۱ تا ۶

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].

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، بیانگر تعداد ارزیابی تابع هدف



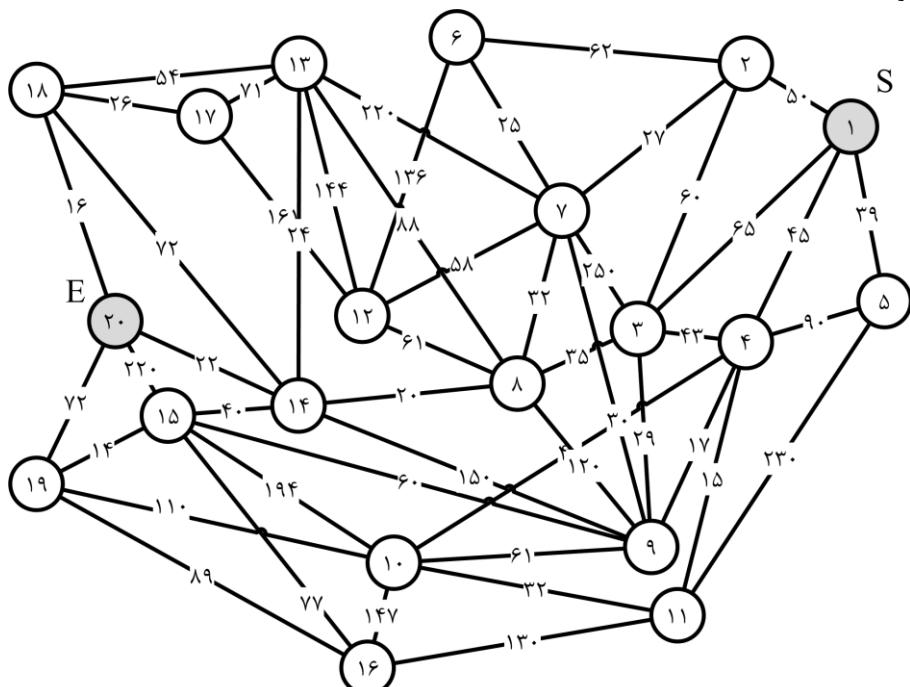
شکل ۷: مقایسه سرعت همگرایی روش‌ها برای مسائل اول تا سوم



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

**۱-۴- بررسی الگوریتم‌ها در یک مسئله ساده تر**  
 علاوه بر پیاده سازی های مفصل ارائه شده در بخش قبلی، در این بخش نیز، به منظور روشن ساختن هر بیشتر کارایی و دقیق 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. توبولوژی 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 گونه‌ای که هر گره یک امدادجو (کمپ) و هر یال بیانگر طول مسیر ممکن بین آن دو گره است.

با توجه به نمودارهای همگرایی شکل (۷) الف، سرعت همگرایی الگوریتم MBBO و دقیق 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 و PSO 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 به دلیل عملگرهای دینامیکی اضافه شده 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 بهبود یافته است.



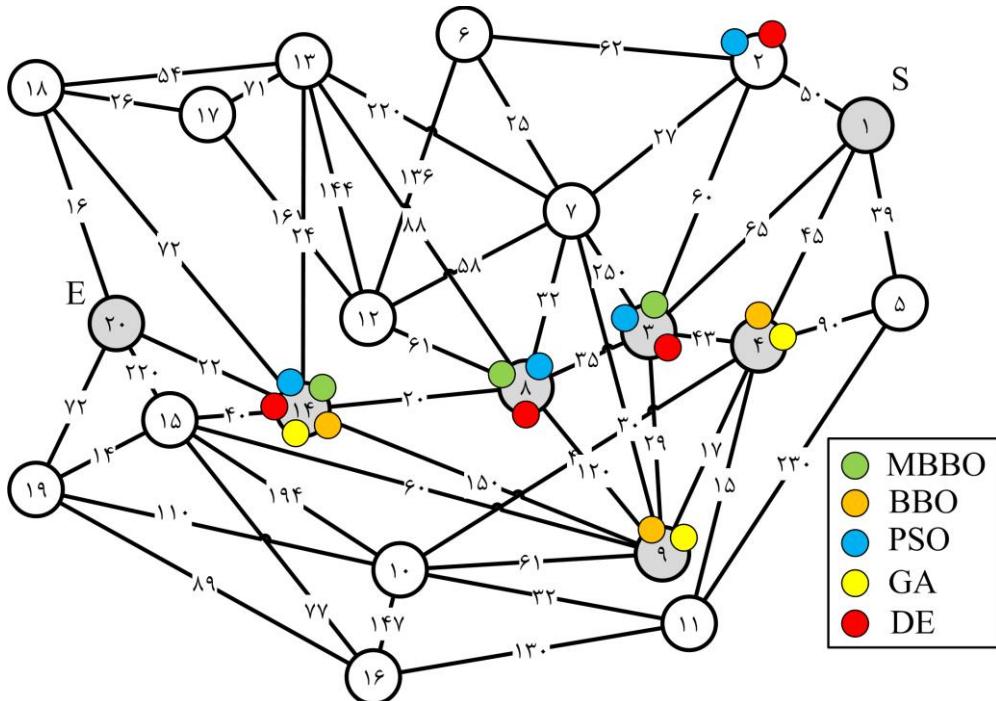
شکل ۹: یک شبکه نمونه با ۲۰ گره به همراه وزن یال‌ها (S: گره آغاز، E: گره پایان)

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

$$F_i = 1 / \left( \sum_{s=1}^{N_i-1} J_{mn} \right), m = LL^i(s), n = LL^i(s+1) \quad (21)$$

حل این مسئله، کوتاهترین مسیر با عبور از گره‌های: ۱۴-۸-۳-۱ 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 کردند. 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.

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  $n$  واقع شده‌اند. الگوریتم‌های DE، PSO، BBO، MBBO در حل این مسئله، به ترتیب مسیرهایی با هزینه‌های زیر محاسبه می‌کنند: (۱) ۱۴۲، ۲۳۴، ۱۸۷، ۲۳۴. (۲) ۲۰-۱۴-۸-۳-۱:MBBO، ۱۴۲، ۲۳۴. (۳) ۲۰-۱۴-۹-۴-۱:BBO، ۱۴۸-۳-۲-۱:PSO (۴) ۲۰-۱۴-۹-۴-۱:GA (۵) ۲۰-۱۴-۹-۴-۱:DE. این نتایج در حالی محاسبه گردیده که بر مبنای نتایج الگوریتم دقیق و کلاسیک دایکسترا در



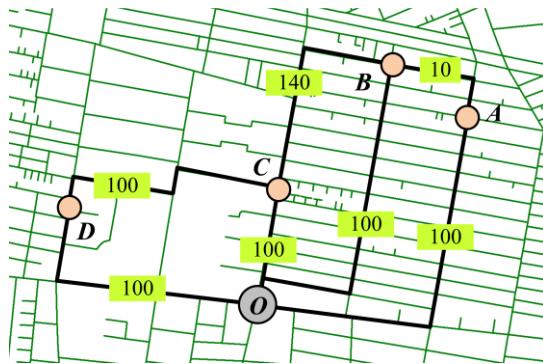
شکل ۱۰: مقایسه مسیرهای به دست آمده با الگوریتم‌های مختلف

با پارامترهای اصلی و در یک سناریوی امدادی فرضی در شهر تهران نیز پرداخته شده است. با فرض آنکه مجموعه  $\{A, B, C, D\}$  نشان‌دهنده چهار ایستگاه

۴-۲-۴- ارائه یک کاربرد عینی در انتهای این بخش، به نمایش نتایج یک مثال روش، نمونه و عینی از کاربرد رهیافت پیشنهادی در حل مدل

(دایره‌های نارنجی) و مسیرهای بین ایستگاه‌ها به همراه هزینه انتخاب آن‌ها (با زمینه سبز) نمایش داده شده است.

برپا شده در خیابان‌های اطراف محل حادثه (برای مثال حادثه ساختمان پلاسکو) باشد. در شکل (۱۱) مسیرهای ممکن بین سازمان (دایره  $O$ ) و ایستگاه‌ها



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

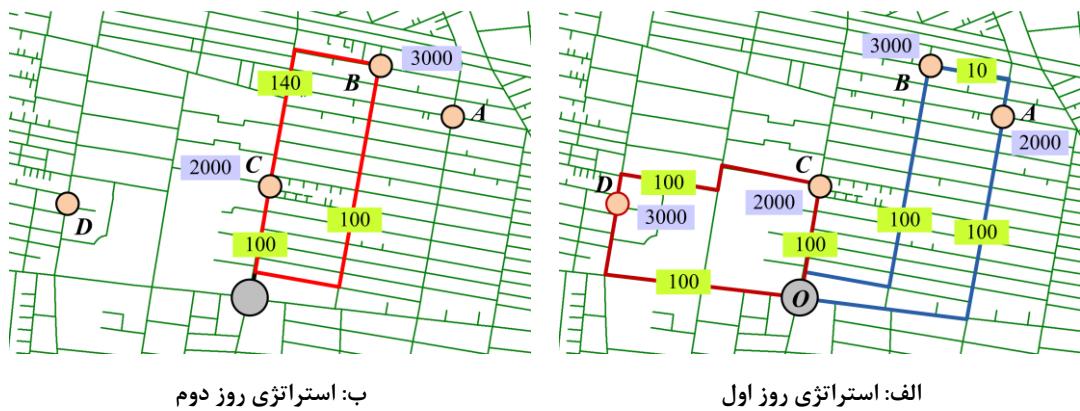
طول چندین دوره زمانی برای اجرای عملیات (برای مثال، مشابه اجرای چندین روز عملیات در حادثه پلاسکوی تهران)، شمار ایستگاه‌های فعال و لازم، بهترین میزان ارسال کالای امدادی به هر ایستگاه و بهترین مسیرها برای تامین کالای امدادی مشخص می‌گردد. خروجی این فرآیند، رویکردی با کمترین هزینه اجرا برای تیم مدیریت امداد 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 حداقل 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 D به کمک یک وسیله ارسالی به میزان ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ واحد تعذیه می‌گردند، اما به A و D کالایی ارسال نمی‌شود. نتایج استراتژی بهینه برای روزهای اول و دوم به ترتیب در شکل (۱۲-الف و -ب) قابل مشاهده است.

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 حداقل 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



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

بهبودیافته است. با توجه به نتایج، الگوریتم توسعه یافته می‌تواند به عنوان 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 ارائه شده 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، چهار 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 این الگوریتم معمول 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 نظریه PSO، DE، BBO 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 دقیق نتایج، استحکام محاسباتی و سرعت همگرایی

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 ایستگاه‌های فراوان، که روش‌های دقیق دیگر قادر به حل کارای مسئله نیستند، نتایج برتری را به دست 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 نظریه PSO، DE، BBO 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 دقیق نتایج، استحکام محاسباتی و سرعت همگرایی

علوم مهندسی مورد بررسی قرارداد.

- [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.

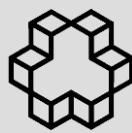
روش پیشنهادی MBBO را در حل دیگر مسائل مقید

## مراجع

- Viswanathan, "Supply chain management in emerging markets," *Journal of Operations Management*, 2016.
- [10] G. C. Crișan, 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*

- 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 multi 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] 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. Nakai 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*

- 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-hasem 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. Punnenathanam 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.



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

**Ali Asghar Heidari<sup>1</sup>, Rahim Ali Abbaspour<sup>\*2</sup>**

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