

A Location-Inventory Model for Casualty Response Planning in Crisis Situations

Behnam Vahdani*, **Fatemeh Farzaneh Kol Tappeh****

Abstract

When it comes to providing aid to the victims of natural and unnatural disasters, the main goal of a relief chain is to provide the items needed by the victims such as water and food, medicine, shelter and other necessities to reduce the number of deaths caused by reduce the occurrence of disasters as much as possible; therefore, designing, developing and implementing a relief chain can play an important role in finding a suitable answer. The most obvious differences in dealing with the relief supply chain are the unpredictability of demand in terms of time, place, type, scale and volume. Other reasons such chains are the sudden occurrence of a large amount of demand and a very short opportunity to provide a large amount of goods, lack of resources including goods, relief forces, appropriate technology, transportation capacity, the need to provide timely and sufficient supplies after the accident, and the risks in the relief environment. In the present research, a mathematical model for the location-inventory problem for planning response to casualties is presented; also, due to the NP-hard nature of the problem considered, meta-heuristic algorithms were used to solve it.

Keywords: Relief Supply chain; Location; Inventory; Meta-Heuristic Algorithm.

Received: Jun. 25, 2020; Accepted: Jun. 13, 2022.

* Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran (Corresponding Author).
Email: b.vahdani@gmail.com

** MSc, Department of Industrial Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۹۸۷۴، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

سال دوازدهم، شماره ۴۷، پاییز ۱۴۰۱، صص ۲۳۹ - ۲۷۸ (نوع مقاله: پژوهشی)

DOI: [10.52547/JIMP.12.3.239](https://doi.org/10.52547/JIMP.12.3.239)

یک مدل مکان‌یابی - موجودی برای برنامه‌ریزی پاسخ به تلفات در شرایط بحران

بهنام وحدانی*، فاطمه فرزانه کل‌تپه**

چکیده

در بحث امداد رسانی به مصدومان بلایای طبیعی و غیرطبیعی، هدف اصلی یک زنجیره امداد رسانی این است که اقلام مورد نیاز مصدومان مانند آب و مواد غذایی، مواد دارویی، پناهگاه و سایر ملزومات در سریع‌ترین زمان ممکن در دسترس مصدومان قرار بگیرد تا از تعداد مرگ‌ومیر ناشی از وقوع بلایا تا حد امکان کاسته شود؛ بنابراین طراحی و توسعه و اجرایی کردن یک زنجیره امداد رسانی می‌تواند نقش مهم و بزرگی در دست‌یافتن به یک پاسخ مناسب ایفا کند. بارزترین تفاوت‌ها در بحث برخورد با زنجیره امداد رسانی، غیرقابل پیش‌بینی بودن تقاضا از نظر زمان، مکان، نوع، مقیاس و حجم آن است. دلایل دیگر پیچیدگی مدیریت چنین زنجیره‌هایی وقوع ناگهانی یک تقاضا در مقدار زیاد و فرصت بسیار کوتاه برای تأمین حجم وسیعی از کالاها، کمبود منابع شامل کالاها، نیروی امداد رسانی، فناوری مناسب، ظرفیت حمل‌ونقل، ضرورت تأمین به‌موقع و به میزان کافی ملزومات بعد از وقوع حادثه و ریسک‌های موجود در محیط امداد رسانی است. در پژوهش حاضر، یک مدل ریاضی برای مسئله مکان‌یابی - موجودی برای برنامه‌ریزی پاسخ به تلفات ارائه شده است؛ همچنین از آنجاکه مدل ریاضی ارائه شده جزو مسائل Np -hard محسوب می‌شود، برای حل آن از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده است.

کلیدواژه‌ها: زنجیره امداد رسانی؛ مکان‌یابی؛ موجودی؛ الگوریتم فراابتکاری.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۰۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳.

* دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، گروه مهندسی صنایع، قزوین، ایران (نویسنده مسئول).

Email: b.vahdani@gmail.com

** دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، گروه مهندسی صنایع، قزوین، ایران.

۱. مقدمه

بحران حادثه‌ای است که به‌طور طبیعی یا ناگهانی پدید می‌آید و سختی و آسیبی به جامعه انسانی تحمیل می‌کند که برای پشت‌سرگذاشتن آن به اقدامات اساسی نیاز است. امروزه آسیب‌های جوامع مدرن برای طبیعت و فجایع دست‌ساخت بشر یک مشکل جدی است [۲۱]. علاوه بر سیل و زلزله، حوادث دیگری همچون رویدادهای رادیولوژیکی نیز موجب مرگ‌ومیرهای انسان‌های زیادی در سراسر جهان می‌شود که در اثر این حادثه انتشار مواد رادیواکتیو به پیامدهای مختلفی برای مردم و محیط‌زیست و امکانات منجر می‌شود. از حوادث رادیولوژیکی می‌توان به فاجعی هسته‌ای فوکوشیما، انواع جنگ‌ها و رویدادهای مربوط به انفجارهای کوچک در صورت وجود هرگونه انفجار هسته‌ای اشاره کرد [۱۳]. در چنین حوادث رادیولوژیکی هدف، اولویت‌بندی تلفات و خسارات بر اساس رده‌بندی درمانی و تخصیص مراکز درمانی برای امدادسانی سریع است تا افراد کمی جان خود را از دست بدهند [۹]. بحث امدادسانی سریع به‌موقع به حادثه دیدگان این وقایع، مسئله بزرگی است که در حال حاضر بسیاری از پژوهشگران و دانشمندان در حال تحقیق درباره آن هستند. تعداد بلایا و همچنین تعداد انسان‌هایی که در اثر وقوع این بلایا تحت تأثیر قرار گرفته‌اند، در سال‌های اخیر افزایش یافته است [۲۲-۴۱]. این افزایش در تعداد بلایای طبیعی و تبعات آن‌ها در جان و مال و زندگی افراد، توجه بسیاری را سال‌های اخیر به سمت خود جلب کرده است. در بحث امدادسانی به مصدومان یک حادثه، هدف مهم در یک زنجیره امدادسانی این است که اقلام موردنیاز حادثه‌دیدگان، مانند آب و مواد غذایی، مواد دارویی، پناهگاه و سایر ملزومات، در سریع‌ترین زمان در دسترس مصدومان قرار بگیرد تا تعداد مرگ‌ومیر ناشی از شدت وقوع حوادث تا حد امکان کاهش یابد؛ بنابراین توسعه و طراحی و اجرایی کردن یک زنجیره امدادسانی می‌تواند نقش مهمی در رسیدن به یک پاسخ مناسب ایفا کند. شاخص‌ترین تفاوت‌ها که پیچیدگی و انحصار روش برخورد با زنجیره امدادسانی را به دنبال دارد، غیرقابل‌پیش‌بینی بودن تقاضا از نظر زمان، مکان، نوع، مقیاس و حجم آن است. از دلایل دیگر پیچیدگی مدیریت چنین زنجیره‌هایی وقوع ناگهانی یک تقاضا در مقدار زیاد و زمان کوتاه برای تأمین حجم وسیعی از کالاها، کمبود منابع شامل کالاها، ظرفیت حمل‌ونقل، نیروی امدادسانی، فناوری مناسب، سرمایه موردنیاز شرایط محیطی کاملاً متغیر و دینامیک، ضرورت تأمین به‌موقع و به میزان کافی ملزومات پس از وقوع بلایا و ریسک‌های موجود در محیط امدادسانی است. از آنجاکه مکان و تعداد مرکزهای عرضه کالاها و همچنین تعداد کالاهایی که در هر یک از این مرکزها نگهداری می‌شود، به‌صورت مستقیم بر زمان امدادسانی و هزینه‌های مرتبط با آن اثر می‌گذارد، بحث جایابی انبار و بررسی اقلام موجود در آن نقش بسیار مهمی در عملکرد یک زنجیره ایفا می‌کند. بعد از وقوع حوادث، مسائل مربوط به مکان‌یابی تسهیلات مربوط به تدارکات انسانی اضطراری بر انواع مشکلات قبل و بعد از فاجعه و

با توجه به محل تسهیلات مانند محل مراکز توزیع، انبارها، پناهگاه‌ها و مراکز پزشکی مطرح می‌شود [۸]. اگرچه پژوهش‌های زیادی در زمینه‌های مربوط به مسائل مکان‌یابی این‌گونه زنجیره‌ها انجام پذیرفته است، اما در زمینه‌های نظری و برنامه‌های کاربردی توجه زیادی به زنجیره‌های امدادسانی بلایای طبیعی و غیرطبیعی نمی‌شود؛ بنابراین موضوع مکان‌یابی انبارها و تصمیمات مربوط به نگهداری کالا در آن‌ها برای مقابله با تقاضاهای ناگهانی هنگام وقوع یک حادثه مطرح می‌شود که مسئله طراحی شبکه امدادسانی در یک زنجیره‌ی امدادسان در قدم اول بررسی شده و با یک رویکرد تحلیلی تصمیم‌گیری در مورد مکان‌یابی مراکز عرضه و کالاهای موجود در این مراکز بررسی می‌شود [۶]. در این میان یکی از مهم‌ترین تصمیمات استراتژیکی که در طراحی شبکه‌های امداد در نظر گرفته می‌شود، مربوط به مکان‌یابی مراکز درمان است. مکان‌هایی که برای احداث مراکز درمانی در نظر گرفته می‌شوند باید پیش‌نیازهای بسیاری از جمله دسترس‌پذیری فیزیکی، اقتصادی و غیره را دارا باشد. یکی دیگر از مهم‌ترین تصمیمات استراتژیکی در شبکه‌های امداد مربوط به مسیریابی است. این تصمیم برای آن است تا بتواند تجهیزات موردنیاز را به افراد حادثه‌دیده برساند و آن‌ها را به مراکز درمانی و بیمارستان‌ها منتقل کند. با توجه به موارد مورداشاره تاکنون پژوهشی برای در نظر گرفتن دو مسئله مکان‌یابی - موجودی به‌منظور برنامه‌ریزی پاسخ به تلفات ارائه نشده است؛ از این رو در این پژوهش یک مدل ریاضی برای مسئله موردنظر ارائه می‌شود. از آنجاکه این مسئله جزو مسائل Np -hard است، برای حل آن الگوریتم‌های فراابتکاری تطبیق داده می‌شوند. این مقاله به‌صورت زیر سازمان‌دهی شده است. در بخش دوم، مبانی نظری پژوهش بررسی می‌شود. در بخش سوم، مدل ریاضی توسعه داده خواهد شد. در بخش چهارم، روش‌های حل مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری به‌کار می‌رود و نتایج مدیریتی ارائه می‌شود. در نهایت بخش پنجم به نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده اختصاص دارد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

بروتنه^۱ و همکاران (۲۰۰۳)، خاطرنشان کردند که به‌طور کلی به‌منظور نیل به اهداف مدیریت بحران، لجستیک حوزه‌ای محسوب می‌شود که ممکن است بهبود زیادی ایجاد کند و یکی از راهبردهای لجستیکی به‌منظور حرکت به‌سوی پاسخگویی سریع‌تر و بهتر، مکان‌یابی از پیش انبارهای موجودی است. در این قسمت، مکان‌یابی از بُعد جغرافیایی با توجه به عواملی مانند هزینه، عدالت و زمان پاسخ مدنظر است [۷]. بالکیک و بیمن^۲ (۲۰۰۸)، با مطالعه مسئله مکان‌یابی، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای تعیین تعداد و موقعیت مراکز توزیع و همچنین

۱. Bronte

۲. Balcik and Beamon

میزان کالاهای از قبیل تعبیه شده در هر یک از این مراکز توزیع ارائه دادند. مدل ارائه شده، گونه‌ای از مدل حداکثر پوشش است که مسئله مکان‌یابی را با مسئله موجودی یکپارچه می‌کند. از ویژگی‌های مدل آن‌ها می‌توان به چندکالایی بودن، استفاده از محدودیت‌های بودجه و محدودیت ظرفیت اشاره کرد. در واقع این پژوهش از نخستین پژوهش‌هایی است که به بحث مکان‌یابی مراکز توزیع برای پاسخگویی مناسب در زمان بحران می‌پردازد. برای توسعه پارامترهای مدل در این پژوهش از داده‌های بحران بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۶ که «مرکز داده مؤسسه ملی ژئوفیزیک» فراهم کرده است، استفاده می‌شود. نتایج تأثیر سرمایه‌گذاری بر موضوع امداد رسانی را قبل و بعد از وقوع بحران بر عملکرد نظام امداد رسانی نشان می‌دهد [۴]. بالکلیک^۱ و همکاران (۲۰۰۸)، یک مدل تک‌هدفه را توسعه دادند که تعداد و مکان مراکز توزیع را در شبکه امداد رسانی و مقدار کالایی که باید در هر مرکز ذخیره شود، مشخص می‌کند. مدل آن‌ها چند کالایی است و محدودیت بودجه نیز در آن در نظر گرفته می‌شود [۵]. املی^۲ و همکاران (۲۰۰۹)، یک مدل زنجیره تأمین تصادفی یکپارچه با تقاضا و مدت زمان تحویل نامعلوم فرمول‌بندی کردند [۱۸]. کاونهی^۳ و همکاران (۲۰۱۲)، دسته دیگری از مدل‌های مکان‌یابی، پیش موقعیت موجودی و توزیع اقلام امدادی را به صورت ترکیبی در مدل خود در نظر می‌گیرند که اغلب با هدف کاهش هزینه است. این مدل‌ها با در نظر گرفتن جنبه‌هایی مانند تعیین ساختار سازمانی اولویت‌بندی شده، محدودیت‌های بودجه‌ای و هزینه تقاضای ارضاننده توانستند نوآوری‌هایی ایجاد کنند [۱۰]. تانسرز^۴ و همکاران (۲۰۱۲)، یک مسئله مکان‌یابی - موجودی در یک زنجیره تأمین سه سطحی را بررسی کردند [۱۱]. راتولز و ترنکوئیست^۵ (۲۰۱۲)، با توجه به عدم قطعیت موجود در مورد زمان و مکان بروز حوادث طبیعی، مدل تصادفی دومرحله‌ای عدد صحیح مختلط را برای مکان‌یابی انبارها و همچنین تعیین میزان پیش موقعیت هر یک از انواع کالا در هر انبار و تعیین جریان در شبکه بعد از وقوع بلایا، تحت سناریوهای احتمالی ارائه دادند. متغیرهای تصمیم مرحله نخست شامل مکان تسهیلات انبارش، اندازه آن‌ها و همچنین تصمیمات ذخیره‌سازی مقادیر انواع مختلف کالا و تصمیمات مرحله دوم شامل توزیع کالاهای در دسترس، در فاز پاسخ، با توجه به شرایط هر سناریو است. به علت پیچیدگی محاسباتی مسئله از الگوریتم ابتکاری لاگرانژال شکل برای حل مسائل با اندازه بزرگ استفاده می‌شود [۱۹]. بزرگی امیری و فتاحی (۲۰۱۵)، یک مدل جدید چندهدفه‌ی فازی برای طراحی شبکه لجستیک امداد بلایا تحت شرایط عدم قطعیت فازی ارائه کردند. در این مدل علاوه بر نقاط تأمین، مراکز توزیع امداد و نقاط آسیب،

۱. Balcik

۲. Emli

۳. Caunhye

۴. Tanserz

۵. Rawls and Turnquist

بحث تخلیه افراد آسیب‌دیده از منطقه خطر و ارسال به مراکز درمانی موقت و نوع وسایل حمل‌ونقل نیز اضافه شده است [۲]. لوره و آروس ورا^۱ (۲۰۱۸)، یک مدل ریاضی برای تعیین موقعیت نقاط توزیع و تخصیص موجودی در تدارکات انسانی پس از فاجعه ارائه کردند. این مدل باعث کاهش هزینه‌های تسهیل، تدارکات و هزینه‌های محرومیت (برای مثال هزینه‌های ناشی از عدم دسترسی به منابع حیاتی برای بازماندگان) می‌شود و اجازه می‌دهد تا گره‌های تقاضا از چندین خدمت‌کننده خدمت بگیرند. این در شرایطی معنادار است که ممکن است موجودی را برای خدمت به تمام نقاط تقاضا که آن در اختیار نداشته باشد. در این پژوهش، اهمیت توجه به مؤلفه زمانی سیستم و هزینه‌های اجتماعی ناشی از آن در محل تأسیس مشخص شد [۱۶]. به نظر لیو و همکاران^۲ (۲۰۱۹)، برنامه‌ریزی برای محل تأسیسات خدمات پزشکی موقت و توزیع تلفات به این مراکز مستلزم در نظر گرفتن تریاژ مصدومان، شرایط وخیم سلامتی و توزیع عادلانه منابع محدود پزشکی است. در این پژوهش با به‌حداکثر رساندن تعداد بازماندگان مورد انتظار و به حداقل رساندن کل هزینه عملیاتی در راه استفاده از آمبولانس و بالگرد، یک مدل بهینه‌سازی دو-هدفه برای تعیین مکان بهینه خدمات موقتی پزشکی و برنامه تخصیص خدمات پزشکی ایجاد می‌شود. بر این اساس، آن‌ها یک روش تکرار را برای به‌دست‌آوردن جبهه پارتو از مدل بهینه‌سازی دوهدفه پیشنهاد کردند. در نهایت تجزیه و تحلیل حساسیت برای ارائه بینش مفید مدیریتی انجام شد [۱۴]. علیزاده و همکاران (۲۰۱۹)، یک مسئله موقعیت به‌عنوان یک مدل بهینه‌سازی تصادفی استوار دومرحله‌ای در یک محیط نامشخص را فرموله کردند. در این رویکرد مدل‌سازی، تصمیمات طراحی شبکه با تصمیمات عملیاتی پاسخ چنددوره‌ای تلفیق شد که در آن تعداد تلفات با سطوح مختلف صدمات ناشی از مناطق آسیب‌دیده نامشخص است؛ همچنین ظرفیت حمل‌ونقل برای تخلیه تلفات به بیمارستان‌ها نیز نامشخص است. برای حل این مسئله پیچیده، یک روش تقریب متوسط (تقریب با تکنیک بازیابی امکان‌سنجی) پیشنهاد شده و کارایی آن از طریق یک روش اعتبارسنجی آماری بررسی شده است. آن‌ها سپس روش پیشنهادی را در پس‌زمینه یک مورد فرضی از فاجعه گاز بوپال (با همان مشخصات انتشار خطر) در حال حاضر ارزیابی کردند [۳]. مه‌ری و همکاران (۲۰۲۰)، مسئله مکان‌یابی آمبولانس در زمینه پوشش تصادفات جاده‌ای، که اغلب ماهیتی نادر و تصادفی دارد را بررسی کردند. بر این اساس، این پژوهش یک مسئله مکان‌یابی حداکثر پوشش لبه با پوشش جزئی امکانات در لبه‌ها را پیشنهاد می‌کند؛ به‌علاوه تصادفی‌بودن ویژگی مرتبط با فرکانس و شدت خرابی است. برای کاهش خطاهای ناشی از ویژگی غیرقطعی تصادفات، یک روش تجربی بیز در فرکانس مشاهده‌شده تصادفات اعمال شد؛ در نتیجه روش پیشنهادی برای یک مطالعه موردی واقعی به‌کار رفت و

۱. Loree & Aros-Vera

۲. Liu

نتایج مدیریتی مهمی به‌دست آمد [۱۷]. به نظر زاهدی و همکاران (۲۰۲۰)، شرایط اضطراری معمولاً به‌عنوان شرایطی شناخته می‌شوند که باید در کمترین زمان ممکن به آن‌ها رسیدگی شود. آمادگی برای غلبه بر شرایط اضطراری در مکان‌هایی که اقدامات لازم پیش‌بینی شده است، به پاسخ سریع‌تر منجر می‌شود و تلفات وارده و همچنین هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. در مواقع اضطراری مناطق دوردست ممکن است تحت تأثیر منابع محدودی قرار بگیرند؛ از این رو سؤال اصلی این است که چگونه منابع موجود باید در مناطق آسیب‌دیده توزیع شود. پاسخ به این سؤال می‌تواند در شرایط بحرانی مفید باشد. در این پژوهش، یک تحقیق تجربی به‌منظور توسعه یک مدل زمان‌بندی مناسب برای منابع و وسایل نقلیه برای تأمین نیازهای مناطق حادثه‌ای که خواسته‌های آن‌ها پویا در نظر گرفته شده است، توسعه داده شد. در این پژوهش تلاش شده است تا یک استراتژی اجرایی برای برنامه‌ریزی منابع در شرایط اضطراری تدوین شود. این مدل یکپارچه از جمله در نظر گرفتن ناهمگنی و پویایی خواسته‌ها، برنامه‌ریزی توزیع کالا و مسیریابی وسایل نقلیه به‌طور هم‌زمان و یک مدل چندهدفه را بر اساس اقدامات کلی لازم در موارد اضطراری پوشش می‌دهد. با توجه به این واقعیت که این مدل چندهدفه بود، برای حل مدل چند تابع هدفه، روش محدودیت تکامل‌یافته به‌کار رفت؛ همچنین با استفاده از الگوریتم ژنتیک با زمان حل قابل قبول، توانایی استفاده از مدل در شرایط واقعی تأیید شد. در نهایت داده‌های حاصل از زلزله در سال ۱۳۹۶ کرمانشاه در ایران برای بررسی صحت و اعتبار مدل برای وضعیت دنیای واقعی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج با اطلاعات واقعی مقایسه شد. این نتایج توسط کارشناسان «هلال‌احمر ایران» قابل قبول ارزیابی شد و نتایج مدیریتی قابل تأملی به‌دست آمد [۲۲]. لیو و همکاران^۱ (۲۰۲۰) در پژوهشی، یک چارچوب ارزیابی دومرحله‌ای مؤثر با یکپارچه‌سازی روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی^۲ ارائه کردند. آن‌ها یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای به‌دست آوردن طرح بهینه تخصیص محل اضطراری^۳ برای مقابله با سیلاب توسعه دادند. بر این اساس، بهینه‌سازی با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای تخصیص مواد اضطراری برای همه منابع ریسک به روشی مؤثر در زمان مشخص شد؛ سپس چارچوب ارزیابی و انتخاب دومرحله‌ای در استان جیانگ سو چین اعمال شد. طرح بهینه‌سازی در نهایت، بهترین انبار مواد اضطراری را برای استان جیانگ سو انتخاب کرد. نتایج نشان داد که چارچوب توسعه‌یافته می‌تواند طرح بهینه‌سازی را با هدف حداقل نقاط نجات اضطراری و حداکثر توانایی‌های نجات یکپارچه به‌دست آورد و تمام مواد خطرناک منابع اضطراری را در یک پاسخ سریع برای نشت مواد شیمیایی رودخانه در مرحله قبل از حادثه فراهم کند [۱۵]. نجفی و قربانی (۲۰۲۰)، از یک مدل

۱. Liu

۲. MCDM

۳. EMLA

برنامه‌ریزی ترکیبی عدد صحیح غیرخطی برای مکان‌یابی انبارهای متقاطع، مسیریابی و زمان‌بندی وسایل نقلیه به‌طور هم‌زمان در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی با امکان برداشت و تحویل گسسته با هدف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌ها (هزینه احداث انبارهای متقاطع، هزینه‌های ثابت و متغیر حمل‌ونقل و جریمه تأخیر و تعجیل) استفاده کردند [۱]. تاجانی و همکاران (۲۰۲۱)، یک مدل زنجیره تأمین خون به‌صورت برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط شامل مراحل جمع‌آوری، فرآوری و توزیع خون و محصولات خونی با در نظر گرفتن طول عمر و سن تقاضا، طراحی کردند که به دنبال کاهش هزینه‌های متحمل بر زنجیره تأمین و نیز کاهش کمبود محصولات خونی بود [۲۰]. فوکردی و طلاوری (۲۰۲۱)، از یک مدل برنامه‌ریزی خطی صفرویک دوهدفه برای جریان در زنجیره تأمین دارو و از منظر یک شرکت پخش بهینه استفاده کردند. در این زنجیره، شرکت پخش داروهای دریافتی از تأمین‌کنندگان بالادست را به خرده‌فروشی‌های پایین‌دست می‌فروشد و با پول دریافتی از آن‌ها صورت‌حساب‌های تأمین‌کنندگان را تسویه می‌کند؛ در نهایت مدل توسط الگوریتم ژنتیک ضمن تعیین بهترین توالی پرداخت صورت‌حساب‌ها، جریان مالی خروجی و ریسک ناشی از نقض موعد پرداخت صورت‌حساب‌ها را کمینه می‌کند [۱۲]. هدف پژوهش حاضر، توسعه یک مدل ریاضی برای مسئله مکان‌یابی - وجودی برای برنامه‌ریزی پاسخ به تلفات و حل آن با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک و رقابت استعماری است. در ادامه نوآوری‌هایی که این پژوهش را نسبت به پژوهش‌های دیگر متمایز و برجسته می‌کند و می‌تواند مبانی نظری این حوزه را غنی‌تر کند، ارائه شده است:

- با توجه به موارد اشاره‌شده در بالا پژوهشی برای در نظر گرفتن دو مسئله مکان‌یابی - وجودی به‌منظور برنامه‌ریزی پاسخ به تلفات مشاهده نشد؛ از این‌رو در این پژوهش یک مدل ریاضی برای مسئله مکان‌یابی - وجودی برای برنامه‌ریزی پاسخ به تلفات ارائه می‌شود؛

- از آنجاکه مسئله مکان‌یابی - وجودی جزو مسائل Np-hard است، برای حل مسئله مکان‌یابی - وجودی برای برنامه‌ریزی پاسخ به تلفات دو الگوریتم فراابتکاری ژنتیک و رقابت استعماری تطبیق داده می‌شوند.

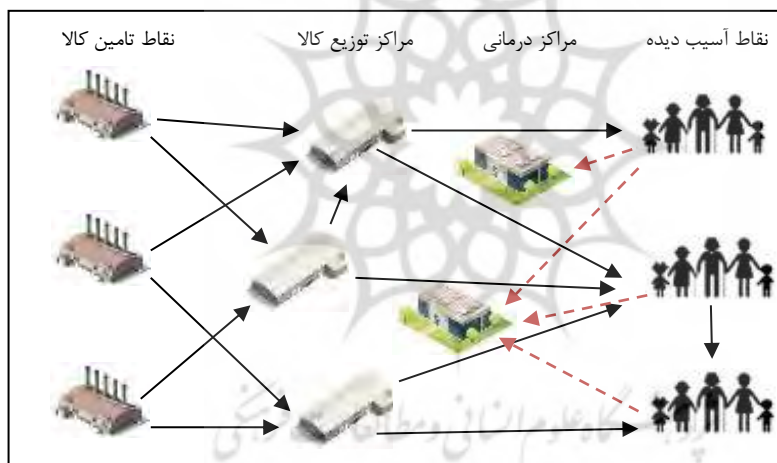
۳. روش‌شناسی پژوهش

بیان مسئله و مدل ریاضی. در این پژوهش به کاربرد لجستیک^۱ در بحران‌های ناشی از حوادث طبیعی^۲ و غیرطبیعی پرداخته می‌شود. لزوم اتخاذ سریع تصمیم‌ها و اجرای عملیات، دانشی با عنوان «مدیریت بحران» را به‌وجود آورده است. برای تصمیم‌گیری سریع و به‌موقع، نیاز است تا الزامات دقت، سرعت و اثربخش بودن اقدامات قبل از وقوع بررسی شود؛ از این‌رو نیاز است تا

۱. Logistics

۲. Natural Accident

اقدامات موردنیاز به صورت آزمایشگاهی بررسی و برترین راهکارها گزینش شود. بدین منظور نیاز است تا مجموعه اقدامات قبلی سنجیده و اقدامات جدیدی طرح‌ریزی و اجرا شود. در این پژوهش یک مدل‌سازی ریاضی برای تصمیمات بهینه موردنظر تصمیم‌گیرندگان این حوزه ارزیابی و ارائه خواهد شد. به‌طور کلی برنامه‌ریزی لجستیکی در پاسخگویی به بحران‌های طبیعی و غیرطبیعی دارای دو هدف کلی است: نخستین هدف، حمل مصدومان از مناطق آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی و دومین هدف، توزیع کالاهای امدادی مانند آب، غذا و چادرهای اسکان به مناطق کمتر حادثه‌دیده که از انبارهای ازپیش‌تعیین‌شده و تأمین‌کنندگان به مناطق آسیب‌دیده است. این اقدامات با محدودیت‌های ظرفیت بیمارستان‌ها و مراکز درمانی، ظرفیت انبارها، تعداد کالاهای موجود در آن، منابع، تقاضا، در دسترس بودن مسیرهای توزیع و غیره مواجه هستند و بنابراین باید یک برنامه‌ریزی موثر برای رسیدن به این اهداف صورت پذیرد. علاوه بر پیچیدگی فعالیت‌های لجستیکی، در طول دوره برنامه‌ریزی برای پاسخ به بحران‌های پسا فاجعه (بیماران مناطق، سیل، زلزله و غیره)، با نحوه پاسخ به تقاضای تأمین‌کنندگان و بیمارستان‌ها مواجهیم؛ بنابراین در این پژوهش یک مدل تک‌هدفه با در نظر گرفتن کاهش هزینه‌ها توسعه داده شده است. شکل ۱، نمای کلی مسئله را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمای کلی مسئله

مفروضات مدل ریاضی

۱. نقاط آسیب‌دیده، بیمارستان‌ها و نقاط تأمین و فواصل بین آن‌ها معلوم است؛
۲. نقاط کاندید مراکز درمانی و توزیع مشخص و فواصل بین تمام نقاط نیز معلوم است؛
۳. چند نوع کالا با درجه اهمیت متفاوت وجود دارد و هر کالا هزینه متفاوت تهیه، نگهداری و حمل دارد. نوع کالاها و درجه اهمیت آنها با توجه به شدت و بزرگی بحران و مشخصات نقاط آسیب‌دیده توسط کارشناسان تعیین می‌شود؛
۴. چند نوع مصدومیت با درجه اهمیت متفاوت وجود دارد. نوع مصدومیت‌ها و درجه اهمیت آنها توسط کارشناسان و با در نظرگیری عواملی نظیر شدت و بزرگی بحران تعیین می‌شود؛
۵. مقدار مورد نیاز هر کدام از کالاها مشخص است؛
۶. ظرفیت بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موجود برای پذیرش انواع مختلف مصدومان و ظرفیت مراکز تأمین و توزیع مشخص است؛
۷. سطح تقاضا برای نقاط آسیب‌دیده و پارامترهای هزینه و تعداد مصدومان نقاط آسیب‌دیده قطعی هستند؛
۸. هر مرکز توزیع ممکن است توسط تأمین‌کنندگان و یا مراکز توزیع دیگر (پوشش پشتیبان) تأمین شود؛
۹. ذخیره موجودی در مراکز بحران جریمه دارد که با عنوان «هزینه نگهداری» در نظر گرفته می‌شود؛
۱۰. برای احداث مراکز درمانی و مراکز توزیع و همچنین حمل‌ونقل کالاها و مصدومان در قبل و بعد از وقوع بحران، محدودیت بودجه‌ای وجود دارد.

اندیس‌ها

- I: اندیس گره تأمین‌کننده
 J: مجموعه گره‌های کاندید تأسیس مراکز توزیع
 K: مجموعه گره‌های نقاط آسیب‌دیده حاصل از بحران
 M: مجموعه گره‌های کاندید تأسیس مراکز درمانی
 N: مجموعه گره‌های بیمارستان‌ها برای درمان‌های جدی
 L: اندیس وسیله نقلیه
 C: اندیس کالاهای امدادی
 D: اندیس نوع مصدومیت
 ۱D: اندیس مصدومیت نوع ۱
 ۲D: اندیس مصدومیت نوع ۲

پارامترهای مدل

- f_j : هزینه ثابت تأسیس مرکز توزیع در گره z ام
- V_m : هزینه ثابت تأسیس مرکز درمانی در گره m ام
- FV_L : هزینه ثابت بکارگیری وسیله نقلیه l ام
- Φ_{ic} : هزینه خرید هر واحد کالای c از گره تأمین‌کننده i ام
- δ_{lijc} : هزینه حمل هر واحد کالای c از گره تأمین‌کننده i ام به گره توزیع‌کننده j ام
- $\delta'_{lij/c}$: هزینه حمل هر واحد کالای c از گره توزیع‌کننده j ام به گره توزیع‌کننده i ام
- CC_{ljkc} : هزینه حمل هر واحد کالای c از گره توزیع‌کننده j ام به گره آسیب‌دیده k ام
- $CCC_{ljk/c}$: هزینه حمل هر واحد کالای c از گره آسیب‌دیده k ام به گره آسیب‌دیده j ام
- U_{knd} : هزینه حمل یک مصدوم نوع d از گره آسیب‌دیده k ام به بیمارستان n ام
- Z_{kmd} : هزینه حمل یک مصدوم نوع d از گره آسیب‌دیده k ام به مرکز درمانی m ام
- h_{kc} : هزینه نگهداری موجودی هر واحد کالای c در گره آسیب‌دیده k ام
- η_{kc} : هزینه کسری موجودی هر واحد کالای c در گره آسیب‌دیده k ام
- B_+ : بودجه قبل از بحران
- B_- : بودجه پس از بحران
- α_d : هزینه عدم رسیدگی به مصدوم نوع d ام
- dem_{kc} : مقدار تقاضا برای کالای c در گره آسیب‌دیده k ام
- $capp_{ic}$: مقدار کالای c که از گره تأمین‌کننده i ام می‌توان تأمین کرد.
- o_{kd} : تعداد مصدومان d در گره آسیب‌دیده k ام
- ca_{nd} : تعداد مصدومان d که در بیمارستان n ام می‌توانند درمان شوند
- se_{md} : تعداد مصدومان d که در مرکز درمانی m ام می‌توانند، درمان شوند
- $ccap_j$: ظرفیت مرکز توزیع j ام که تأسیس می‌شود
- β_{kd} : درصد مصدومان d از نوع خفیف در مرکز آسیب‌دیده k ام
- MM : عدد بزرگ

متغیر تصمیم

- Q_{lijc} : مقدار کالای c تأمین‌شده از گره تأمین‌کننده i ام و ذخیره‌شده در گره توزیع‌کننده j ام با وسیله نقلیه l ام
- $Q'_{lij/c}$: مقدار کالای c ارسال‌شده از توزیع‌کننده j ام به i ام با وسیله نقلیه l ام
- Y_{ljkc} : مقدار کالای c حمل‌شده از توزیع‌کننده j ام به مرکز آسیب‌دیده k با وسیله نقلیه l ام

$Y'_{ljk'kc}$: مقدار کالای c حمل شده از مرکز آسیب‌دیده k' به مرکز آسیب‌دیده k با وسیله نقلیه l
 X_{kc} : مقدار کالای c ذخیره شده در مرکز آسیب‌دیده k
 AA_{lkmnd} : تعداد مصدومان d جابه‌جا شده از مرکز آسیب‌دیده k به مرکز درمانی m با وسیله نقلیه l
 A_{lknnd} : تعداد مصدومان d جابه‌جا شده از مرکز آسیب‌دیده k به بیمارستان n با وسیله نقلیه l
 b_{kc} : مقدار کمبود کالای نوع c در مرکز آسیب‌دیده k
 e_{kd} : تعداد مصدومان رسیدگی نشده در مرکز آسیب‌دیده k از نوع d
 ZZ_j : اگر مرکز توزیع در j تأسیس شود، مقدار 1 ؛ در غیر این صورت صفر
 H_m : اگر مرکز درمانی در m تأسیس شود، مقدار 1 ؛ در غیر این صورت صفر
 X'_{lij} : اگر وسیله نقلیه l از تأمین‌کننده i به مرکز توزیع j برود، مقدار 1 ؛ در غیر این صورت صفر
 X''_{lijz} : اگر وسیله نقلیه l از توزیع‌کننده z به مرکز توزیع j برود، مقدار 1 ؛ در غیر این صورت صفر
 X'''_{ljk} : اگر وسیله نقلیه l از توزیع‌کننده z به مرکز آسیب‌دیده k برود، مقدار 1 ؛ در غیر این صورت صفر
 $X''''_{ljk'k'}$: اگر وسیله نقلیه l از مرکز آسیب‌دیده k به مرکز آسیب‌دیده k' برود، مقدار 1 ؛ در غیر این صورت صفر
 X^{Δ}_{lkm} : اگر وسیله نقلیه l از مرکز آسیب‌دیده k به مرکز درمانی m برود، مقدار 1 ؛ در غیر این صورت صفر
 X^{Γ}_{lkn} : اگر وسیله نقلیه l از مرکز آسیب‌دیده k به بیمارستان n برود مقدار 1 در غیر این صورت 0

مدل ریاضی. کمینه‌سازی هزینه‌های مربوط به هزینه‌های تأسیس مراکز توزیع، هزینه‌های تأسیس مراکز درمانی، هزینه ثابت به کارگیری وسیله نقلیه برای حمل، هزینه خرید کالا، هزینه حمل از تأمین‌کنندگان به مراکز توزیع، هزینه حمل بین مراکز توزیع، هزینه حمل از مراکز توزیع به مناطق آسیب‌دیده، هزینه حمل میان مراکز آسیب‌دیده، هزینه حمل مصدومان به بیمارستان، هزینه حمل مصدومان به مراکز درمانی، هزینه نگهداری موجودی در مناطق آسیب‌دیده، هزینه کمبود در مناطق آسیب‌دیده و هزینه عدم‌رسیدگی به مصدومان است.

تابع هدف

(۱)

$$\begin{aligned}
MIN ZC = & \sum_j f_j * ZZ_j \\
& + \sum_m V_m * H_m \\
& + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \sum_m \sum_n FV_l * (X_{lij}^l + X_{ljk}^r + X_{lkm}^d + X_{lkn}^f) \\
& + \sum_i \sum_j \sum_c \sum_l \sum_{j' \neq j} \Phi_{ic} * (Q_{lijc} + Q_{lijj'c}) \\
& + \sum_i \sum_j \sum_c \sum_l \delta_{Lijc} * Q_{lijc} \\
& + \sum_i \sum_j \sum_c \sum_l \sum_{j' \neq j} \delta'_{lijj'c} * Q_{lijj'c} \\
& + \sum_c \sum_j \sum_k \sum_l CC_{Ljkc} * Y_{ljkc} \\
& + \sum_c \sum_j \sum_k \sum_l \sum_{K' \neq K} CCC_{ljkk'c} * Y^1_{ljkk'c} \\
& + \sum_k \sum_n \sum_d \sum_l U_{knd} * A_{lknd} \\
& + \sum_k \sum_m \sum_d \sum_l Z_{kmd} * AA_{lkmd} \\
& + \sum_c \sum_k h_{kc} * X_{kc} \\
& + \sum_c \sum_k \eta_{kc} * b_{kc} \\
& + \sum_d \sum_k \alpha_d * e_{kd}
\end{aligned}$$

محدودیت‌های مدل ریاضی ارائه شده به صورت زیر فرمول بندی شده است:

(۲)

$$\sum_l \sum_j Q_{lijc} + \sum_l \sum_{j' \neq j} \sum_j Q'_{lijj'c} \leq capp_{ic} \quad \forall i, c$$

محدودیت ۲: میزان کالایی که می‌توان از تأمین کننده تأمین کرد از ظرفیت تولید آن کمتر باشد.

$$\sum_l \sum_i \sum_c Q_{lijc} + \sum_l \sum_{j' \neq j} \sum_c \sum_i Q'_{lijj'c} \leq ccap_j \quad \forall j \quad (۳)$$

محدودیت ۳: میزان کالایی که می‌توان از تأمین‌کننده تأمین کرد از ظرفیت مرکز توزیع کمتر باشد.

$$\sum_l \sum_i Q_{lijc} + \sum_l \sum_{j' \neq j} \sum_i Q'_{lij'jc} = \sum_l \sum_k Y_{ljk} + \sum_l \sum_{k' \neq k} \sum_K Y^1_{ljk'kc} \quad \forall j, c \quad (4)$$

محدودیت ۴: بالانس موجودی در انبار مرکز توزیع برای محصولات امدادی

$$\sum_l \sum_j Y_{ljk} + \sum_l \sum_{k' \neq k} \sum_j Y^1_{ljk'kc} = dem_{kc} + X_{kc} - b_{kc} \quad \forall k, c \quad (5)$$

محدودیت ۵: بالانس تقاضای مناطق آسیب‌دیده از کالاهای امدادی

$$\sum_l \sum_m AA_{lkmd} + e_{kd} = o_{kd} \quad \forall k, d \in d1 \quad (6)$$

محدودیت ۶: محدودیت رسیدگی به مصدومان نوع خفیف مناطق آسیب‌دیده

$$\sum_l \sum_n A_{lknd} + e_{kd} = o_{kd} \quad \forall k, d \in d^2 \quad (7)$$

محدودیت ۷: محدودیت رسیدگی به مصدومان جدی مناطق دچار بحران

$$\beta_{kd} \sum_l \sum_m AA_{lkmd} + (1 - \beta_{kd}) * \sum_l \sum_n A_{lknd} \leq o_{kd} \quad \forall k, d \quad (8)$$

محدودیت ۸: محدودیت طبقه‌بندی مصدومان در اثر بحران

$$\sum_l \sum_k AA_{lkmd} \leq se_{md} \quad \forall m, d \quad (9)$$

محدودیت ۹: محدودیت ظرفیت پذیرش بیماران در مرکز درمانی m

$$\sum_l \sum_k A_{lknd} \leq ca_{nd} \quad \forall n, d \quad (10)$$

محدودیت ۱۰: محدودیت ظرفیت پذیرش بیماران در بیمارستان n

$$\begin{aligned}
 & \sum_j f_j * ZZ_j + \sum_i \sum_j \sum_c \sum_l \sum_{j' \neq j} \Phi_{ic} * (Q_{lijc} + Q'_{lijj'c}) \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \sum_m \sum_n FV_l * (X'_{lij}) \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_c \sum_l \delta_{ijc} * Q_{lijc} \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_c \sum_l \sum_{j' \neq j} \delta'_{lijj'c} * Q'_{lijj'c} \leq B.
 \end{aligned}
 \tag{۱۱}$$

محدودیت ۱۱: محدودیت بودجه قبل بحران

$$\begin{aligned}
 & \sum_m V_m * H_m + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \sum_m \sum_n FV_l * (X^{\Delta}_{lkm} + X^{\epsilon}_{lkn} + X^{\Gamma}_{ljk}) \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_c \sum_l \sum_{j' \neq j} \Phi_{ic} * (Q_{lijc} + Q'_{lijj'c}) \\
 & + \sum_c \sum_j \sum_k \sum_l CC_{ljk} * Y_{ljk} \\
 & + \sum_c \sum_j \sum_k \sum_l \sum_{K' \neq K} CCC_{ljkK'c} * Y^1_{ljk'kc} \\
 & + \sum_k \sum_n \sum_d \sum_l U_{knd} * A_{lkn} + \sum_k \sum_m \sum_d \sum_l Z_{kmd} * AA_{lkm} \\
 & + \sum_c \sum_k h_{kc} * X_{kc} + \sum_c \sum_k \eta_{kc} * b_{kc} + \sum_d \sum_k \alpha_d * e_{kd} \\
 & \leq B,
 \end{aligned}
 \tag{۱۲}$$

محدودیت ۱۲: محدودیت بودجه بعد بحران

$$\sum_c Q_{lijc} \leq MM * X'_{lij} \quad \forall l, i, j
 \tag{۱۳}$$

محدودیت ۱۳: محدودیت ارتباط بین مسیریابی و میزان کالای انتقال داده‌شده از تأمین‌کننده به مرکز توزیع

$$\sum_c Q_{lijj'} \leq MM * X_{lijj'}^y \quad \forall l, i, j, j' \neq j \quad (14)$$

محدودیت ۱۴: محدودیت ارتباط بین مسیریابی و میزان کالای انتقال داده‌شده از تأمین‌کننده به مرکز توزیع

$$\sum_c Y_{ljk} \leq MM * X_{ljk}^r \quad \forall l, j, k \quad (15)$$

محدودیت ۱۵: محدودیت ارتباط بین مسیریابی و میزان کالای انتقال داده‌شده از توزیع‌کننده به مناطق آسیب‌دیده

$$\sum_c Y_{ljk'k'}^1 \leq MM * X_{ljk'k'}^f \quad \forall l, j, k, k' \neq k \quad (16)$$

محدودیت ۱۶: محدودیت ارتباط بین مسیریابی و میزان کالای انتقال داده‌شده از توزیع‌کننده به مناطق آسیب‌دیده

$$\sum_j X_{lij}^1 \leq 1 \quad \forall l, i \quad (17)$$

محدودیت ۱۷: محدود کردن تعداد دفعات خروج وسیله نقلیه از تأمین‌کننده

$$\begin{aligned} \sum_L X_{lij}^1 + \sum_{j' \neq j} \sum_L X_{lij'}^y &\leq 1 \quad \forall i, j \\ \sum_{j' \neq j} \sum_L X_{lij'}^y &\leq 1 \quad \forall i, j \end{aligned} \quad (18)$$

محدودیت ۱۸: محدود کردن تعداد دفعات ورود وسیله نقلیه به مرکز توزیع

$$\sum_i \sum_L X_{lij}^1 + \sum_i \sum_{j' \neq j} \sum_L X_{lij'}^y = \sum_k \sum_l X_{ljk}^r + \sum_i \sum_{j' \neq j} \sum_L X_{lij'}^y \quad \forall j \quad (19)$$

محدودیت ۱۹: بالانس ورودی و خروجی وسیله نقلیه به مرکز توزیع

$$\sum_k X_{ljk}^r \leq 1 \quad \forall l, j \quad (20)$$

محدودیت ۲۰: محدود کردن تعداد دفعات ورود وسیله نقلیه به مرکز آسیب‌دیده

$$\sum_i \sum_l X_{lij}^1 + \sum_i \sum_{j' \neq j} \sum_l X_{lij'}^1 = ZZ_j \quad \forall j \quad (21)$$

محدودیت ۲۱: محدودیت احداث مراکز توزیع

$$\sum_l \sum_k \sum_d AA_{lkmd} \leq MM * H_m \quad \forall m \quad (22)$$

محدودیت ۲۲: محدودیت احداث مراکز درمانی

$$\sum_i X_{lij}^1 \geq \sum_i \sum_{j' \neq j} X_{lij'}^1 \quad \forall j, l \quad (23)$$

محدودیت ۲۳: ضرورت مسیریابی ابتدای دوره مراکز توزیع

$$\sum_j X_{ljk}^1 \geq \sum_j \sum_{k' \neq k} X_{ljk'}^1 \quad \forall l, k \quad (24)$$

محدودیت ۲۴: ضرورت مسیریابی ابتدای دوره برای بحران

$$\sum_d AA_{lkmd} \leq MM * X_{lkm}^2 \quad \forall l, k, m \quad (25)$$

محدودیت ۲۵: مسیریابی بین منطقه آسیب‌دیده و مرکز درمانی

$$\sum_d A_{lknd} \leq MM * X_{lkn}^2 \quad \forall l, k, n \quad (26)$$

محدودیت ۲۶: مسیریابی بین منطقه آسیب‌دیده و بیمارستان

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

روش‌های حل مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری. از آنجاکه در مسائل تک‌هدفه، فقط یک تابع هدف وجود دارد، بهترین جواب در آن جوابی است که با توجه به نوع تابع هدف (Max یا Min) بیشترین یا کمترین مقدار تابع هدف را ایجاد کند. در این کار برای صحنه‌گذاری مدل در

ابعاد کوچک از نرم‌افزار گمز استفاده شد و برای صحت‌گذاری در ابعاد بزرگ‌تر، الگوریتم‌های ژنتیک و رقابت استعماری به کار رفت.

نحوه نمایش کروموزوم. نحوه نمایش کروموزوم در کلیه الگوریتم‌های استفاده‌شده در این پژوهش به صورت یک ماتریس یک در n که شامل اعدادی بین صفر و یک است که اندازه این ماتریس با توجه به تعداد متغیرها و ابعاد هر متغیر به دست می‌آید؛ به این صورت که با توجه به تعداد متغیرهای مستقل ابعاد هر متغیر محاسبه می‌شود و با ضرب کردن اندیس‌های این ابعاد در هم تعداد ژن‌های موردنیاز هر متغیر به دست خواهد آمد. با جمع کردن این ابعاد، اندازه کروموزوم اصلی به دست می‌آید. برای مثال در مدل‌سازی ریاضی این پژوهش داریم:

$$X_{ij} \rightarrow i=2, j=2 \rightarrow i \times j = 2 \times 2 = 4$$

X_{ij} متغیری صفر و یک در مدل ریاضی تعریف شده است. پس تعداد ژن‌های موردنیاز X_{ij} در کروموزوم ۴ ژن است؛ همچنین برای متغیر Q_{ik} که داری دو بُعد است داریم:

$$Q_{ik} \rightarrow i=2, k=3 \rightarrow i \times k = 2 \times 3 = 6$$

Q_{ik} متغیری عدد صحیح است. پس تعداد ژن‌های موردنیاز Q_{ij} در کروموزوم ۶ ژن است. پس اندازه کروموزوم با جمع کردن ۴ به اضافه ۶ به دست می‌آید که ۱۰ است؛ پس داریم:

جدول ۱. نحوه نمایش کروموزوم

۰/۲۳	۰/۵۴	۰/۴۴	۰/۷۵	۰/۸۷	۰/۱۹	۰/۶۳	۰/۹۸	۰/۵	۰/۴۹
------	------	------	------	------	------	------	------	-----	------

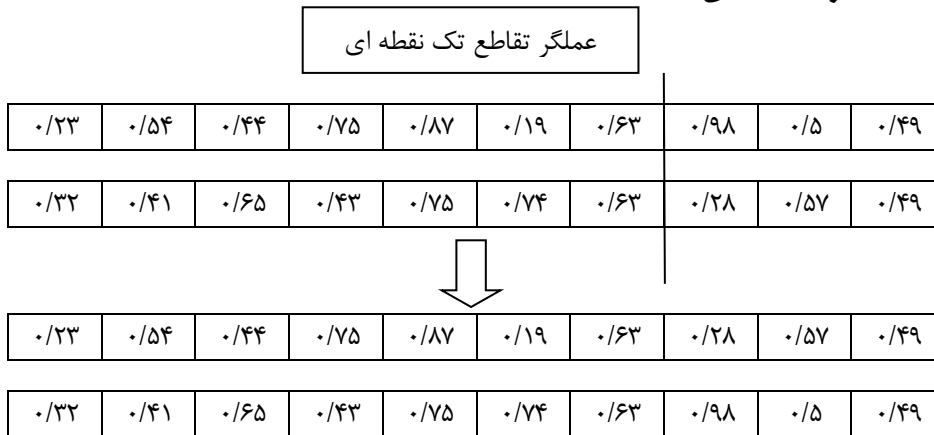
عملگرها
عملگرهای الگوریتم ژنتیک
عملگر تقاطع دو نقطه‌ای

عملگر تقاطع دو نقطه‌ای

۰/۲۳	۰/۵۴	۰/۴۴	۰/۷۵	۰/۸۷	۰/۱۹	۰/۶۳	۰/۹۸	۰/۵	۰/۴۹
۰/۳۲	۰/۴۱	۰/۶۵	۰/۴۳	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۶۳	۰/۲۸	۰/۵۷	۰/۴۹
۰/۲۳	۰/۵۴	۰/۴۴	۰/۴۳	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۶۳	۰/۲۸	۰/۵۷	۰/۴۹
۰/۳۲	۰/۴۱	۰/۶۵	۰/۷۵	۰/۸۷	۰/۱۹	۰/۶۳	۰/۹۸	۰/۵	۰/۴۹

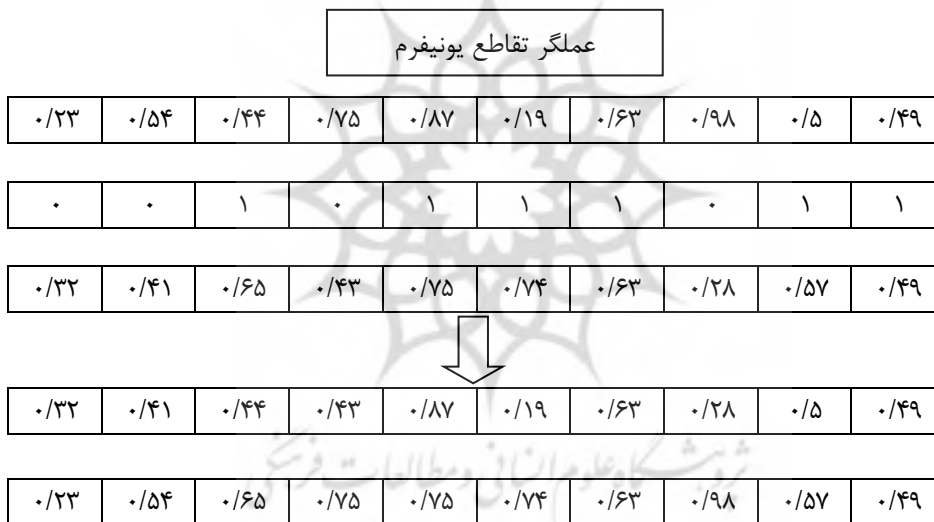
شکل ۲. عملگر تقاطع دو نقطه‌ای

عملگر تک نقطه‌ای



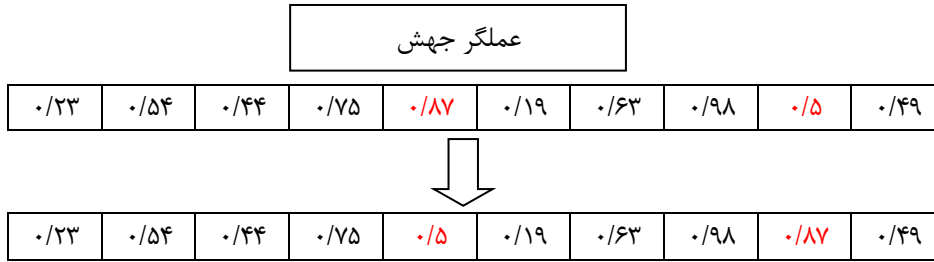
شکل ۳. عملگر تقاطع تک نقطه‌ای

تقاطع یونیفرم



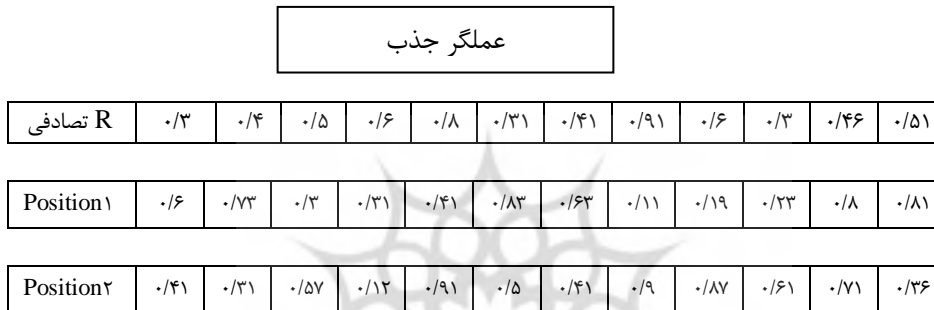
شکل ۴. عملگر تقاطع یونیفرم

عملگر جهش



شکل ۵. عملگر جهش

عملگرهای الگوریتم رقابت استعماری
عملگر جذب



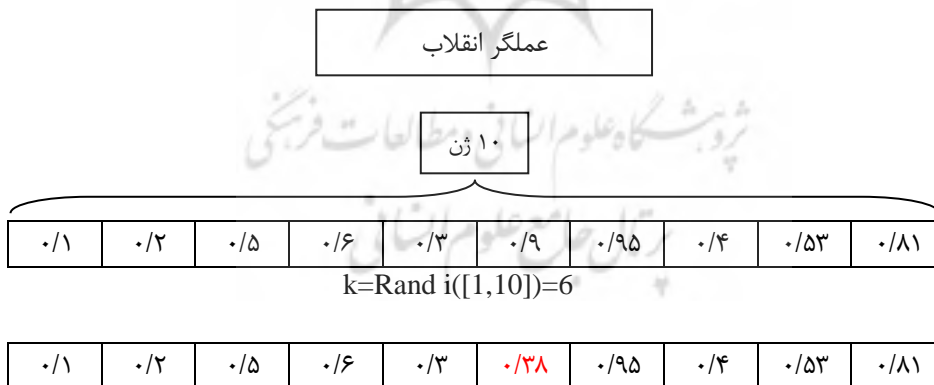
$$d = \text{position}_1 - \text{position}_2$$

$$x = \text{beta} \times d \times R$$

$$\text{position}_2 = \text{position}_2 + x$$

شکل ۶. عملگر جذب

عملگر انقلاب



شکل ۷. عملگر انقلاب

ژن ششم

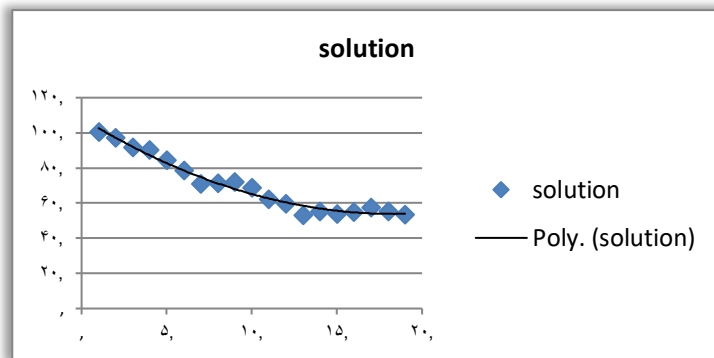
تنظیم پارامتر. منظور از تنظیم پارامتر، انتخاب بهترین مقدار برای پارامترها به نحوی است که عملکرد الگوریتم در سطح بهینه قرار گیرد؛ بنابراین پارامترهای هر الگوریتم تأثیر زیادی بر کارایی و اثربخشی الگوریتم (رسیدن به جواب مناسب در زمان مناسب) دارند. تنظیم نامناسب پارامترها ممکن است موجب به دست آمدن نتایج نامناسبی در مسئله مورد مطالعه شود. الگوریتم پیشنهادی این پژوهش، الگوریتم ژنتیک است که به صورت کامل تنظیم پارامتر برای الگوریتم ژنتیک را نشان داده خواهد شد.

پارامترهای تنظیم کننده الگوریتم ژنتیک عبارت‌اند از: اندازه جامعه اولیه (pop_{size})؛ نرخ تقاطع (p_c)؛ نرخ جهش (p_m) و حداکثر تعداد نسل‌ها ($iter_max$). هر یک از این پارامترها در بازه خاصی از مقادیر خود بر شاخص‌های محاسباتی اثر می‌گذارند. شاخص‌های محاسباتی مورد نظر، میانگین مقادیر تابع هدف برای جواب‌های بهینه و میانگین زمان محاسباتی آن‌ها در ۱۰ تکرار از الگوریتم است.

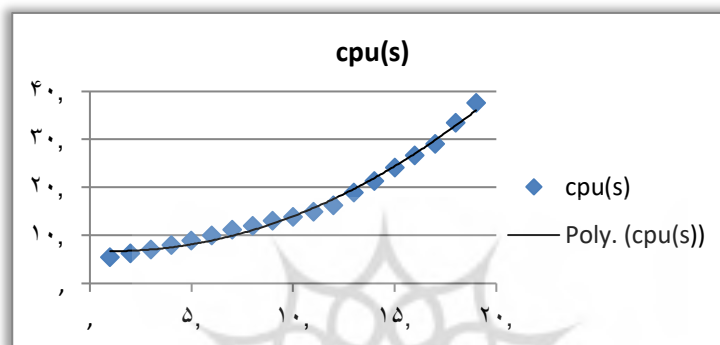
در این قسمت ابتدا برای هر یک از پارامترها محدوده مؤثرشان مشخص شده و سپس از طریق طراحی آزمایش‌های چند عاملی با استفاده از روش تاگوچی به بررسی و تحلیل اثرات متقابل پارامترها پرداخته می‌شود و در نهایت ترکیب بهینه^۱ معین خواهد شد.

اندازه جامعه اولیه. یکی از مهم‌ترین پارامترهای الگوریتم ژنتیک اندازه جامعه اولیه است. اندازه‌های کوچک به علت کوچک بودن محدوده جست‌وجو رسیدن به جواب مورد نظر را تضمین نمی‌کند؛ در مقابل اندازه‌های بزرگ احتمال رسیدن به جواب مناسب در زمان مناسب را کاهش می‌دهد. به همین منظور آزمایش‌های متعددی برای سطوح مختلف از این پارامتر صورت گرفته و تأثیر آن بر کیفیت جواب‌ها در شکل ۸ و زمان حل در شکل ۹، نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲، کیفیت جواب‌ها تا رسیدن به اندازه ۹۰ افزایش می‌یابد و بعد از آن تأثیر کیفی خود را از دست می‌دهد و جواب‌ها به مقدار ثابتی همگرا می‌شوند. با توجه به شکل ۳، افزایش اندازه جامعه باعث افزایش زمان حل می‌شود.

۱. Optimal Combination



شکل ۸. کیفیت جواب‌ها و اندازه جامعه



شکل ۹. زمان محاسباتی و اندازه جامعه

تقاطع. آزمایش‌های انجام‌گرفته برای تعیین نرخ تقاطع، در محدوده عددی $0/45$ تا $0/90$ است. نتایج نشان می‌دهند که کیفیت جواب‌ها با افزایش نرخ تقاطع تا مقدار $0/7$ افزایش می‌یابد و سپس به یک مقدار ثابت همگرا می‌شود. با افزایش نرخ تقاطع زمان حل نیز کمی افزایش می‌یابد.

نرخ جهش. آزمایش‌های انجام‌گرفته برای تعیین نرخ جهش، با مقادیر $0/05$ ، $0/08$ ، $0/10$ ، $0/15$ ، $0/18$ و $0/20$ است. بهترین حالت جواب‌ها در بازه‌ی $0/20$ تا $0/40$ دیده می‌شوند.

حداکثر تعداد نسل‌ها. با افزایش تعداد نسل‌ها زمان حل نیز افزایش می‌یابد. محدوده مناسب این پارامتر بازه 200 تا 400 در نظر گرفته می‌شود. در این قسمت با افزایش تعداد نسل به محدوده‌های بالا و آزمون آن‌ها، جواب‌های بهتری حاصل می‌شود. این جواب‌ها از سطح 200 به بالا ثابت یا به عبارتی همگرا می‌شود؛ بنابراین برای صرفه‌جویی در زمان سطح 200 به‌عنوان

سطح مؤثر در نظر گرفته شد. محدوده‌های به‌دست‌آمده برای پارامترها در جدول ۲، ارائه شده است.

جدول ۲. پارامترهای کنترل‌کننده الگوریتم ژنتیک و محدوده مؤثر آن

پارامترها	محدوده‌ی مؤثر
اندازه جامعه اولیه (pop_{size})	۴۰-۶۰
نرخ تقاطع (P_c)	۰/۶-۰/۸
نرخ جهش (P_m)	۰/۲۰-۰/۴۰
حداکثر تعداد نسل ($iter_{max}$)	۲۰۰-۴۰۰

تنظیم پارامتر چندعاملی. برای دستیابی به بهترین ترکیب پارامترها، به‌وسیله روش تاگوچی هر کدام از چهار عامل ذکر شده در بخش قبل در سه سطح موردآزمون قرار می‌گیرد و میانگین جواب‌ها و میانگین زمان‌های محاسباتی به‌عنوان سطوح پاسخ در نظر گرفته می‌شود. عامل‌ها و سطوح الگوریتم ژنتیک در جدول ۳، نشان داده شده است. داده‌های تولیدشده توسط نرم‌افزار MINITAB 16 تحلیل شده و نتایج در جدول ۳، ارائه شده است.

جدول ۳. عوامل و سطوح آن‌ها

پارامترها	سطوح
اندازه جامعه اولیه (pop_{size})	۴۰، ۵۰، ۶۰
نرخ تقاطع (P_c)	۰/۶، ۰/۷، ۰/۸
نرخ جهش (P_m)	۰/۲۰، ۰/۳۰، ۰/۴۰
حداکثر تعداد نسل ($iter_{max}$)	۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰

ترکیب عوامل به همراه زمان حل آن‌ها و مقدارشان در جدول ۴، آورده شده است.

جدول ۴. ترکیب عوامل و سطوح پاسخ مربوطه در آزمایش‌های چندعاملی

pop_{size}	P_c	P_m	$iter_{max}$	Solution	CPU(s)
۴۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۲۰۰	۸۵/۶۱	۹/۴۶
۴۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۳۰۰	۸۴/۹۸	۱۱/۶
۴۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۴۰۰	۸۴/۰۱	۱۴/۱۸
۴۰	۰/۷۰	۰/۳۰	۲۰۰	۸۳/۱۱	۹/۷۷
۴۰	۰/۷۰	۰/۳۰	۳۰۰	۷۰/۸۴	۱۱/۸۷
۴۰	۰/۷۰	۰/۳۰	۴۰۰	۵۷/۵	۱۵/۴۱
۴۰	۰/۸۰	۰/۴۰	۲۰۰	۷۷/۲	۱۰/۳۸
۴۰	۰/۸۰	۰/۴۰	۳۰۰	۶۶/۲۹	۱۲/۳۹

popsize	p _c	p _m	iter_max	Solution	CPU(s)
۴۰	۰/۸۰	۰/۴۰	۴۰۰	۶۵/۱۸	۱۵/۷۷
۵۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۲۰۰	۸۰/۶۲	۱۱/۱۶
۵۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۳۰۰	۶۰/۶۲	۱۲/۸۹
۵۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۴۰۰	۵۹/۷۲	۱۶/۰۹
۵۰	۰/۷۰	۰/۳۰	۲۰۰	۶۱/۵۸	۱۱/۸۶
۵۰	۰/۷۰	۰/۳۰	۳۰۰	۵۳/۳۵	۱۳/۰۷
۵۰	۰/۷۰	۰/۳۰	۴۰۰	۵۰/۷۱	۱۶/۶۳
۵۰	۰/۸۰	۰/۴۰	۲۰۰	۷۶/۰۱	۱۲/۰۱
۵۰	۰/۸۰	۰/۴۰	۳۰۰	۵۲/۶۵	۱۳/۴۹
۵۰	۰/۸۰	۰/۴۰	۴۰۰	۴۸/۰۵	۱۷/۱۱
۶۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۲۰۰	۷۱/۷۴	۱۲/۹۸
۶۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۳۰۰	۶۲/۶۱	۱۴/۴۹
۶۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۴۰۰	۶۲/۱۱	۱۸/۱۲
۶۰	۰/۷۰	۰/۳۰	۲۰۰	۶۵/۵۹	۱۳/۰۱
۶۰	۰/۷۰	۰/۳۰	۳۰۰	۵۸/۵۹	۱۵/۱۱
۶۰	۰/۷۰	۰/۳۰	۴۰۰	۴۶/۶۷	۱۸/۸۶
۶۰	۰/۸۰	۰/۴۰	۲۰۰	۷۴/۶۷	۱۳/۳۶
۶۰	۰/۸۰	۰/۴۰	۳۰۰	۵۸/۷۹	۱۵/۲۶
۶۰	۰/۸۰	۰/۴۰	۴۰۰	۵۷/۷۴	۱۹/۰۱

جدول ۵. ضرایب همبستگی تخمینی مدل برای نسبت‌های سیگنال به نویز

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Iter_max	۲	۳/۰۳۶۸	۳/۰۳۶۸	۱/۵۱۸۴۰	۱۵/۸۱	۰/۰۰۰
Pm	۲	۰/۲۷۷۳	۰/۲۷۷۳	۰/۱۳۸۶۶	۱/۴۴	۰/۲۶۲
Pc	۲	۱/۶۰۵۹	۱/۶۰۵۹	۰/۸۰۲۹۳	۸/۳۶	۰/۰۰۳
Popsize	۲	۲/۲۰۱۷	۲/۲۰۱۷	۱/۱۰۰۸۴	۱۱/۴۷	۰/۰۰۱
Residual Error	۱۸	۱/۷۲۸۳	۱/۷۲۸۳	۰/۰۹۶۰۲		
Total	۲۶	۸/۸۵۰۰				

جدول ۶. تحلیل واریانس برای نسبت‌های سیگنال به نویز

Term	Coef	SE Coef	T	P
Cnst.	۲/۶۸۶۲	۰/۰۵۹۶۳	۴۸۰/۳۷۱	۰/۰۰۰
۷۰Iter_max	۰/۱۰۷۲	۰/۰۸۴۳۳	۱/۲۷۲	۰/۲۲۰
۸۵Iter_max	۰/۳۴۶۵	۰/۰۸۴۳۳	۴/۱۰۸	۰/۰۰۱
۰/۱۰P _m	-۰/۰۸۰۵	۰/۰۸۴۳۳	-۰/۹۵۴	۰/۳۵۳
۰/۱۵P _m	۰/۱۴۲۹	۰/۰۸۴۳۳	۱/۶۹۵	۰/۱۰۷
۰/۵P _c	-۰/۲۹۲۰	۰/۰۸۴۳۳	-۳/۴۶۲	۰/۰۰۳
۰/۶P _c	۰/۳۰۵۰	۰/۰۸۴۳۳	۳/۶۱۶	۰/۰۰۲
۷۰Popsiz	-۰/۱۱۲۲	۰/۰۸۴۳۳	-۱/۳۳۱	۰/۲۰۰
۸۰Popsiz	۰/۳۹۲۱	۰/۰۸۴۳۳	۴/۶۴۹	۰/۰۰۰

جدول ۷، نشان دهنده ضریب همبستگی فاکتورها برای نسبت‌های SN^۱ و جدول ۸، نشان دهنده ضریب همبستگی عامل‌ها برای میانگین پاسخ‌ها است. در این جدول‌ها ضرایب با مقدار قدر مطلق بزرگ‌تر دارای اهمیت بیشتری هستند. همان‌طوری که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، در سطح اطمینان ۹۵ درصد عامل‌های 85 iter_max، P_c 0/6، تأثیر معناداری بر پاسخ‌ها دارند؛ همچنین برای عامل‌ها، آزمایش تحلیل واریانس نسبت به ضرایب SN و میانگین پاسخ‌ها صورت گرفت که نتایج آن در جدول‌های ۹ و ۱۰، ارائه شده و نشان‌دهنده اثر معنادار سه عامل iter_max، P_c و Popsiz در سطح ۹۵ درصد بر پاسخ‌ها است.

جدول ۷. ضرایب همبستگی تخمینی مدل برای میانگین پاسخ‌ها

P	T	SE Coef	Coef	Term
۰/۰۰۰	۱۴۷/۳۱۴	۰/۱۸۴۱	۲۷/۱۱۷۶	Cnst.
۰/۲۶۰	۱/۱۶۳	۰/۲۶۰۳	۰/۳۰۲۷	Iter_max 70
۰/۰۰۱	۴/۱۸۹	۰/۲۶۰۳	۱/۰۹۰۵	Iter_max 85
۰/۳۰۹	-۱/۰۴۷	۰/۲۶۰۳	-۰/۲۷۲۶	P _m 0/10
۰/۰۹۱	۱/۷۸۶	۰/۲۶۰۳	۰/۴۶۵۰	P _m 0/15
۰/۰۰۳	-۳/۴۶۵	۰/۲۶۰۳	-۰/۹۰۲۱	P _c 0/5
۰/۰۰۲	۳/۶۲۱	۰/۲۶۰۳	۰/۹۴۲۷	P _c 0/6
۰/۱۸۴	-۱/۳۸۳	۰/۲۶۰۳	-۰/۳۶۰۰	Popsiz 70
۰/۰۰۰	۴/۷۷۴	۰/۲۶۰۳	۱/۲۴۲۸	Popsiz 80

جدول ۸. تحلیل واریانس برای میانگین پاسخها

P	F	Adj MS	Adj SS	Seq SS	DF	Source
./۰۰۰	۱۵/۸۵	۱۴/۴۹۸۳	۲۸/۹۹۷	۲۸/۹۹۷	۲	Iter_max
./۲۲۷	۱/۶۱	۱/۴۷۴۰	۲/۹۴۸	۲/۹۴۸	۲	Pm
./۰۰۳	۸/۳۸	۷/۶۶۸۸	۱۵/۳۳۸	۱۵/۳۳۸	۲	Pc
./۰۰۰	۱۲/۰۷	۱۱/۰۳۹۹	۲۲/۰۸۰	۲۲/۰۸۰	۲	Popsize
		۰/۹۱۴۹	۱۶/۴۶۸	۱۶/۴۶۸	۱۸	Residual Error
				۸۵/۸۳۱	۲۶	Total

جدول‌های ۹ و ۱۰، رتبه‌بندی عامل‌ها را با توجه به تحلیل پاسخ نسبت به ضرایب SN و میانگین نشان می‌دهد.

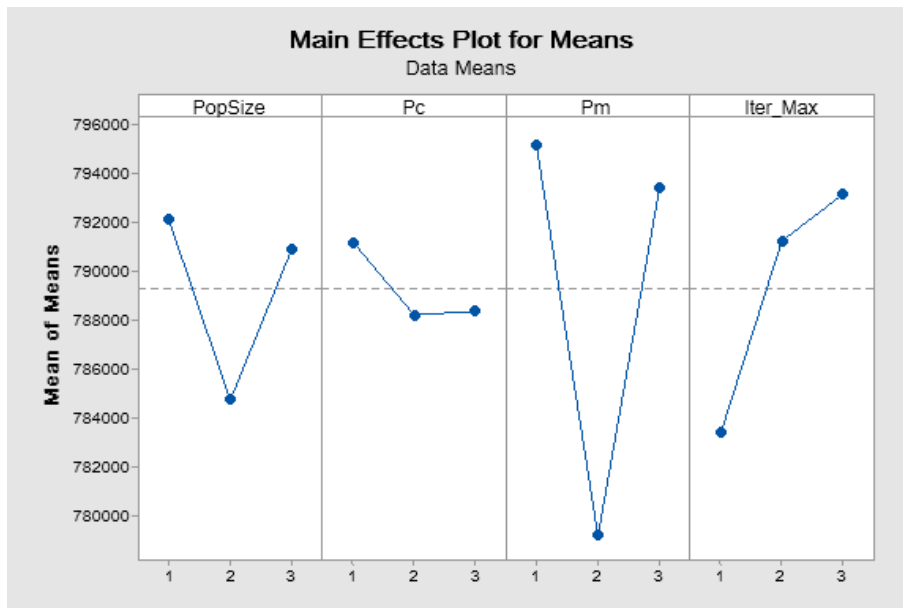
جدول ۹. پاسخ SN

popsize	p _c	p _m	Iter_max	Level
۲۸/۵۳	۲۸/۳۵	۲۸/۵۷	۲۸/۷۵	۱
۲۹/۰۴	۲۸/۹۵	۲۸/۷۹	۲۸/۹۹	۲
۲۸/۳۷	۲۸/۶۳	۲۸/۵۸	۲۸/۱۹	۳
۰/۶۷	۰/۶۰	۰/۲۲	۰/۸۰	Delta
۲	۳	۴	۱	Rank

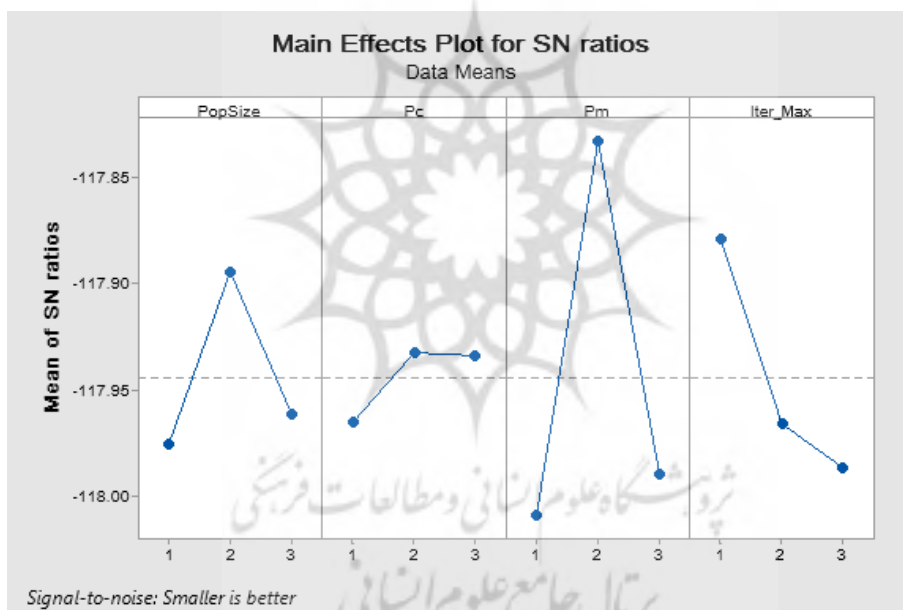
جدول ۱۰. پاسخ میانگین‌ها

popsize	p _c	p _m	Iter_max	Level
۲۶/۷۶	۲۶/۲۲	۲۶/۸۴	۳۷/۴۲	۱
۲۸/۳۶	۲۸/۰۶	۲۷/۵۸	۲۸/۲۱	۲
۲۶/۳۳	۳۷/۰۸	۲۶/۹۳	۲۵/۷۲	۳
۲/۱۳	۱/۸۴	۰/۷۴	۲/۴۸	Delta
۲	۳	۴	۱	Rank

اثرات متقابل فاکتورها برای میانگین پاسخها و نسبت به ضرایب SN در شکل‌های ۱۰ و ۱۱، نشان داده شده است.



شکل ۱۰. پاسخ میانگین‌ها



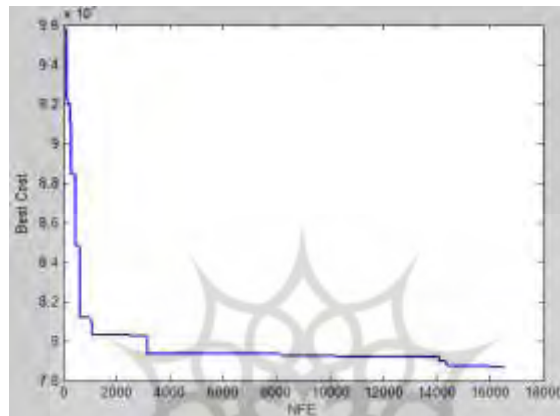
شکل ۱۱. پاسخ ضرایب SN

با توجه به آزمایش‌های انجام‌شده، پارامترهای الگوریتم ژنتیک به صورت جدول ۱۱، است.

جدول ۱۱. مقادیر تنظیم‌شده پارامترهای ژنتیک

سطوح	پارامترها
۵۰	اندازه جامعه اولیه (pop_{size})
۰/۷۰	نرخ تقاطع (p_c)
۰/۳	نرخ جهش (p_m)
۲۰۰	حداکثر تعداد نسل ($iter_{max}$)

بررسی همگرایی الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده. به منظور بررسی همگرایی الگوریتم ژنتیک ارائه شده مسائل متعددی انتخاب شد که در شکل ۱۲، همگرایی الگوریتم ژنتیک ارائه شده است.



شکل ۱۲. نمودار همگرایی الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده

اعمال آزمایش تاگچی بر پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری. پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری در ۳ سطح در جدول ۱۲، ارائه شده است.

جدول ۱۲. پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری در ۳ سطح

سطح ۳	سطح ۲	سطح ۱	پارامتر
۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰	ماکزیم تکرار (Max decade)
۱۰	۸	۵	تعداد کشورهای استعمارگر (imp_N)
۲۰۰	۱۶۰	۱۰۰	تعداد کل کشورهای مستعمره و استعمارگر ($Countries_N$)
۳	۲/۵	۲	ضریب جذب (Beta)
۰/۸	۰/۶	۰/۱	ضریب انقلاب ($Revolution_P$)
۰/۴	۰/۳	۰/۱	ضریب قدرت (Zeta)

با توجه به وجود شش متغیر و سه سطح، از نرم‌افزار مینی تب^۱ برای اعمال آزمایش‌های تاگوچی برای تعیین مقادیر بهینه پارامترها استفاده شد. این روش ۲۷ آزمایش را به صورت جدول ۱۳، پیشنهاد می‌کند. نتیجه بر اساس سطح مشخص شده برای هر پارامتر توسط الگوریتم رقابت استعماری محاسبه شد که در جدول ۱۴، ارائه شده است.

جدول ۱۳. آزمایش‌های پیشنهادی تاگوچی برای الگوریتم رقابت استعماری

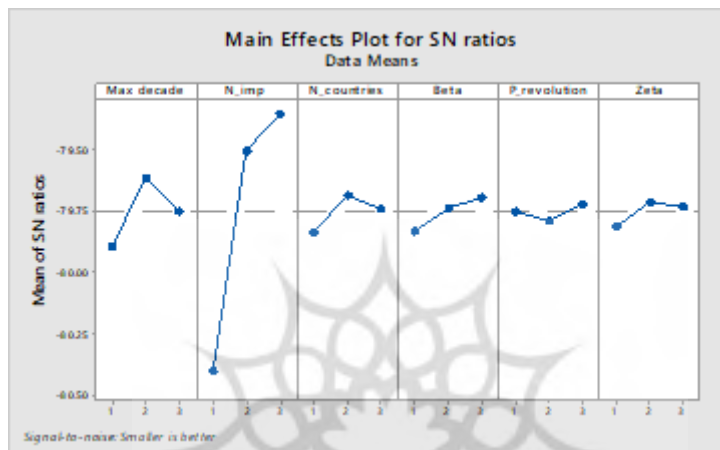
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	Max decade	N_imp	N_Countries	Beta	P_Revolution	Zeta	Objective Funcione
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۰۸۲۱
۲	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۱۱۰۹۸
۳	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۱۰۶۲۳
۴	۱	۲	۲	۲	۱	۱	۱۰۱۸۸
۵	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۹۱۴۰
۶	۱	۲	۲	۲	۳	۳	۹۲۱۹
۷	۱	۳	۳	۳	۱	۱	۹۱۷۹
۸	۱	۳	۳	۳	۲	۲	۹۴۹۶
۹	۱	۳	۳	۳	۳	۳	۹۳۹۷
۱۰	۲	۱	۲	۳	۱	۲	۹۸۷۲
۱۱	۲	۱	۲	۳	۲	۳	۱۰۵۲۴
۱۲	۲	۱	۲	۳	۳	۱	۱۰۰۶۹
۱۳	۲	۲	۳	۱	۱	۲	۹۲۳۸
۱۴	۲	۲	۳	۱	۲	۳	۹۲۷۸
۱۵	۲	۲	۳	۱	۳	۱	۹۵۷۵
۱۶	۲	۳	۱	۲	۱	۲	۹۱۷۹
۱۷	۲	۳	۱	۲	۲	۳	۹۲۷۸
۱۸	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۹۱۵۹
۱۹	۳	۱	۳	۲	۱	۳	۱۰۶۰۳
۲۰	۳	۱	۳	۲	۲	۱	۱۰۰۳۰
۲۱	۳	۱	۳	۲	۳	۲	۱۰۷۰۲
۲۲	۳	۲	۱	۳	۱	۳	۹۲۷۸
۲۳	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۹۷۹۲
۲۴	۳	۲	۱	۳	۳	۲	۹۳۳۷
۲۵	۳	۳	۲	۱	۱	۳	۹۲۵۸
۲۶	۳	۳	۲	۱	۲	۱	۹۳۷۷
۲۷	۳	۳	۲	۱	۳	۲	۹۲۳۸

۱. Minitab

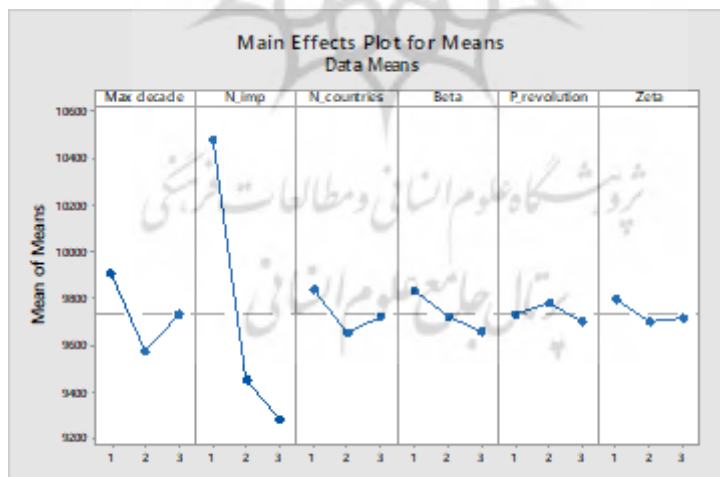
جدول ۱۴. مقادیر تنظیم‌شده پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری

Parameters	Optimum amount
Max decade	۱۵۰
N_imp	۱۰
N_Countries	۱۶۰
Beta	۳
P_Revolution	۰/۸
Zeta	۰/۳

نتیجه تحلیلی آزمایش‌های تاگوچی در شکل‌های ۱۳ و ۱۴، مشاهده می‌شود.



شکل ۱۳. نمودار نرخ سیگنال به نویز در نتیجه تحلیل نتایج آزمایش‌های تاگوچی



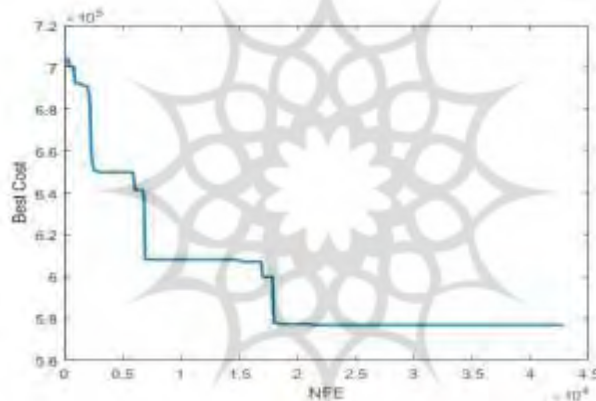
شکل ۱۴. نمودار میانگین در نتیجه تحلیل نتایج آزمایش‌های تاگوچی

هرچه نرخ سیگنال به نویز بالاتر باشد و همچنین هرچه میزان میانگین کمتر باشد، نتیجه بهتر خواهیم بود. طبق نمودارهای بالا، برای پارامترهای اول، سوم و ششم سطح دو و برای سایر پارامترها سطح سه حالت بهینه را ایجاد می‌کند و بیشترین حساسیت این طرح نسبت به تعداد کشورهای استعمارگر و کمترین میزان حساسیت به ضریب انقلاب است. در نهایت خروجی پیش‌بینی شده توسط این تحلیل در حالت بهینه، 8888.66 و $1/66$ و 8881 و سطح ۱ خواهد بود.

Taguchi Analysis: Objective Fu versus Max decade, N_imp, N_Countries, Beta, P_Revolution, ...	
Predicted values	
S/N Ratio	Mean
-79.0119	8888.66
Factor levels for Predictions.	

شکل ۱۵. تحلیل نتایج آزمایش‌های تاکوچی با الگوریتم رقابت استعماری

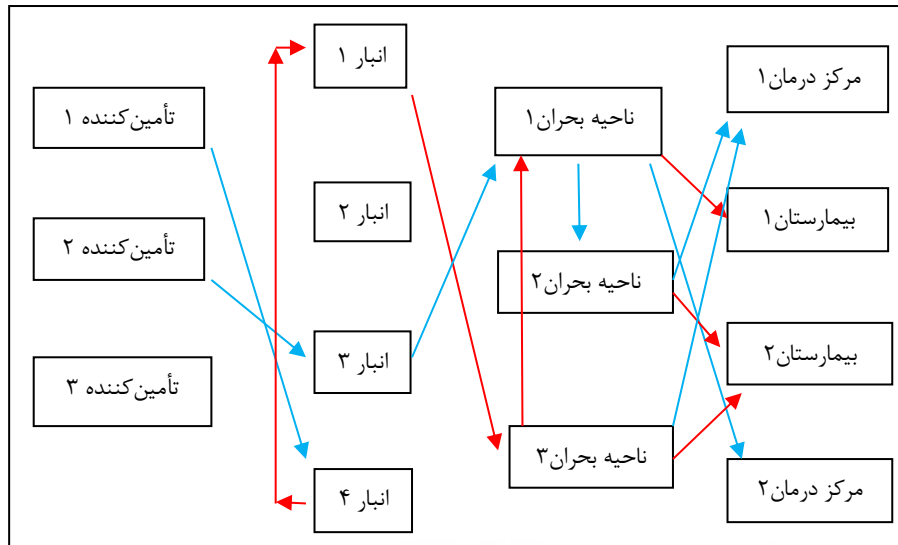
بررسی همگرایی الگوریتم رقابت استعماری. به منظور بررسی همگرایی الگوریتم رقابت استعماری ارائه شده مسائل متعددی انتخاب شد که در شکل ۱۶، همگرایی الگوریتم رقابت استعماری مشاهده می‌شود.



شکل ۱۶. نمودار همگرایی الگوریتم رقابت استعماری

نتایج محاسباتی. پردازشگر اجراکننده رایانه‌ای با مشخصات $GHZ2/30$ و $GB RAM6400$ و تحت سیستم عامل ویندوز ۷ بود. برای طراحی روش فراابتکاری از نرم‌افزار متلب استفاده شد. هر یک از مسائل ۱۰ بار به صورت تصادفی اجرا شد. در مسائل به ارائه نتایج محاسباتی حاصل از مسائل منتخب با ابعاد بزرگ‌تر پرداخته شد. از آنجاکه نرم‌افزار گمز قادر به حل مدل با ابعاد بزرگ‌تر نیست، از الگوریتم پیشنهادی برای حل مدل استفاده شد. هدف از انجام این آزمون، تعیین نحوه عملکرد الگوریتم پیشنهادی در شرایط مختلف است. نتایج جواب گمز به صورت

گرافیکی در شکل ۱۷ و نتایج عددی در جدول‌های ۱۵ و ۱۶، نشان داده شده است.



شکل ۱۷. نمایش گرافیکی گمز

جدول ۱۵. نمادهای به‌کاررفته برای مقایسه الگوریتم

زمان موردنیاز	$t(s)$
مقدار تابع هدف گمز	f_{opt}
بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم	f_{best}
متوسط مقدار تابع هدف الگوریتم	f_{avr}

جدول ۱۶. مقادیر به‌دست‌آمده از اجراهای متفاوت برای هر دو الگوریتم و گمز

Algorithm ICA			Algorithm GA			GAMS	
$t(s)$	f_{avr}	f_{best}	$t(s)$	f_{avr}	f_{best}	$t(s)$	f_{opt}
۱/۱۶۲	۱۵۴۳۲۰۰	۱۱۷۵۶۰۰	۱/۱۳۵	۱۳۴۹۲۰۰	۱۱۷۰۵۰۰	۱/۱۲	۱۱۷۰۵۰۰
۲/۴	۲۹۹۰۰۰۰	۲۳۶۰۵۲۱	۲/۳۹	۲۹۵۰۰۰۰	۲۳۵۱۳۰۲	۲/۳۷	۲۳۴۵۰۰۰
۲/۴	۵۸۳۰۰۰۰	۴۳۲۵۶۲۵	۳/۲	۴۹۸۰۰۰۰	۴۳۲۰۰۰۰	۳/۲	۴۳۲۰۰۰۰
۴/۹	۶۸۳۸۰۵۰	۵۵۰۳۲۵۰	۳/۸	۶۸۳۸۰۵۰	۵۴۷۰۳۲۵	-	-
۵/۹	۹۷۴۶۹۰۰	۸۳۲۵۶۲۵	۴/۳	۸۷۴۶۹۰۰	۸۳۳۵۶۰۲	-	-
۶/۴	۱۵۳۸۹۰۰۰	۱۲۰۰۱۱۱۵	۵/۶	۱۱۸۸۹۰۰۰	۱۱۷۰۸۱۱۵	-	-
۶/۳	۱۴۰۳۱۳۹۰	۱۳۲۳۶۰۵۰	۵/۴	۱۳۳۳۵۴۷۰	۱۳۲۳۹۷۳۰	-	-
۷/۳	۱۵۸۸۲۶۴۰	۱۴۵۳۵۸۲۰	۶/۹	۱۴۰۰۰۸۰۰	۱۳۵۹۴۷۴۰	-	-

Algorithm ICA			Algorithm GA			GAMS	
t(s)	f_{avr}	f_{best}	t(s)	f_{avr}	f_{best}	t(s)	f_{opt}
۱۱/۳	۱۹۰۱۶۴۷۰	۱۶۷۱۶۳۹۰	۹/۳	۱۵۱۱۵۳۵۰	۱۴۲۳۳۴۹۰	-	-
۱۶/۲	۳۵۵۳۳۰۹۰	۳۲۶۳۴۳۰۰	۱۴/۳	۳۱۲۷۴۲۰۰	۳۰۲۳۷۹۱۰	-	-
۱۸/۱	۳۶۲۷۴۸۳۰	۳۴۲۰۷۸۷۰	۱۷/۳	۳۵۴۷۱۱۲۰	۳۳۰۷۳۷۷۰	-	-
۳۰/۴	۴۶۶۴۱۹۳۰	۴۴۰۴۸۷۴۰	۲۳/۵	۴۲۷۱۰۶۳۰	۴۱۲۸۵۶۲۰	-	-
۵۱/۳	۷۶۰۹۳۲۹۰	۷۲۴۲۳۱۵۰	۲۷/۹	۶۸۵۵۸۶۴۰	۶۵۲۵۸۱۰۰	-	-
۶۴	۱۰۱۹۲۲۷۴۰	۹۷۱۴۶۰۹۰	۳۲/۳	۹۴۵۴۵۰۲۰	۸۹۶۵۶۶۸۰	-	-
۷۶/۳	۲۰۴۵۲۲۶۷۰	۲۰۲۳۲۲۶۲۰	۴۴/۷	۱۹۳۳۳۲۰۲۰	۱۸۲۸۷۶۵۸۰	-	-
۸۵/۲	۲۴۱۷۹۱۳۳۰	۲۳۸۴۹۶۹۹۰	۷۱/۷	۲۳۲۰۲۳۷۷۰	۲۲۱۷۰۳۵۲۰	-	-
۲۰۴	۲۸۲۰۲۵۴۰۷	۲۵۷۵۷۶۷۴۹	۱۹۴	۲۵۰۵۸۵۶۷۲	۲۴۸۳۰۷۹۴۲	-	-
۱۹۷	۳۲۸۹۵۴۴۳۵	۲۸۸۴۸۵۹۵۹	۱۸۶	۲۷۰۶۳۲۵۲۵	۲۶۸۱۷۲۵۷۸	-	-

با توجه به نتایج، برای مثال‌های ۱ تا ۳ (مسائل با ابعاد کوچک)، اختلاف بین الگوریتم‌های فراابتکاری و نرم‌افزار گمز تقریباً صفر است. از طرف دیگر به دلیل اینکه نرم‌افزار گمز در حالت کلی در مسائل با ابعاد متوسط و بزرگ (مسائل ۴ تا ۱۸) قابل حل نیست و در مسائل با ابعاد کوچک جواب بهینه به دست آمد، این بدین معنا است که الگوریتم‌های ارائه شده توانسته‌اند جواب بهینه را به دست آورند و جواب باکیفیت و مناسب ارائه دهند. برای مسائل با اندازه‌های متوسط و بزرگ، دو الگوریتم ارائه شده مقایسه شده‌اند که جواب‌ها در جدول ۱۶، خلاصه شده است. بر اساس این جدول، الگوریتم ژنتیک توانسته است جواب‌های باکیفیت‌تری نسبت به الگوریتم رقابت استعماری ارائه دهد. در حالت کلی هر دو الگوریتم توانسته‌اند کیفیت مناسبی را ارائه داده‌اند.

ارزیابی کارایی الگوریتم‌های فراابتکاری. به منظور محاسبه عملکرد الگوریتم‌ها برای مسائل با اندازه کوچک از درصد خطا^۱ (PRE) و برای مسائل متوسط و بزرگ از درصد انحراف نسبی^۲ (RPD) استفاده می‌شود. دلیل استفاده از PRE برای سطوح کوچک این است که در این سطح، جواب بهینه توسط نرم‌افزار گمز برای مقایسه حساب می‌شود. فرمول‌های مربوط به PRE و RPD به صورت زیر بوده و انحرافات برای مسائل مختلف در جدول‌های زیر آمده است.

1. Percentage Relative Error
2. Relative Percentage Deviation

$$PRE = \frac{sol_{avg} - O}{O} * 100 \quad (27)$$

$$RPD = \frac{sol_{avg} - sol_{min}}{sol_{min}} * 100 \quad (28)$$

در فرمول PRE، O نشان‌دهنده جواب بهینه به دست آمده توسط نرم‌افزار گمز است. با توجه به اینکه در مسائل با سطح متوسط و بزرگ جواب بهینه مشخصی وجود ندارد، از فرمول RPD برای به دست آوردن یک انحراف استفاده می‌شود.

جدول ۱۷. ارزیابی کارایی الگوریتم‌ها برای مسائل سطح کوچک

GA	ICA	Num
PRE	PRE	
۰/۱۵۲۶۶۹	۰/۳۱۸۴۱	NUM01
۰/۲۵۷۹۹۵	۰/۲۷۵۰۵۳	NUM02
۰/۱۵۲۷۷۷	۰/۳۴۹۵۳۷	NUM03
۰/۵۶۳۴۴۱	۰/۹۴۳۰۰۰	Mean

با توجه به بررسی درصد خطا در اندازه کوچک مشخص شد که کارایی الگوریتم ژنتیک نسبت به الگوریتم رقابت استعماری بهتر است.

جدول ۱۸. ارزیابی کارایی الگوریتم‌ها برای مسائل سطح متوسط و بزرگ

GA	ICA	Num
RPD	RPD	
۰/۲۵۰۰۲۶	۰/۲۴۲۵۴۷	NUM04
۰/۰۶۲۰۸۳	۰/۱۷۰۷۱	NUM05
۰/۰۱۵۴۴۴	۰/۲۸۲۲۹۷	NUM06
۰/۰۰۷۲۳۱	۰/۰۶۰۰۸۸	NUM07
۰/۰۲۹۸۶۸	۰/۰۹۲۶۵۵	NUM08
۰/۰۶۲۰۳۱	۰/۱۳۷۵۹۴	NUM09
۰/۰۳۴۲۷۱	۰/۰۸۸۸۲۶	NUM10
۰/۰۷۲۴۸۴	۰/۰۶۰۴۲۳	NUM11
۰/۰۳۴۵۱۵	۰/۰۵۸۸۷	NUM12
۰/۰۵۰۵۷۶	۰/۰۵۰۶۷۶	NUM13
۰/۰۵۴۵۲۲	۰/۰۴۹۱۶۹	NUM14
۰/۰۵۷۷۴۸	۰/۰۱۰۸۷۳	NUM15
۰/۰۴۶۵۴۹	۰/۰۱۳۸۱۲	NUM16
۰/۰۰۹۱۷۳	۰/۰۹۴۹۱۷	NUM17
۰/۰۰۹۱۷۲	۰/۱۴۰۲۷۸	NUM18
۰/۷۹۵۶۹۳	۱/۵۵۳۷۳۵	Mean

با توجه به بررسی درصد انحراف نسبی به‌دست‌آمده کارایی الگوریتم ژنتیک نسبت به الگوریتم رقابت استعماری به‌دست آمد و همچنین مشخص شد که در خصوص این طرح مسئله الگوریتم ژنتیک کارا تر از الگوریتم رقابت استعماری است.

آزمون تی (T) برای بررسی معناداری مقادیر دو الگوریتم

جدول ۱۹. آزمون تی برای بررسی معناداری مقادیر دو الگوریتم

آزمون تی استیودنت برای فرض برابری میانگین‌ها		آزمون لون برای فرض برابری واریانس‌ها		آزمون تی استیودنت برای فرض برابری میانگین‌ها		آزمون لون برای فرض برابری واریانس‌ها			
حد بالا	حد پایین	خطای استاندارد	اختلاف میانگین	سطح معناداری آزمون	درجه آزادی	مقدار T	سطح معناداری	مقدار F	داده‌ها
۰/۰۳۴۴	۰/۰۳۴۴	۰/۰۲۵۳۴	۰/۰۵۰۵۶	۰/۰۵۰۶	۲۸	۱/۹۹۴	۰/۱۱۲	۲/۶۹۱	فرض برابری واریانس‌ها
۰/۰۳۴۴	۰/۰۳۴۴	۰/۰۲۵۳۴	۰/۰۵۰۵۶	۰/۰۵۰۶	۲۵/۵۱	۱/۹۹۴	-	-	فرض نابرابری واریانس‌ها

طبق جدول ۱۹، برای انجام آزمون فرضیه بین میانگین دو جامعه مستقل باید آزمون برابری واریانس دو جامعه انجام شود و با توجه به نتیجه به‌دست‌آمده آماره صحیح انتخاب و بر اساس آن نتیجه‌گیری صورت گیرد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقدار آماره F برابر ۲/۶۹۱ و احتمال معناداری برابر ۰/۱۱۲ است؛ بنابراین فرض صفر (برابری واریانس‌ها) رد نمی‌شود و واریانس‌ها برابر است.

در اینجا با توجه به برابری واریانس‌ها باید از آماره‌ها و نتایجی که در ستون فرض برابری واریانس‌ها ارائه شده است، استفاده شود. با توجه به اینکه مقدار آماره ۱/۹۹۴ و احتمال معناداری ۰/۰۵۶ است، فرض صفر (برابری میانگین دو جامعه) را نمی‌توان رد کرد؛ در نتیجه اختلاف معناداری بین میانگین و جامعه (دو الگوریتم) مشاهده نمی‌شود.

تحلیل واریانس. با توجه به مقایسه درصد انحراف نسبی، مشخص شد که الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم رقابت استعماری دارد؛ اما آیا از لحاظ آماری بین عملکردهای این دو الگوریتم اختلاف معنادار وجود دارد یا خیر؟ با توجه به این سؤال، در این قسمت با انجام

تحلیل واریانس این موضوع بررسی می‌شود که آیا اختلاف معناداری بین عملکرد دو الگوریتم وجود دارد یا خیر؟ به همین منظور از برای انجام تحلیل واریانس از نرم‌افزار SPSS 26 که جدیدترین ورژن این نرم‌افزار است استفاده شد. با استفاده از ورودی‌های انحراف نسبی تحلیل واریانس صورت گرفت که خروجی‌های نرم‌افزار به صورت جدول ۲۰، است.

جدول ۲۰. آمار توصیفی تحلیل واریانس

داده‌ها	بیشترین مقدار	کمترین مقدار	حد بالا فاصله اطمینان	حد پایین فاصله اطمینان	خطای استاندارد	انحراف استاندارد	میانگین	تعداد اعضای جامعه
ICA	۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۱۴۷۲	۰/۰۶۰۰	۰/۰۲۰۳۴	۰/۰۷۸۷۶	۰/۱۰۳۶	۱۵
GA	۰/۲۵	۰/۰۱	۰/۰۸۵۵	۰/۰۲۰۶	۰/۰۱۵۱۲	۰/۰۵۸۵۶	۰/۰۵۳۰	۱۵
کل	۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۱۰۵۵	۰/۰۵۱۱	۰/۰۱۳۳۰	۰/۰۷۲۸۷	۰/۰۷۸۳	۳۰

جدول ۲۰، آمار توصیفی خروجی تحلیل واریانس را نشان می‌دهد: برای مثال میانگین $ICA=0.1036$ و $GA=0.0530$ است؛ پس میانگین ICA بیشتر از GA است. بعدی انحراف معیار (Std.Deviation) و خطای انحراف معیار (Std.Error) است. Upper Bound و Lower Bound فاصله اطمینان در سطح ۹۵ درصد و در آخر حداقل و حداکثر مقدار هر متغیر (متغیر ICA and GA) قرار دارد.

جدول ۲۱. خروجی تحلیل واریانس

داده‌ها	سطح معناداری	درجه آزادی ۲	درجه آزادی ۱	مقدار آماره لوین
بر اساس میانگین	۰/۱۱۲	۲۸	۱	۲/۶۹۱
بر اساس میانه	۰/۱۸۳	۲۸	۱	۱/۸۶۵
بر اساس درجه آزادی تنظیم شده در میانه	۰/۱۸۳	۲۷/۷۴۵	۱	۱/۸۶۵
بر اساس میانگین کوتاه‌شده	۰/۱۲۸	۲۸	۱	۲/۳۳۶

یکی از روش‌های سنجش و انجام آزمون برابری واریانس‌ها، استفاده از آماره لوین است. در جدول ۲۱، مشاهده می‌شود که سطح معناداری آزمون لوین بیشتر از ۰/۰۵، یعنی ۰/۱۱۲ است؛ در نتیجه فرض برابری واریانس‌ها در گروه‌های ICA and GA تأیید می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از خروجی نرم‌افزار و برابری واریانس‌های ICA و GA می‌توان نتیجه گرفت علی‌رغم

اینکه در قسمت قبل مشخص شد که عملکرد الگوریتم ژنتیک بهتر است، ولی با توجه به روش‌های آماری و تحلیل واریانس فرض صفر پذیرفته می‌شود؛ به عبارت دیگر اختلاف معناداری از لحاظ آماری بین عملکرد دو الگوریتم وجود ندارد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش با توجه به مفهوم لجستیک بحران یک مدل ریاضی جدید در این حیطه ارائه شد؛ سپس صحنه‌گذاری مدل در ابعاد کوچک اجرا و نتایج ارزیابی شدند. در ارزیابی کارایی انجام‌شده در کارایی الگوریتم‌ها نشان داده شد که هم در ابعاد کوچک و هم ابعاد بزرگ الگوریتم ژنتیک کارایی بیشتری نسبت به الگوریتم رقابت استعماری دارند. تعداد بلایا و همچنین تعداد افرادی که در اثر رخ دادن این بلایا تحت تأثیر قرار گرفته‌اند، در سال‌های اخیر افزایش یافته است. این افزایش در تعداد بلایای طبیعی و آثار و تبعات آن‌ها در جان و مال و زندگی مردم توجهات بسیاری را سال‌های اخیر به خود جلب کرده است. بحث امدادسانی سریع و به‌موقع به مصدومان این وقایع چالش بزرگی است که در حال حاضر بسیاری از پژوهشگران و دانشمندان در حال پژوهش درباره آن هستند. در بحث امدادسانی به مصدومان یک حادثه، هدف اصلی در یک زنجیره امدادسانی این است که اقلام موردنیاز مصدومان مانند آب و مواد غذایی، مواد دارویی، پناهگاه و سایر ملزومات در سریع‌ترین زمان ممکن در دسترس مصدومان قرار بگیرد تا از تعداد مرگ‌ومیر ناشی از شدت وقوع بلایا تا حد امکان کاسته شود؛ بنابراین طراحی و توسعه و اجرایی کردن یک زنجیره امدادسانی می‌تواند نقش مهم و بزرگی در دست‌یافتن به یک پاسخ مناسب ایفا کند. بارزترین تفاوت‌ها که پیچیدگی و انحصار روش برخورد با زنجیره امدادسانی را در پی دارد، غیرقابل‌پیش‌بینی بودن تقاضا از نظر زمان، مکان، نوع، مقیاس و حجم آن است. دلایل دیگر پیچیدگی مدیریت چنین زنجیره‌هایی وقوع ناگهانی یک تقاضا در مقدار زیاد و فرصت بسیار کوتاه برای تأمین حجم وسیعی از کالاها، کمبود منابع شامل کالاها، نیروی امدادسانی، فناوری مناسب، ظرفیت حمل‌ونقل، سرمایه موردنیاز شرایط محیطی کاملاً متغیر و دینامیک ضرورت تأمین به‌موقع و به میزان کافی ملزومات بعد از وقوع حادثه و ریسک‌های موجود در محیط امدادسانی است. از آنجاکه مکان و تعداد مراکز عرضه کالاها و همچنین تعداد کالاهایی که در هر یک از این مراکز نگهداری می‌شود، به‌طور مستقیم بر زمان امدادسانی و هزینه‌های مرتبط با آن تأثیر می‌گذارد، بحث جایابی انبارها و بررسی کالاهای موجود در آن‌ها نقش مهمی در کارایی یک زنجیره ایفا می‌کند. پس از وقوع حادثه، مسائل مربوط به مکان‌یابی تسهیلات مربوط به تدارکات انسانی اضطراری بر انواع مشکلات پیش و پس از فاجعه با توجه به محل تسهیلات مانند محل مراکز توزیع، انبارها، پناهگاه‌ها و مراکز پزشکی مطرح می‌شود. اگرچه پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه‌های مسائل مربوط به مکان‌یابی این‌گونه زنجیره‌ها انجام شده، اما در

زمینه‌های نظری و برنامه‌های کاربردی توجه زیادی به زنجیره‌های امداد رسانی بلایا نشده است؛ بنابراین موضوع مکان‌یابی انبارها و تصمیمات مربوط به نگهداری کالا در آن‌ها برای مقابله با تقاضاهای ناگهانی هنگام وقوع یک حادثه مطرح شد که مسئله طراحی شبکه امداد رسانی در یک زنجیره‌ی امداد رسان در قدم نخست بررسی شده و با یک رویکرد تحلیلی تصمیم‌گیری در مورد مکان‌یابی مراکز عرضه و کالاهای موجود در این مراکز بررسی شده است. با توجه به موارد مورد اشاره تا به حال پژوهشی با در نظر گرفتن دو مسئله مکان‌یابی - موجودی برای برنامه‌ریزی پاسخ به تلفات ارائه نشده است؛ از این رو در این پژوهش یک مدل ریاضی برای مسئله مورد اشاره ارائه شد. از آنجاکه این مسئله جزو مسائل Np-hard بود، برای حل آن از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شد. بدین صورت که ابتدا مسئله مدل‌سازی شد و با نرم‌افزار گمز صحت مدل به اثبات رسید؛ سپس برای حل مسائل با مقیاس بزرگ از الگوریتم ژنتیک و رقابت استعماری استفاده شد. این مقاله از جمله پژوهش‌های جدیدی است که در حوزه مکان‌یابی - موجودی برای برنامه‌ریزی پاسخ به تلفات ارائه شده است؛ از این رو از جنبه‌های مختلفی می‌تواند گسترش یابد که میانی نظری آن را غنی کند؛ همچنین موارد زیر برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود:

- با توجه به میانی نظری مکان‌یابی - موجودی برای برنامه‌ریزی پاسخ به تلفات یکسری عوامل مانند سیل، زلزله، طوفان، آتش‌سوزی و غیره که باعث می‌شود این زنجیره دچار تغییراتی شود، در نظر گرفتن تاب‌آوری و استفاده از استراتژی‌های تاب‌آوری در مدل‌سازی مربوطه باعث می‌شود که اگر زنجیره تأمین دچار مشکلاتی شود، خیلی سریع به حالت اولیه خود بازگردد و بحران خیلی زود رفع شود؛ بنابراین می‌توان از این استراتژی‌ها در مدل‌سازی مربوطه استفاده کرد.
- می‌توان از یک روش عدم قطعیت برای مدل مربوطه استفاده کرد.

منابع

1. Afshar Najafi, B., & Ghorbani, S. (2020). modeling and solving the problem of location of cross-warehouses and vehicle scheduling in the multi-product supply chain with the possibility of discrete harvesting and delivery. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 11(2), 2-8. (In Persian).
2. Ahmadzadeh, E. and Vahdani, B., 2017. A location-inventory-pricing model in a closed loop supply chain network with correlated demands and shortages under a periodic review system. *Computers & chemical engineering*, 101, pp.148-166.
3. Amiri, A., & Fattahi, A. (2015). Provide a fuzzy multi-objective logistics model for distributing relief items and evacuating the injured in times of crisis, 62(2), 63-76 (In Persian).
4. Alizadeh, M., Amiri, M., Mustafee, N., & Sumohon, M. (2019). A robust stochastic Casualty Collection Points location problem. *European Journal of Operational Research*, 279(3), 965-983.
5. Balcik, B., & Beamon, B.M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of logistics*, 11(2), 101-121.
6. Balcik, B., B.M. Beamon, & Smilowitz, K. (2008). Last mile distribution in humanitarian relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 51-63.
7. Behnamian, J., & Pourmoradkhani, M. (2015). Inventory modeling to deal with natural disasters. *Two Quarterly Journal of Crisis Management*, 7, 63-77. (In Persian)
8. Brotcorne, L., Laporte, G., & Semet, F. (2003). Ambulance location and relocation models. *European journal of operational research*, 147(3), 451-463.
9. Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 485-498.
10. Caunhye, A.M., Li, M., & Nie, X. (2015). A location-allocation model for casualty response planning during catastrophic radiological incidents. *Socio-Economic Planning Sciences*, 50, 32-44.
11. Caunhye, A.M., X. Nie, & Pokharel S., (2012). Optimization models in emergency logistics: A literature review. *Socio-economic planning sciences*, 46(1), 4-13.
12. Craggs, R. (2012). Towards a political geography of hotels: Southern Rhodesia, 1958–1962. *Political Geography*, 31(4), 215-224.
13. Foukardi, R., & Talavari, (2021). Optimizing Cash Flow in the Drug Supply Chain: A Risk-Approach Approach. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 11(1), 117-145. (In Persian).
14. Hale, T. & Moberg, C.R. (2005). Improving supply chain disaster preparedness. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35(3), 195-207.
15. Liu, Y., N. Cui, & Zhang J., (2019). Integrated temporary facility location and casualty allocation planning for post-disaster humanitarian medical service. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 128, 1-16.
16. Liu, J., Jiang, D., Guo, L., Nan, J., Cao, W., Wang, P., (2020). Emergency material location-allocation planning using a risk-based integration methodology for river chemical spills. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15), 1-14.

17. Loree, N. & Aros-Vera, F. (2018). Points of distribution location and inventory management model for Post-Disaster Humanitarian Logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 116, 1-24.
18. Mohri, S.S. & Haghshenas, H. (2020). An Ambulance Location Problem for Covering Inherently Rare and Random Road Crashes. *Computers & Industrial Engineering*, 151(1), 3-10.
19. Mohagheghi, V., Mousavi, S.M. and Vahdani, B., (2015). A new optimization model for project portfolio selection under interval-valued fuzzy environment. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(11), pp.3351-3361.
20. Mohagheghi, V., Mousavi, S. M., & Vahdani, B. (2017). Analyzing project cash flow by a new interval type-2 fuzzy model with an application to construction industry. *Neural Computing and Applications*, 28(11), 3393-3411.
21. Mohammadi, S., Darestani, S. A., Vahdani, B., & Alinezhad, A. (2020). A robust neutrosophic fuzzy-based approach to integrate reliable facility location and routing decisions for disaster relief under fairness and aftershocks concerns. *Computers & Industrial Engineering*, 148, 106734.
22. Mousavi, S.M., Antuchevičienė, J., Zavadskas, E.K., Vahdani, B. & Hashemi, H., (2019). A new decision model for cross-docking center location in logistics networks under interval-valued intuitionistic fuzzy uncertainty. *Transport*, 34(1), 30-40.
23. Nabavi, S.M., Vahdani, B., Nadjafi, B.A. & Adibi, M.A. (2022). Synchronizing victim evacuation and debris removal: A data-driven robust prediction approach. *European Journal of Operational Research*, 300(2), 689-712.
24. Nel, E.-M., du Preez, J.A., & Herbst, B.M. (2009). A pseudo-skeletonization algorithm for static handwritten scripts. *International Journal of Document Analysis and Recognition (IJ DAR)*, 12(1), 47-62.
25. Niakan, F., Vahdani, B., & Mohammadi, M. (2015). A multi-objective optimization model for hub network design under uncertainty: An inexact rough-interval fuzzy approach. *Engineering Optimization*, 47(12), 1670-1688.
26. Rawls, C.G. & Turnquist, M.A. (2010). Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. *Transportation research part B: Methodological*, 44(4), 521-534.
27. Saedinia, R., Vahdani, B., Etebari, F., & Nadjafi, B. A. (2019). Robust gasoline closed loop supply chain design with redistricting, service sharing and intra-district service transfer. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 123, 121-141.
28. Salimi, F. & Vahdani, B. (2018). Designing a bio-fuel network considering links reliability and risk-pooling effect in bio-refineries. *Reliability Engineering & System Safety*, 174, 96-107.
19. Liu, Y., N. Cui, & Zhang J. (2019). Integrated temporary facility location and casualty allocation planning for post-disaster humanitarian medical service. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 128, 1-16.
21. Tajani, K., Mohtashami, A., Amiri, M., & Ehtesham, R. (2021). Presenting a robust optimization model to design a comprehensive blood supply chain under conditions of supply and demand uncertainty. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 11(1), 81-116 (In Persian).

30. Van Wassenhove, L.N. (2006). Humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear. *Journal of the Operational research Society*, 57(5), 475-489.
31. Vahdani, B., Soltani, M., Yazdani, M., & Mousavi, S. M. (2017). A three level joint location-inventory problem with correlated demand, shortages and periodic review system: Robust meta-heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, 109, 113-129.
32. Vahdani, B., Mansour, F., Soltani, M. & Veysmoradi, D. (2019). Bi-objective optimization for integrating quay crane and internal truck assignment with challenges of trucks sharing. *Knowledge-Based Systems*, 163, 675-692.
33. Vahdani, B. (2019). Assignment and scheduling trucks in cross-docking system with energy consumption consideration and trucks queuing. *Journal of Cleaner Production*, 213, 21-41.
34. Vahdani, B., & Ahmadzadeh, E. (2019). Designing a realistic ICT closed loop supply chain network with integrated decisions under uncertain demand and lead time. *Knowledge-Based Systems*, 179, 34-54.
35. Vahdani, B., & Naderi-Beni, M. (2014). A mathematical programming model for recycling network design under uncertainty: an interval-stochastic robust optimization model. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73(5), 1057-1071.
36. Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zandieh, M. & Razmi, J. (2012). Vehicle routing scheduling using an enhanced hybrid optimization approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(3), 759-774.
37. Vahdani, B. & Zandieh, M. (2010). Selecting suppliers using a new fuzzy multiple criteria decision model: the fuzzy balancing and ranking method. *International Journal of Production Research*, 48(18), 5307-5326.
38. Vahdani, B., Veysmoradi, D., Mousavi, S.M. & Amiri, M. (2022). Planning for relief distribution, victim evacuation, redistricting and service sharing under uncertainty. *Socio-Economic Planning Sciences*, 80, 101158.
39. Vaziri, S., Etebari, F. and Vahdani, B., (2019). Development and optimization of a horizontal carrier collaboration vehicle routing model with multi-commodity request allocation. *Journal of Cleaner Production*, 224, 492-505.
40. Veysmoradi, D., Vahdani, B., Farhadi Sartangi, M., & Mousavi, S. M. (2018). Multi-objective open location-routing model for relief distribution networks with split delivery and multi-mode transportation under uncertainty. *Scientia Iranica*, 25(6), 3635-3653.
41. Zahedi, A., M. Kargari, & Kashan, A.H. (2020). Multi-objective decision-making model for distribution planning of goods and routing of vehicles in emergency. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48(1), 2-10.