

ارائه یک مدل ریاضی چندهدفه مکان‌یابی، تخصیص و توزیع کالاها امدادی در شرایط عدم قطعیت پیمان قاسمی،* کاوه خلیلی دامغانی،** اشکان حافظ‌الکتاب،*** صدیق رئیسی****

تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۸

چکیده

در این مقاله، تصمیمات مربوط به فازهای مختلف چرخه مدیریت بحران در قالب یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی یکپارچه با فرض شرایط واقعی بحران مدل‌سازی می‌شود. اهداف، کمینه‌سازی تعداد افراد مجروح خدمت‌دهی نشده و کمینه‌سازی هزینه‌های امدادی در مناطق آسیب دیده هستند. بهینه‌سازی همزمان مسائل مکانیابی پایگاه‌های امداد، تخصیص منابع، توزیع و ارسال کالاها امدادی و تخلیه مجروحین (شرایط قبل و بعد از بحران) از جمله نوآوری‌های این پژوهش می‌باشد. از این رو سناریوهایی بر اساس گسل‌های موجود (چهار گسل) در منطقه یک کلان شهر تهران در نظر گرفته شده است. در این پژوهش ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح صفر و یک را ارائه می‌کنیم. برای اعتبارسنجی مدل، در ابعاد کوچک از روش محدودیت افسیلون در محیط نرم افزاری گمز با حل کننده Cplex حل شده است. برای حل مسئله در ابعاد بزرگ یک مطالعه موردی را با استفاده از داده‌های پایگاه‌های امداد رسان در منطقه یک شهر تهران بررسی می‌کنیم. مطالعه موردی نیز با استفاده از رویکرد ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحقیق بیانگر آن است که رویکرد ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب با کمترین خطا نسبت به حل دقیق و زمان کمتر قادر حل مدل خواهد بود.

کلید واژه‌ها: مدیریت بحران؛ توزیع و تخصیص؛ مکانیابی تسهیلات؛ نقاط انتقال

* دانشجوی دکتری صنایع، دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

** دانشیار دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
(مسئول مکاتبات) k_khalili@azad.ac.ir

*** دانشیار دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

**** دانشیار دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

مقدمه

آمار و اطلاعات موجود نشان می‌دهند که پدیده‌های غیرمترقبه زمینی، اقیانوسی و جوی در حال افزایش هستند و زندگی بشر را در سراسر جهان با خسارات و تلفات مالی و جانی گسترده‌ای مواجه کرده‌اند. همه آمارهای منتشر شده از وقوع بلایای طبیعی و اثرات جانی و مالی آن‌ها، لزوم آمادگی برای مواجهه با بحران و مدیریت پیامدهای ناشی از آن را به ویژه در کشوری پرخطر نظیر ایران نشان می‌دهند. مدیریت بحران یکی از پر اهمیت‌ترین مباحث علمی-کاربردی امروز دنیاست که در چهار فاز اصلی پیش‌گیری، آمادگی، پاسخ‌دهی و بازیابی به مواجهه موثر با پیامدهای احتمالی حوادث دارد. با توجه به این که وقوع بحران، همواره اثرات جبران‌ناپذیری داشته است، مدیریت لجستیک امداد بلایا به عنوان موضوعی قابل توجه در سطح جهان مطرح شده است تا به کمک آن بتوان پیامدهای ناشی از یک بحران را کاهش داد. مکان‌یابی تسهیلات و میزان ذخیره‌سازی کالاهای امدادی از جمله استراتژی‌هایی هستند که در فاز آمادگی پیش از بحران بدان پرداخته می‌شوند، زیرا رابطه مستقیمی با به هنگام بودن خدمات و هزینه‌های فاز پاسخ‌دهی در شبکه لجستیک امداد دارند. عدم توجه به اثر متقابل فازهای مختلف مدیریت بحران بر روی یکدیگر می‌تواند مانع بسیار بزرگی برای واکنش موثر به بحران باشد. در واقع، بهینه‌سازی فعالیت‌های یکایک این فازها، لزوماً نمی‌تواند منجر به بهینه بودن کل عملیات امداد شود و بعضاً ممکن است به تصمیمات غیر عملی در شرایط بحران بیانجامد. بدین ترتیب، یکپارچه‌سازی فازهای مدیریت بحران از عواملی است که تاکنون کمتر مورد توجه پژوهشگران بوده است و ضرورت دارد که در مسائل بهینه‌سازی شبکه لجستیک امداد بلایا در نظر گرفته شود. از این رو بنا بر اهمیت روز افزون مساله مدیریت بحران در دنیای کنونی، این جا ما به مدل‌سازی تصمیمات مربوط به فازهای مختلف چرخه مدیریت بحران در قالب مدل‌های ریاضی یکپارچه با فرض شرایط واقعی بحران می‌پردازیم. با توجه به سطح بالای خطرپذیری منطقه یک شهر تهران در برابر زلزله، داده‌های پایگاه‌های امداد رسان در این منطقه را برای اعتبار سنجی شبکه لجستیک امداد پیشنهادی به کار می‌گیریم. ترتیب بقیه مطالب ارائه شده بدین قرار است: در بخش دوم،

مروری بر ادبیات موضوع خواهیم داشت. در بخش سوم، مسأله ارائه شده را تشریح و با استفاده از عدد صحیح صفر و یک مدل‌سازی می‌کنیم. در بخش چهارم مزایای مدیریتی مدل پیشنهادی ارائه شده است. در بخش پنجم روش حل و بخش ششم مطالعه موردی و نتایج محاسباتی تشریح شده است. در بخش آخر نتایج به دست آمده را ارائه خواهیم کرد.

مروری بر ادبیات موضوع

محمدی و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل دو سطحی را برای مکانیابی نقاط انتقال و مراکز توزیع کالاهای امدادی در شرایط زلزله توسعه دادند. در سطح اول مکانیابی تسهیلات امدادی و تعیین مکان نقاط انتقال انجام شده و در سطح دوم مسیریابی برای انتقال مصدومان و اجساد به نقاط از پیش تعیین شده انجام می‌شود. همچنین سه سناریو با توجه به شرایط گسل‌های شهر تهران (گسل مشا، گسل ری و گسل شمال) با احتمالات ۰,۳۵، ۰,۳۰ و ۰,۳۵ در نظر گرفته شده است. در نهایت این مدل با توجه چند هدفه بودن، با استفاده از روش محدودیت اپسیلون و نرم افزار گمز حل شده است. نتایج تحقیق بیانگر انتخاب ۱۰ نقطه برای تاسیس نقاط انتقال در کنار بزرگراه‌ها می‌باشد. زهیری و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل چند سطحی و تحت عدم قطعیت را جهت برنامه ریزی مراکز توزیع کالاهای امدادی توسعه دادند. عدم قطعیت در نظر گرفته شده در پارامترهایی مانند تقاضا و ظرفیت تاسیسات بوده که بصورت فازی مثلی در نظر گرفته شده است. از جمله متغیرهای در نظر گرفته شده در این پژوهش می‌توان سطح موجودی هر انبار، مقدار جریان کالا از تامین کننده به هر انبار و از هر انبار به محل آسیب دیده نام برد. از جمله نتایج این پژوهش شامل موارد زیر باشد: ۱- ظرفیت تامین کنندگان و انبارها با هزینه کل رابطه معکوس دارد و افزایش ظرفیت انبارها و تامین کنندگان موجب کاهش هزینه‌ها در این مدل می‌شود ۲- هزینه‌های جریمه برای تقاضای ارضا نشده نقش بسیار زیادی در عملکرد سیستم ایفا می‌کند. افزایش این جریمه‌ها موجب خواهد شد تمامی نقاط تقاضا پوشش داده شود. صالحی و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل چند دوره ای و احتمالی را برای طراحی شبکه پخش خون بعد از وقوع زلزله ارائه نمودند. تقاضا نیز برای انواع مشتقات

خون از جمله پلازما و پلاکت احتمالی در نظر گرفته شده است. زنجیره تامین خون در نظر گرفته در این پژوهش سه سطحی بوده و شامل: ۱- اهدا کنندگان ۲- مراکز جمع آوری خون و ۳- پایگاه انتقال خون می باشد. مدل پیشنهاد شده در دو سطح قبل و بعد از زلزله و برای شهر تهران ارائه شده است. در سطح اول تعداد تسهیلات موقت جمع آوری خون تعیین می گردد و در سطح دوم سناریوهای بعد از وقوع زلزله از جمله پخش فرآورده های خونی انجام می شود. در نهایت صحت عملکرد مدل با شبیه سازی مونت کارلو مورد بررسی قرار گرفته است. ماهوتچی و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل دوسطحی احتمالی را جهت مدیریت بحران قبل و بعد از وقوع زلزله ارائه نمودند. در سطح اول این مدل مکانیابی ایستگاه های امداد رسانی و در سطح دوم تخصیص این ایستگاه ها به نقاط بحران زده انجام شده است. از جمله متغیرهای تصمیم این پژوهش را می توان مقدار کالای ذخیره شده و مقدار کمبود در هر مرکز نام برد. صحت مدل پیشنهادی که بصورت چند کالایی و چند دوره ای بوده، بر روی زلزله احتمالی شهر تهران آزمایش شده است. ذکایی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش خود یک زنجیره تامین سه سطحی شامل تامین کنندگان، مراکز توزیع امداد و محل های آسیب دیده را در نظر گرفتند. اهداف این پژوهش افزایش سطح رضایت آسیب دیدگان و کاهش هزینه ها بوده و برای این منظور جریمه هایی در صورت کمبود کالا در نظر گرفته شده است. مدل ارائه شده که دارای عدم قطعیت در پارامترهایی همچون تقاضا و هزینه بوده توسط بهینه سازی استوار حل شده است. مطالعه موردی انجام شده در این پژوهش منطقه البرز می باشد که مستعد وقوع زلزله و حوادث طبیعی دیگر است. داگلاس و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل دو سطحی را برای توزیع موجودی در زنجیره تامین امداد بحران ارائه دادند. در نظر گرفتن ریسک مکانیابی از جمله نوآوری های آن ها بوده است. در این پژوهش، وسایل حمل و نقل به صورت ناهمگن و با ظرفیت های متفاوت در نظر گرفته شده اند. آن ها برای نشان دادن کارایی مدل به بررسی یک مطالعه موردی در کشور برزیل پرداختند. مطالعه موردی ارائه شده با یک الگوریتم ابتکاری حل شده است. کاودور و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل دو سطحی را برای تخصیص کالاهای امدادی در شرایط زلزله به مناطق آسیب دیده توسعه داده اند. هدف این پژوهش کاهش

مسافت پیموده و همچنین کمینه کردن تقاضای پاسخ نداده شده می‌باشد. برای نیل به این هدف سناریوهایی بر روی زمان وقوع حادثه و شرایط محیطی از جمله وجود ترافیک و... تعریف شده است. از جمله نوآوری‌های این پژوهش در نظر گرفتن تعادل بین عرضه و تقاضا، سطح سرویس و در نظر گرفتن بهره‌وری عملیات تولید می‌باشد. در نهایت مدل ارائه شده بر روی زلزله احتمالی کشور ترکیه مطالعه موردی شده است. سو و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدلسازی ریاضی و سیستم الکترونیک برای کسب اطلاعات جغرافیایی به مکانیابی پناهگاهایی برای مصدومین بعد از وقوع زلزله پرداختند. مدل ارائه شده از نوع P- میانه و دارای اهدافی چون بیشینه کردن سطح پوشش و کمینه کردن فاصله تا پناهگاه می‌باشد. الگوریتم ارائه شده شامل سه گام می‌باشد: ۱- انتخاب پناهگاه‌های کاندید ۲- تجزیه و تحلیل میزان پوشش هر پناهگاه ۳- انتخاب مکان قطعی پناهگاه. نتایج حاصل از اجرای نتایج مدل برای شهر یانگژو^۱ بیانگر صحت و دقت مدل ارائه شده می‌باشد. فریدونی و شهانقی (۲۰۱۶) یک مدل چند دوره‌ای برای مسئله مکانیابی و تخصیص در حالت لجستیک بشردوستانه را مطرح نمودند. مدل ارائه شده برای مدیریت در فاز پاسخگویی در سوانح طبیعی می‌باشد. در سطح اول این مسئله مکان و زیر ساخت‌های امداد بحران مشخص شده و در سطح دوم میزان کالای امدادی حمل شده به بیمارستان‌ها و منطق آسیب دیده مشخص می‌گردد. هدف مدل پیشنهادی که از نوع مبتنی بر سناریو بوده شامل کاهش هزینه‌های امدادسانی می‌باشد. این مسئله با استفاده از بهینه‌سازی استوار حل شده است. محمدی و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل سه هدفه و احتمالی را برای توزیع کالاهای امدادی در شرایط زلزله توسعه دادند. مکانیابی تسهیلات امدادی، تعیین مقدار بهینه موجودی و مقدار بهینه جریان کالاها از جمله کارکردهای این مدل می‌باشد. در این پژوهش سناریوهای گوناگونی با توجه به هزینه‌ها و زمان رخداد زلزله تعریف شده است. اهداف در نظر گرفته شده شامل بیشینه کردن سطح تحت پوشش، بیشینه کردن عدالت در توزیع کالا و کمینه کردن هزینه‌های کل می‌باشد. مدل ارائه شده که شامل یک مطالعه موردی در شهر تهران می‌باشد، توسط الگوریتم فراابتکاری

اجتماع ذرات حل شده است. چن و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح را جهت مکانیابی تسهیلات موقت بعد از وقوع بحران ارائه دادند. توجه به زیر ساخت‌های حمل و نقل و خرابی راه‌ها در اثر بحران از جمله نوآوری‌های این پژوهش می‌باشد. از جمله مهمترین اهداف این پژوهش کاهش مسافت بین تسهیلات موقت و مناطق آسیب دیده و در نهایت کاهش هزینه‌های امداد رسانی می‌باشد. برای حل مدل ارائه شده از رویکرد ابتکاری متشکل از آزاد سازی لاگرانژ و الگوریتم کوتاهترین مسیر استفاده شده است. چو و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل غیرخطی عدد صحیح را جهت تخصیص مراکز امداد به مناطق آسیب دیده پس از وقوع زلزله ارائه دادند. برای حل مدل مذکور از زنجیره احتمالی مارکوف استفاده شده است. هدف اصلی این پژوهش بیشینه نمودن افراد مجروح و مصدوم خدمت رسانی شده و تحت پوشش می‌باشد. مدل پیشنهادی بر روی داده‌های واقعی زلزله چین که در سال ۲۰۰۸ اتفاق افتاده آزمایش شده است. نتایج بیانگر بهبود شرایط ۲۰ درصدی هزینه‌های امداد رسانی در صورت اجرای مدل پیشنهادی می‌باشد. ابوناصر و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل سه هدفه را جهت مدیریت بحران در فاز پاسخگویی ارائه نمودند. کمینه ساختن زمان رسیدن کالاهای امدادی به دست مجروحین، کمینه ساختن تعداد امداد رسانی‌های مورد نیاز برای تاسیس یک مرکز توزیع و کمینه ساختن تقاضای برآورده نشده از جمله اهداف این پژوهش بشمار می‌رود. برای حل مورد ارائه شده از روش محدودیت اپسیلون استفاده شده است. نتایج بدست آمده بیانگر همگرایی مناسب نقاط پارتو و در نتیجه عملکرد موثر مدل ارائه شده می‌باشد.

لو و شئو (۲۰۱۳)، یک مدل مکانیابی مرکز را برای استقرار مراکز توزیع امداد ارائه نمودند. در این مدل، زمان سفر بین مناطق آسیب دیده و مراکز توزیع به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شده و با استفاده از بازه‌های ثابت به جای توزیع‌های احتمال بیان می‌شود. در مدل ارائه شده، هدف حداقل نمودن حداکثر زمان سفر میان مراکز توزیع و مناطق حادثه دیده است. برای حل نیز، یک الگوریتم ابتکاری ارائه شده و در مطالعه موردی به کار گرفته شده است. وحدانی (۱۳۹۵) یک مدل برنامه ریزی مختلط عدد صحیح چند هدفه به منظور مکانیابی و کنترل موجودی در یک شبکه خدمات درمانی با در نظر گرفتن اثر ریسک مکانیابی ارائه نموده است. همچنین به منظور مواجهه با عدم قطعیت موجود در سایر پارامترهای مدل نظیر هزینه‌های حمل و نقل، بازگشایی، منابع در دسترس و غیره از روش بهینه‌سازی استوار استفاده گردید. به علاوه از آنجایی که مدل به صورت دو هدفه می‌باشد از یک رویکرد فازی به منظور حل مدل استفاده شد. یکی از مزیت‌های مدل ارائه شده نسبت به تحقیقات موجود در ادبیات لحاظ نمودن سیستم کنترل موجودی می‌باشد. چرا که این امر باعث می‌گردد مدیران بتوانند در این شرایط در صورت افزایش سطح تقاضا برخورد مناسبتری جهت برآورده نمودن آن‌ها داشته باشند. بزرگی امیری و همکاران (۱۳۹۵) یک مدل ریاضی خطی عدد صحیح مختلط برای مکانیابی نقاط انتقال و پناهگاه‌ها با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت برای تسهیلات ارائه نمودند. هدف این مدل کمینه سازی کل زمان تخلیه افراد و توزیع اقلام امدادی در منطقه چهار تهران می‌باشد. نوآوری این مقاله تخلیه و انتقال هم زمان مجروحان به مراکز درمانی و افراد سالم به پناهگاه‌ها است. همچنین جهت رسیدگی و رفع احتیاجات اولیه ی افراد سالم، انبارهایی در نظر گرفته شده تا بتوانند کالاهای مورد نیاز آن‌ها را نظیر آب، غذا، پتو و... تأمین کنند. بزرگی امیری و فتاحی (۱۳۹۴) یک مدل برنامه ریزی ریاضی فازی چند هدفه برای توزیع اقلام امدادی و تخلیه مصدومین ارائه دادند. همچنین آن‌ها مکانیابی مراکز توزیع امداد، مکانیابی مراکز درمانی و تخصیص این مراکز به نواحی آسیب دیده در زمان بحران را نیز مورد بررسی قرار دادند. به علاوه مدل پیشنهادی قادر است تعداد وسایل مورد نیاز برای انتقال کالا از نقاط تامین به مراکز توزیع و از مراکز توزیع به نقاط

آسیب دیده را به همراه نوع آن مشخص کند. مدل شامل دو هدف کلی بوده است: ۱- کمینه سازی مجموع هزینه‌های لجستیکی (شامل هزینه راه اندازی، حمل و نقل و هزینه کمبود اقلام امدادی) ۲- بیشینه سازی تعداد مجروحین منتقل شده. در نهایت مطالعه موردی انجام شده بیانگر صحت عملکرد مدل ارائه شده می‌باشد. آراسته و همکاران (۱۳۹۴) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط را برای مساله ی مکانیابی چند تسهیلی با فرض محدودیت در ظرفیت تسهیلات ارائه کرده اند. هدف مدل کمینه سازی زمان کل ارسال مصدومین در زنجیره امداد و جریمه برای عدم ارسال تقاضای برآورده نشده می‌باشد. قابلیت انتقال هر مشتری بطور مستقیم و یا با استفاده از نقاط انتقال به تسهیل در مدل در نظر گرفته شده است. برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی مطالعه موردی از منطقه ۴ شهر تهران اجرا شده است و با روش شاخه و کران حل شده است. عشقی و نجفی (۱۳۹۱) یک مدل چند کالایی و چند دوره ای را در فاز پاسخ به زلزله جهت مدیریت بحران ارائه نمودند. به همین منظور برای تابع هدف مدل توسعه یافته در این تحقیق، حداقل سازی مجموع نیازهای برآورده نشده کالا و مصدومان رسیدگی نشده انتخاب شده است. در این پژوهش فرض شده است که دو نوع کالا و چهار نوع مصدوم وجود دارد. بطوریکه مصدومان نوع یک و چهار به ترتیب مصدومان سطحی و فوتی بوده و در نتیجه نیازمند حمل به بیمارستان نیستند. مدل ارائه شده با استفاده از نرم افزار گمز حل شده است و نتایج بیانگر صحت عملکرد مدل می‌باشد. علی نژاد و همکاران (۱۳۹۱) یک مدل بهینه سازی برای مسئله مکانیابی تسهیلات و طراحی شبکه تحت حالت استوار را ارائه دادند. مدل مذکور هزینه‌های مورد انتظار احداث تسهیلات، احداث خطوط ارتباطی را به گونه ای کمینه می‌نماید که جواب به دست آمده استوار باشد. از مهمترین اهداف این پژوهش کاهش هزینه‌های نگهداری حمل و نقل و احداث، کمینه کردن ارزش انتظاری هزینه هر سناریو و تعیین بهترین شبکه برای حمل و نقل کالاها می‌باشد. مدل ارائه شده بر روی ۱۰ نمونه تصادفی تولید شده، آزمایش شده و تجزیه و تحلیل‌های محاسباتی مختلفی صورت گرفته و تأثیر پارامترهای مدل بر رفتار و پیچیدگی مدل مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بیانگر صحت عملکرد مدل پیشنهادی می‌باشد.

با توجه به مرور و تحلیل ادبیات و جدول ۱ می توان گفت که در نظر گرفتن مسائل یکپارچه در شبکه لجستیک امداد به گونه ای که بتوانند تمامی فازهای مدیریت بحران را در نظر گرفته و تصمیمات مختلف از جمله تخصیص، تخلیه، توزیع و انتقال مجروحین را به طور همزمان بهینه سازی نمایند، یکی از مهم ترین مواردی است که باید به آن پرداخته شود. همچنین عدم توجه به بحث احتمال تخریب مسیرها در اکثر پژوهش ها و عدم توجه به عدم قطعیت در عرضه و هزینه ها بصورت سناریویی را می توان به عنوان یکی دیگر از شکاف تحقیقاتی این پژوهش در نظر گرفت.

بیان مساله

در شرایطی که زلزله بزرگی رخ دهد، در ابتدا باید پرسنل امداد شامل پزشکان، پرستاران، امدادگران و ... از بیمارستان ها و مراکز هلال احمر به مناطق حادثه دیده اعزام شوند تا عملیات امداد و نجات انجام گیرد. بعد از این که افراد زلزله زده سالم و مجروحین سرپایی به پناهگاه ها منتقل شدند، کالاهای امدادی مانند: غذا، آب آشامیدنی، دارو و ... باید در دوره های مختلف از مراکز توزیع از پیش تعیین شده به پناهگاه ها حمل شده تا نیاز افراد را برآورده کند. هزینه ثابت و متغیر تاسیس ایستگاه ها و پناهگاه ها نیز در هر سناریو مشخص و ثابت است. هدف این مطالعه، توسعه مدلی جهت مدیریت زنجیره امداد بحران است که شامل تصمیمات فازهای آمادگی و پاسخ گویی می باشد. در سطح آمادگی که قبل از وقوع بحران صورت می گیرد، مکانیابی پایگاه های توزیع و نقاط انتقال صورت گرفته و در سطح پاسخگویی که پس از وقوع بحران صورت می گیرد، چگونگی ارسال کالا، تجهیزات و پرسنل امداد رسانی به محل بحران زده صورت خواهد گرفت. در این مقاله تخصیص، مکانیابی تسهیلات و تصمیمات مربوط به موقعیت موجودی در زنجیره امداد مورد توجه قرار خواهد گرفت. تصمیمات مکانیابی تسهیلات بر روی عملکرد فعالیت های امداد تاثیر گذار می باشد چرا که تعداد و مکان مراکز توزیع و مقدار کالاهای امدادی که در هر مرکز ذخیره می شود بطور مستقیم بر روی زمان پاسخ و هزینه هایی که در طول زنجیره امداد اتفاق می افتد، تاثیر دارد. تصمیمات

تخصیص و موجودی که مساله مورد بررسی در این تحقیق می باشد متاثر از عوامل متعددی می باشد که تلفیق آن‌ها در قالب روشی واحد را مشکل می سازد. از طرفی اهمیت استراتژیک بحث امداد و نجات در زمان بحران از جنبه‌های مختلف اجتماعی-اقتصادی نشان‌دهنده ضرورت توجه به این مساله است. بنابراین نوآوری‌های مسئله مورد بررسی به شرح زیر می باشد:

۱- طراحی زنجیره امداد چهارسطحی یکپارچه شامل تأمین کنندگان، توزیع کنندگان، مناطق آسیب دیده و انواع مراکز درمانی با هدف حداقل نمودن تقاضاهای پوشش دهی نشده و مجموع هزینه‌ها در زنجیره

۲- در نظر گرفتن همزمان تصمیمات استراتژیکی و عملیاتی مربوط به فازهای آمادگی و پاسخگویی به بحران

۳- بهینه سازی همزمان مسائل مکان‌یابی تسهیلات، تخصیص منابع، توزیع و ارسال امداد و تخلیه مجروحین با فرض عدم قطعیت تقاضا، هزینه‌ها و دسترس پذیری تسهیلات و مسیرهای ارتباطی

۴- بهینه سازی مسائل توزیع کالا و تخلیه مجروحین با استفاده از تعیین مسیرهای بهینه در شبکه معابر منطقه با کمک نقشه راه‌های موجود، به گونه ای که احتمال حذف برخی از مسیرها به دلیل پیشروی آوار حین وقوع بحران را در نظر گرفته است

۵- استفاده از داده‌ها و نتایج تخمین خسارت وقوع زلزله در منطقه یک شهر تهران به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها در شرایط واقعی و حل مدل در ابعاد بزرگ توسط روش حل فراابتکاری

شکل ۱ ساختار زنجیره امداد بحران پیشنهادی را نشان می دهد:



شکل ۱- ساختار پیشنهادی برای زنجیره امداد بحران

مفروضات مساله

- تعداد و مکان تامین کنندگان، مراکز درمانی و مناطق آسیب دیده ثابت و مشخص هستند.
- مکان های بالقوه برای تاسیس و مراکز توزیع امداد و مراکز درمانی مشخص هستند.
- هر مرکز توزیع قادر است تنها به ناحیه ای که در آن واقع شده است خدمت دهی کند.
- ناوگان حمل و نقل یکنواخت نیست و انواع مختلفی از وسایل نقلیه را در بر می گیرد.
- ظرفیت وسایل نقلیه محدود است.
- مسئله چند کالایی بوده و کالاهای امدادی متفاوت با اولویت وزنی و حجمی مشخص در نظر گرفته شده است.
- عدم قطعیت در نظر گرفته شده بر پایه سناریو می باشد. سناریوها نیز بر اساس شدت وقوع زلزله و بالطبع نوع گسلی در آن اتفاق می افتد متفاوت می باشد. (در این پژوهش چهار گسل آهار، گسل شمال تهران، گسل مشا و گسل ری مورد بررسی قرار گرفته است).

مجموعه‌ها / شناساگرها

$G = \{1, \dots, \bar{g}\}$	مجموعه کالاهای امدادی
$P = \{1, \dots, \bar{p}\}$	مجموعه گره‌های موجود در شبکه
$R = \{1, \dots, \bar{r}\}$	مجموعه مناطق آسیب دیده
$L = \{1, \dots, \bar{l}\}$	مجموعه اندازه مراکز توزیع امداد
$V = \{1, \dots, \bar{v}\}$	مجموعه وسایل نقلیه
$A = \{1, \dots, \bar{a}\}$	مجموعه کمان‌های موجود در شبکه
$B = \{1, \dots, \bar{b}\}$	مجموعه افراد مجروح
$I = \{1, \dots, \bar{i}\}$	مجموعه عرضه کنندگان
$J = \{1, \dots, \bar{j}\}$	مجموعه نقاط کاندید برای تاسیس مراکز توزیع امداد
$M = \{1, \dots, \bar{m}\}$	مجموعه نقاط کاندید برای تاسیس مراکز درمانی موقت
$H = \{1, \dots, \bar{h}\}$	مجموعه مراکز درمانی
$S = \{1, \dots, \bar{s}\}$	مجموعه سناریوهای ممکن

پارامترها

nv_{vs}	تعداد وسایل نقلیه در دسترس نوع v در سناریوی S
np_{obs}	تعداد افراد آسیب دیده نوع b در گره آسیب دیده $o \in R$ در سناریوی S
nd_{ogs}	مقدار تقاضای کالای نوع g در گره آسیب دیده $o \in R$ در سناریوی S
nb_{bo}	تعداد تخت‌های موجود در گره $o \in H$ برای مجروحین نوع b
cps_{og}	مقدار کالای نوع g که می‌تواند از گره تامین کننده $o \in I$ تامین شود
wl_g	اولویت برآوردن تقاضای کالای g

wp_b	اولویت امداد رسانی به فرد مجروح نوع b
cp_l	ظرفیت مراکز توزیع با اندازه l (متر مکعب)
cpm_b	ظرفیت مرکز درمانی موقت برای افراد مجروح نوع b
cpv_v	ظرفیت حجمی وسیله نقلیه v برای حمل کالاها (متر مکعب)
cpw_v	ظرفیت وسیله نقلیه v برای حمل کالاها (کیلو گرم)
cpl_v	ظرفیت وسیله نقلیه v برای حمل مجروحین
N	تعداد مراکز درمانی موقتی که تاسیس می شوند
v_g	حجم هر واحد کالای g (متر مکعب)
wd_g	وزن هر واحد کالای g (کیلوگرم)
ρ_{os}	درصد دسترس پذیری تسهیلات شامل: تامین کنندگان، توزیع کنندگان و مراکز درمانی واقع در گره o در سناریوی S
q_{bv}	اگر وسیله نقلیه v قادر به حمل کالای b باشد برابر با یک، و در غیر این صورت برابر با صفر
k_{opvs}	اگر وسیله نقلیه v بتواند محور o به p را در سناریوی S طی کند برابر با یک، و در غیر این صورت برابر با صفر
f_{ops}	اگر تسهیل واقع در مکان $o \in J$ قادر به خدمت دهی به تسهیل واقع در $p \in R$ در سناریوی S باشد برابر با یک، و در غیر این صورت برابر با صفر
os_{gv}	اگر وسیله نقلیه v قادر به حمل کالای g باشد برابر با یک، و در غیر این صورت برابر با صفر
C_{ol}	هزینه تاسیس مرکز توزیع با اندازه l در گره $o \in J$
CZ_{os}	هزینه تاسیس مرکز درمانی موقت در سناریوی S در مکان $o \in M$
CV_{opvs}	هزینه متغیر وسیله نقلیه نوع v که مسیر o به p را در سناریوی S طی می کند
CY_{opgvs}	هزینه حمل کالای نوع g انتقال یافته از گره o به گره p توسط وسیله نقلیه v در سناریوی S
CX_{opbvs}	هزینه حمل افراد مجروح نوع b انتقال یافته از گره $o \in R$ به گره $p \in H$ توسط وسیله نقلیه v در سناریوی S

متغیرها

Afy_{ogs}	مقدار کمبود کالای g در گره آسیب دیده $o \in R$ در سناریوی S
Afx_{obs}	تعداد افراد مجروح نوع b در گره آسیب دیده $o \in R$ در سناریوی S که هنوز خدمت رسانی نشده‌اند
Inj_{opb}^S	تعداد افراد مجروح نوع b انتقال یافته از گره $o \in R$ به گره $p \in M$ در سناریوی S
Veh_{opv}^S	تعداد وسایل نقلیه نوع v که مسیر o به p را در سناریوی S طی می‌کنند
sd_{opg}	مقدار کالای g که پیش از بحران از گره عرضه o تامین و در مرکز توزیع p ذخیره می‌شود
Z_{ol}	اگر مرکز توزیع با اندازه l در گره $o \in J$ احداث شود، برابر با یک، و در غیر این صورت برابر با صفر
ZZ_{os}	اگر در سناریوی S در مکان $o \in M$ مرکز درمانی موقت احداث شود، برابر با یک، و در غیر این صورت برابر با صفر
Y_{opgs}^v	مقدار کالای نوع g انتقال یافته از گره o به گره p توسط وسیله نقلیه v در سناریوی S
X_{opbs}^v	تعداد افراد مجروح نوع b انتقال یافته از گره $o \in R$ به گره $p \in H$ توسط وسیله نقلیه v در سناریوی S

مدل ریاضی

مدل ریاضی با دو تابع هدف و محدودیت‌های مربوطه به قرار زیر مطرح می‌شود:

$$MinZ_1 = \sum_{o \in R} \sum_{g \in G} \sum_{s \in S} wl_g Afy_{ogs} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Min}Z_2 = & \sum_{o \in R} \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} \sum_{p \in R} \sum_{l \in L} \sum_{s \in S} Z_{ol} \cdot C_{ol} + ZZ_{os} \cdot CZ_{os} \\ & + Veh_{opv}^s \cdot CV_{opvs} + Y_{opgs}^v \cdot CY_{opgvs} \\ & + X_{opbs}^v \cdot CX_{opbvs} \end{aligned} \quad (۲)$$

s.t.

$$\sum_{p \in H} \sum_v X_{opgs}^v + Af x_{obs} = np_{obs}, \quad \forall o \in R, b \in B, s \in S \quad (۳)$$

$$\sum_{o \in I} \sum_v Y_{opgs}^v f_{pos} + Af y_{ogs} \geq nd_{ogs}, \quad \forall o \in R, g \in G, s \in S \quad (۴)$$

$$\begin{aligned} \sum_{o \in I} \rho_{os} sd_{opg} + \sum_{o \in I} \sum_v Y_{opgs}^v \\ - \sum_{o \in R} f_{ops} \sum_v X_{pogs}^v \geq 0, \end{aligned} \quad \forall p \in J, g \in G, s \in S \quad (۵)$$

$$\sum_{o \in P} \sum_{p \in P} X_{opbs}^v \leq M \cdot q_{bv}, \quad \forall b \in B, v \in V, s \in S \quad (۶)$$

$$\sum_{o \in P} \sum_{p \in P} Y_{opgs}^v \leq M \cdot os_{gv}, \quad \forall g \in G, v \in V, s \in S \quad (۷)$$

$$\sum_{o \in P} Y_{opgs}^v \leq M \cdot \sum_l Z_{ol}, \quad \forall p \in J, g \in G, s \in S \quad (۸)$$

$$\sum_{b \in B} \sum_{o \in R} Inj_{opb}^s \leq M \cdot ZZ_{pt}, \quad \forall p \in M, s \in S \quad (۹)$$

$$\sum_l Z_{ol} \leq 1, \quad \forall o \in J \quad (۱۰)$$

$$\sum_{o \in M} ZZ_{os} \leq p, \quad \forall s \in S \quad (۱۱)$$

$$\sum_{o \in P} \sum_{p \in P} v_g sd_{opg} \leq \sum_l cp_l Z_{pl}, \quad \forall p \in J, g \in G \quad (۱۲)$$

$$\sum_{p \in J} sd_{opg} \leq cps_{og}, \quad \forall o \in I, g \in G \quad (۱۳)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{p \in J} Y_{opgs}^v \leq \rho_{os} c p s_{og}, \quad \forall g \in G, o \in I, s \in S \quad (14)$$

$$\sum_{o \in P} \sum_{p \in P} Veh_{opv}^s \leq n v_{vs}, \quad \forall v \in V, s \in S \quad (15)$$

$$\sum_{p \in P} Veh_{opv}^s \leq M \cdot K_{opvs}, \quad \forall p \in P, v \in V, s \in S, o \in P \quad (16)$$

$$\sum v_g Y_{opgs}^v \leq c p v_v \cdot Veh_{opv}^s, \quad \forall p \in P, v \in V, s \in S, o \in P \quad (17)$$

$$\sum_{g \in G} w d_g Y_{opgs}^v \leq c p w_v \cdot Veh_{opv}^s, \quad \forall p \in P, v \in V, s \in S, o \in P \quad (18)$$

$$\sum_b X_{opbs}^v \leq c p l_v \cdot Veh_{opv}^s, \quad \forall p \in P, v \in V, s \in S, o \in P \quad (19)$$

$$\sum_{o \in R} \sum_v X_{opbs}^v \leq \rho_{ps} n b_{bp}, \quad \forall p \in H, b \in B, s \in S \quad (20)$$

$$\sum_{o \in R} Inj_{opb}^s \leq c p m_b Z Z_{pt}, \quad \forall p \in M, b \in B, s \in S \quad (21)$$

$$A f y_{ogs}, A f x_{obs}, s d_{opc} \geq 0, Veh_{opv}^s \geq 0 \text{ and integer}, \quad \forall b \in B, s \in S, o \in P, g \in G, p \in P \quad (22)$$

$$Y_{opgs}^v, x_{opbs}^v, Inj_{opb}^s \geq 0, Z_{ol}, Z Z_{os} \in \{0,1\}, \quad \forall l \in L, s \in S, o \in P \quad (23)$$

تابع هدف اول کمینه‌سازی کمبود کالاهای امدادی در مناطق بحران زده با توجه به اولویت هر یک از کالاها می‌باشد. تابع هدف دوم کمینه‌سازی هزینه‌های امداد رسانی می‌باشد. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های تاسیس مراکز توزیع و مراکز درمانی موقت، هزینه وسایل نقلیه، هزینه حمل و نقل افراد آسیب دیده و هزینه حمل کالاهای امدادی می‌باشد.

محدودیت (۳) برای کنترل جریان مجروحین در مناطق بحران زده می‌باشد. محدودیت (۴) میزان جریان کالاهای امدادی در مناطق بحران زده را نشان می‌دهد. محدودیت (۵) مربوط به جریان کالاهای امدادی در مراکز توزیع است و تضمین می‌کند که مقدار کالای ارسالی

توسط هر مرکز توزیع به مناطق آسیب دیده نباید بیشتر از ذخیره موجودی مرکز مورد نظر باشد. محدودیت‌های (۶) و (۷) به ترتیب بیانگر قابلیت وسایل نقلیه برای حمل انواع کالاهای امدادی و حمل انواع مجروحین هستند. این دو محدودیت به دو متغیر Y_{opgs}^v و X_{opbs}^v مقدار می‌دهد. محدودیت‌های (۸) و (۹) تضمین می‌کنند که انتقال مجروحین به مراکز درمانی موقت و جریان‌های ورودی و خروجی کالاها در مراکز توزیع تنها در صورت تاسیس این مراکز امکان پذیر است. محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد که در هر نقطه، قابلیت تاسیس مراکز توزیع حداکثر در یک اندازه وجود دارد. محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند که مراکز درمانی موقت حداکثر به تعدادی مشخص تاسیس شوند. محدودیت (۱۲) بیان می‌کند که در صورت تاسیس مرکز توزیع، ذخیره سازی در مرکز امکان پذیر است. در واقع این محدودیت کنترل کننده ظرفیت مراکز توزیع می‌باشد. محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) بیانگر ظرفیت تامین کنندگان کالاهای امدادی پیش و پس از وقوع بحران هستند. محدودیت (۱۵) مربوط به محدودیت تعداد وسیله نقلیه در دسترس می‌باشد و محدودیت (۱۶) تضمین می‌کند که جابه‌جایی وسایل نقلیه در مسیرها تنها در صورتی امکان پذیر است که کمان‌های مربوطه پس از وقوع بحران در دسترس باشند. محدودیت‌های (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) ظرفیت‌های وزنی و حجمی وسایل نقلیه برای حمل کالا و مجروحین را تضمین می‌کنند. محدودیت‌های (۲۰) و (۲۱) نیز تضمین کننده رعایت ظرفیت مراکز درمانی موجود و مراکز درمانی موقت پس از وقوع بحران هستند. محدودیت‌های (۲۳) و (۲۴) نیز محدودیت بدیهی مدل می‌باشد و نوع متغیرهای تصمیم مدل را مشخص می‌کنند.

مزایای مدیریتی مدل پیشنهادی

اگرچه اقدامات لجستیکی و عملیات تخلیه از اقدامات مهم جهت پاسخگویی به زلزله بوده و انجام درست این اقدامات می‌تواند اثرات چشمگیری بر خسارات جانی ناشی از زلزله داشته باشد اما اقدامات لجستیکی با توجه به ماهیت آن از اهمیت بیشتری برخوردار است. بدیهی است در چنین شرایطی باید کالاهای مورد نیاز نقاط آسیب دیده از انبارهای در

دست و یا تامین کنندگان مربوطه تهیه و برای مصدومان و خسارت دیدگان ارسال گردد و همچنین افراد مصدوم و زخمی نیز در سریعترین زمان ممکن مورد رسیدگی قرار گرفته و در صورت نیاز به مراکز درمان در دست منتقل گردند. از آنجاییکه در چنین شرایطی معمولاً با کمبود منابع، کالا و وسائط حمل و نقل جهت پاسخگویی بهینه وجود دارد، انجام برنامه ریزی مناسب جهت نیل به هدف کارایی و اثربخشی پاسخگویی با توجه به منابع و امکانات در دست از اهمیت فراوانی برخوردار است. اگر چه در حوادث کوچک که معمولاً کمبودهای ذکر شده کمتر مشاهده می شود، مدیران بحران می توانند این برنامه ریزی را تا حد قابل قبولی انجام دهند ولی چنانچه ابعاد حادثه بزرگتر شده و از یک منطقه کوچک فراتر رود به عبارتی تبدیل به فاجعه گردد مدیران بحران به تنهایی نمی توانند برنامه ریزی‌های مناسب را انجام دهند. در چنین شرایطی است که وجود یک ابزار مناسب برای تصمیم‌گیری و برنامه ریزی برای مدیران ضروری به نظر می رسد. به همین منظور این تحقیق بر آن است مدلی را ارائه نماید تا نیازمندی‌های مدیران را در شرایط مذکور فراهم سازد. ضمناً با توجه به اینکه در شرایط پاسخ معمولاً هدف اصلی، پاسخگویی سریع جهت حداقل ساختن نیازهای برآورده نشده است، در مدل ارائه شده در این تحقیق نیز سعی شده است که با لحاظ کردن شرایط واقعی لجستیکی، برنامه ای ارائه گردد که نیازهای برآورده نشده نقاط آسیب دیده و مصدومان را در دوره برنامه ریزی حداقل سازد. بنابراین این پژوهش سعی دارد در دو فاز آمادگی و پاسخگویی (قبل و بعد از وقوع بحران) به برنامه ریزی جهت مدیریت بحران بپردازد. زنجیره مطرح شده چهار سطحی بوده و شامل تامین کنندگان، توزیع کنندگان، مناطق بحران زده و مراکز درمانی می‌باشد. بهینه‌سازی همزمان مسائل مکان‌یابی پایگاه‌های امداد، تخصیص منابع، توزیع و ارسال امداد و تخلیه مجروحین از جمله نوآوری‌های این پژوهش می‌باشد. مدل ارائه شده جهت برقراری عدالت در توزیع کالاهای امدادی در هر یک از مناطق آسیب دیده حداقل یک پایگاه تاسیس کرده است. افزایش در تعداد و ظرفیت این مراکز با توجه به بحث هزینه و بودجه می تواند کمبود کالاهای امدادی را تا سطح قابل توجهی بهبود ببخشد.

روش حل

در این پژوهش با توجه به آن پی سخت بودن مدل از دو رویکرد محدودیت اپسیلون^۱، برای حل مدل در ابعاد کوچک و متوسط و الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب^۲، برای حل مدل در ابعاد بزرگ (مطالعه موردی) استفاده شده است. روش محدودیت اپسیلون یکی از رویکردهای شناخته شده برای مواجهه با مسائل چند هدفه که با انتقال تمامی توابع هدف به جز یکی از آن‌ها در هر مرحله به محدودیت‌ها، به حل این نوع مسائل می‌پردازد. مزیت اصلی این روش نسبت به سایر روش‌ها بهینه‌سازی چندهدفه کاربرد آن برای فضاهای حل غیر محدب است. در این روش همواره به بهینه‌سازی یکی از اهداف می‌پردازیم به شرطی که بالاترین حد قابل قبول را برای سایر اهداف در قالب محدودیت‌ها تعریف کنیم. همچنین برای حل مسئله در ابعاد بزرگ الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب استفاده شده است. این الگوریتم توسط نرم افزار متلب و در سیستم لپتاپ با ۸ گیگ حافظه جانبی، ویندوز ۱۰ و ۶۴ بیتی اجرا شده است.

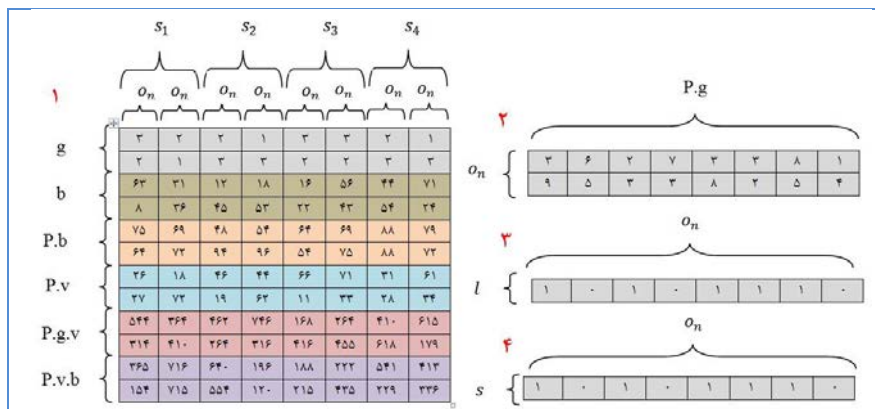
الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب

به طور کلی حلقه اصلی الگوریتم به کار گرفته شده به این ترتیب است که ابتدا به تعداد اندازه جمعیت جواب‌های تصادفی تولید می‌گردد. سپس مقادیر دو تابع هدف برای هر یک از جواب‌ها محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد جواب‌ها رتبه بندی می‌شوند. از بین جواب‌های رتبه بندی شده براساس مکانیزمی تعدادی والد برای عملیات تقاطع و جهش انتخاب می‌گردد و پس از چک کردن محدودیت‌ها مقادیر توابع هدف برای هر یک از جواب‌های تولید شده محاسبه می‌گردد. حال جواب‌های جدید در کنار جواب‌های اولیه قرار گرفته و بار دیگر جواب‌ها رتبه بندی می‌شوند. در انتها جمعیت اضافی از جواب‌ها حذف می‌گردند و به همین ترتیب تا زمانی که معیار توقف حاصل نشده الگوریتم تکامل می‌یابد (کاوه خلیلی دامغانی و همکاران). همانطور که در شکل ۲ مشخص است کروموزوم ارائه شده دارای چهار بخش

1 ϵ - constraint

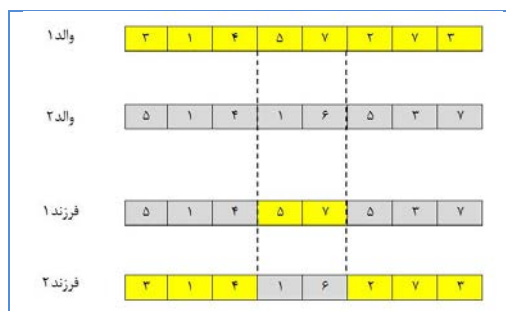
2 NSGA-II

می‌باشد. بخش اول دارای طول ثابت و عرض‌های مختلف می‌باشد. طول این کروموزوم به ازای هر سناریو و برای گره‌های گوناگون تعریف می‌شود. این کروموزوم برای تعریف متغیرهای Afx_{obs} ، Afy_{ogs} ، Inj_{opb}^s ، Veh_{opv}^s ، X_{opbs}^v و Y_{opgs}^v می‌باشد. بخش دوم کروموزوم برای تعریف متغیر sd_{opg} می‌باشد. همچنین بخش سوم و چهارم نیز به ترتیب برای تعریف متغیرهای Z_{ol} و ZZ_{os} می‌باشد.



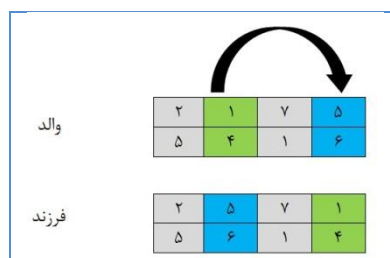
شکل ۲- کروموزوم طراحی شده

همانطور که در شکل ۳ مشخص است برای عملگر تقاطع از تقاطع دو نقطه ای^۱ استفاده شده است. در این روش دو مکان را به صورت تصادفی انتخاب کرده و مقادیر بین این دو نقطه را جابجا می‌کنیم.



شکل ۳- عملگر تقاطع دو نقطه ای

در این پژوهش برای عملگر جهش از رویکرد جهش جابجایی تعویض^۱ استفاده شده است. همانطور که در شکل ۴ مشخص است در این روش دو ستون از یک ماتریس بصورت تصادفی انتخاب می‌شود و جای آن دو با هم عوض می‌شود. برای بخش اول و دوم از این روش استفاده می‌شود. برای بخش سوم نیز یک ژن انتخاب می‌شود اگر صفر بود تبدیل به یک می‌شود و اگر یک بود صفر می‌شود.



شکل ۴- عملگر جهش

جهت به دست آوردن پیکربندی بهینه و مطلوب در الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب از ترکیب‌های متعددی از پارامترها استفاده شده است. تنظیمات مناسب پارامترهای ژنتیک رتبه بندی نامغلوب در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲- پارامترهای انتخاب شده برای الگوریتم پیشنهادی

ماکزیمم تکرار	اندازه جمعیت	نرخ نقاط	نرخ جهش
۲۰۰	۸۰	۰,۴	۰,۰۵

مطالعه موردی و نتایج محاسباتی

شهر تهران یکی از زلزله خیزترین شهرهای جهان بحساب می‌آید و در صورت وقوع زلزله آسیب‌ها و خسارات جبران ناپذیری رخ خواهد داد. منطقه یک تهران در شمالی ترین نقطه تهران در قسمت جنوبی رشته کوه‌های البرز قرار دارد. این منطقه در احاطه چهار گسل اصلی به نام‌های: گسل آهار، گسل شمال تهران، گسل مشا و گسل ری قرار گرفته است. این منطقه از ۱۰ ناحیه و ۲۶ محله تشکیل شده است. براساس داده‌های آماری وسعت این منطقه ۱۹۵ کیلومتر مربع می‌باشد و ۵۵۰۰۰۰ نفر جمعیت را در خود جای داده است. کارآمدی مدل

پیشنهادی با استفاده از اطلاعات واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. جدول ۳ سناریوهای مختلفی را که برای وقوع زلزله در منطقه یک شهر تهران تعریف شده‌اند، و همچنین احتمال وقوع آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳- احتمال وقوع سناریوهای مختلف

مدل گسل ری		مدل گسل مشا		مدل گسل شمال تهران		مدل گسل آهار		سناریوی زلزله
۶,۷		۷,۱		۷,۱		۶,۴		شدت وقوع
روز	شب	روز	شب	روز	شب	روز	شب	زمان وقوع
۰,۰۵۷۰	۰,۰۲۱۸	۰,۱۰۷۵	۰,۰۵۰۱	۰,۲۳۷۴	۰,۱۱۴۱	۰,۲۷۴۰	۰,۱۳۸۱	احتمال وقوع
۱۷,۷		۴۴,۱		۲۶,۴		۱۱,۸		درصد تخریب

جدول ۴ مجموعه نقاط بالقوه برای احداث مراکز توزیع کالاهای امدادی را نشان می‌دهد. ما، پایگاه‌های محلی مدیریت بحران در نواحی ده‌گانه منطقه یک را برای این منظور در نظر گرفته‌ایم. این مراکز می‌توانند در سه اندازه کوچک، متوسط و بزرگ احداث شوند که هر یک ظرفیت و هزینه‌های احداث مربوط به خود را دارد.

جدول ۴- مجموعه مکان‌های بالقوه برای احداث مراکز توزیع امداد

ردیف	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆	J ₇	J ₈	J ₉	J ₁₀
نام ناحیه	۱	۲	۳	۳	۴	۵	۷	۸	۹	۹
پایگاه مدیریت بحران	پایگاه آجودانیه	پایگاه الهیه	پایگاه باغ شاطر	پایگاه گلابدره	پایگاه جماران	پایگاه جعفرآباد	پایگاه تجریش	پایگاه اقدسیه	پایگاه اراج	پایگاه ازگل

جدول ۵ پایگاه‌های مدیریت بحران منطقه‌ای که نقش مجموعه تامین کنندگان کالاهای امدادی را ایفا می‌کنند، نشان می‌دهد.

جدول ۵- پایگاه‌های مدیریت بحران منطقه‌ای

ردیف	نام ناحیه	پایگاه مدیریت بحران (تامین کنندگان)
i ₁	۷	پایگاه قطریه
i ₂	۴	پایگاه نیاوران
i ₃	۲	پایگاه اوین
i ₄	۹	پایگاه اراج
i ₅	۶	پایگاه ارتش

با توجه به حجم بالای خسارات و تلفات ناشی از سناریوی گسل شمال تهران، ظرفیت‌های مراکز درمانی موجود در منطقه پاسخگوی تقاضاها نیستند و فرض می‌کنیم که حداکثر تعداد ۱۸ مرکز درمانی موقت با ظرفیت ۴۵۰۰ یا ۹۰۰۰ نفر در شبکه احداث می‌شوند. از آن جا که ساختار بافت‌های فرسوده شهری ناپایدار است و این بافت‌ها آسیب پذیری بیشتری در برابر حوادث طبیعی دارند، فرض کرده‌ایم که این بافت‌ها، مناطق آسیب دیده و نقاط تقاضا را تشکیل می‌دهند. این مناطق در جدول ۶ آمده‌اند.

جدول ۶- مناطق آسیب دیده

ردیف	نام ناحیه	مناطق آسیب دیده	ردیف	نام ناحیه	مناطق آسیب دیده
r ₁	۱	کامرانیه	r ₁₁	۵	افدسیه
		پاسداران	r ₁₂		کاشانک
r ₃	۲	درکه	r ₁₃	۷	باغ فردوس
		ولنجک	r ₁₄		قیطریه
		سعدآباد	r ₁₅		تجریش
r ₆	۳	گلابدره	r ₁₆	۸	دزاشیب
		دربند	r ₁₇		اندرزگو
r ₈	۴	حصارک	r ₁₈	۹	اراج
		جماران	r ₁₉		ازگل
		جمشیدیه			

مجموعه مراکز درمانی موجود منطقه در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷- مراکز درمانی

ردیف	نام ناحیه	بیمارستان	ظرفیت پذیرش	ردیف	نام ناحیه	بیمارستان	ظرفیت پذیرش
h ₁	۲	رضایی	۱۶۰۰۰	h ₇	۶	۵۰۵ ارتش	۵۱۵۰
h ₂	۲	شهید باهنر	۳۱۰۰	h ₈	۶	جماران	۱۰۰۰۰
h ₃	۳	ساسان	۱۱۶۵۰	h ₉	۶	محک	۱۲۰۰۰
h ₄	۴	شهدای تجریش	۴۸۰۰	h ₁₀	۷	چمران	۱۱۰۰۰
h ₅	۴	فرمانیه	۵۸۰۰	h ₁₁	۹	مسیح دانشوری	۱۲۱۰۰
h ₆	۴	نیکان	۶۱۰۰	-	-	-	-

برای کاهش زمان خدمت‌دهی به مجروحین، انتقال آن‌ها به مراکز درمانی موجود، هم به طور مستقیم و هم از طریق نقاط انتقال امکان پذیر است. جدول ۸ مکان‌های بالقوه برای تاسیس نقاط انتقال را نشان می‌دهد.

جدول ۸- مکان‌های بالقوه برای تاسیس نقاط انتقال

ردیف	نام ناحیه	نقاط انتقال	ردیف	نام ناحیه	نقاط انتقال
۱	۲	فرهنگسرای نیاوران	۵	۵	موزه دارآباد
۲	۳	کاخ سعد آباد	۶	۷	بوستان قیطریه
۳	۴	فرهنگسرای ملل	۷	۷	امامزاده قاسم
۴	۵	سینما جوان	۸	۹	کاخ ملت

اطلاعات مربوط به ظرفیت تسهیلات و ناوگان وسایل نقلیه نیز در جدول‌های ۹ و ۱۰ آمده‌اند. فرض شده است که تامین کنندگان در فاز پس از بحران تنها از ۷۵ درصد ظرفیت خود بتوانند استفاده کنند. همچنین، فرض شده است که تعداد ۷۰ کامیون باری در شبکه موجود است و بیمارستان تعداد ۱۰ آمبولانس برای اعزام به مناطق آسیب دیده در دست دارد.

جدول ۹- ظرفیت تامین کنندگان

غذا	آب	چادر	تامین کننده
۴۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	پایگاه قطریه
۴۵۰۰۰۰	۴۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	پایگاه نیاوران
۷۰۰۰۰۰	۶۵۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	پایگاه اوین
۵۵۰۰۰۰	۵۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	پایگاه اراج
۶۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	پایگاه ارتش

جدول ۱۰- پارامترهای مربوط به ناوگان حمل و نقل

تعداد وسایل در دسترس	ظرفیت نفرات	ظرفیت وزنی (kg)	ظرفیت حجمی (m ³)	نوع وسیله نقلیه	وسیله نقلیه
۷۰	۰	۲۲۰۰۰	۱۲	کامیون	V ₁
۱۰	۶	۵۰۰	۶	هلیکوپتر	V ₂
۵۵	۲	۳۰۰	۴	آمبولانس	V ₃

جدول ۱۱ هزینه تاسیس انواع مراکز توزیع را از نظر اندازه مشخص می کند.

جدول ۱۱- هزینه های مربوط به تاسیس مراکز توزیع امداد

هزینه احداث (10 ³ \$)	اندازه	مراکز توزیع
۱۵۰	کوچک	l ₁
۱۸۰	متوسط	l ₂
۲۰۰	بزرگ	l ₃

جدول ۱۲- نتایج حل در ابعاد کوچک و متوسط

در صد خطا		مرتب سازی غیر غالب			محدودیت اپسیلون			ردیف
f_2	f_1	زمان (ثانیه)	$10^6 f_2$	f_1	زمان (ثانیه)	$10^6 f_2$	f_1	
۰	۰	۲	۱۶۶,۶	۳۸۶	۲	۱۶۶,۶	۳۸۶	۱
۰	۰,۹۵	۶	۱۷۳,۱	۴۲۱	۳۳	۱۷۳,۱	۴۱۷	۲
۱,۲۲	۰,۵۶	۷	۱۷۹,۶	۵۲۸	۴۸	۱۷۷,۴	۵۲۵	۳
۰,۷۰	۰,۸۷	۱۳	۱۹۷,۴	۵۷۱	۹۶	۱۹۶,۰	۵۶۶	۴
۰,۹۶	۰	۱۴	۲۱۸,۰	۶۷۳	۱۳۴	۲۱۵,۹	۶۷۳	۵
۰,۷۶	۰,۴۴	۲۸	۵۰۸,۱	۱۳۳۴	۹۸۳	۵۰۴,۲	۱۳۲۸	۶
۰,۶۹	۰,۴۸	۳۲	۶۱۸,۸	۱۴۴۹	۱۳۴۴	۶۱۴,۵	۱۴۴۲	۷
۰,۴۸	۰,۶۷	۳۹	۶۸۳,۳	۱۴۸۳	۲۸۳۰	۶۸۰,۸	۱۴۷۳	۸
۰,۶۶	۰,۸۹	۵۱	۷۹۶,۴	۱۶۷۴	۴۲۱۱	۷۹۱,۱	۱۶۵۹	۹
۰,۹۵	۱,۰	۶۵	۸۷۱,۰	۱۷۹۹	۷۰۷۶	۸۶۲,۷	۱۷۸۱	۱۰
۰,۶۴	۰,۵۸	۲۵,۷	۴۴۱,۲۳	۱۰۳۱,۸	۱۶۷۵,۷	۴۳۸,۲۳	۱۰۲۵	میانگین

جدول ۱۲ نتایج حل مدل پیشنهادی را در ابعاد کوچک و متوسط نشان می‌دهد. در این جدول نتایج حل دقیق با استفاده از روش محدودیت اپسیلون و نتایج حل فراابتکاری توسط الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب نمایش داده شده است. در این جدول ۱۰ مثال بررسی شده است که ۵ مورد اول در ابعاد کوچک و ۵ مورد بعدی در ابعاد متوسط می‌باشد. همچنین زمان حل هر یک از روش‌ها و مقادیر درصد خطا که بیانگر اختلاف بین حل دقیق و فراابتکاری است در سطر آخر آورده شده است. همانطور که مشخص است میانگین درصد خطاهای مقادیر تابع هدف زیر یک درصد می‌باشد و این خطا برای تابع هدف اول برابر ۰,۵۸ و برای تابع هدف دوم ۰,۶۴ می‌باشد. با توجه به اختلاف کم خطای دو الگوریتم صحت عملکرد و کارایی الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب اثبات می‌شود و می‌توان برای حل مسائل در ابعاد بزرگ نیز به ژنتیک رتبه بندی نامغلوب اعتماد کرد. نتایج حل بیانگر آن است که با بزرگتر

شدن ابعاد مسئله زمان حل هر دو روش افزایش می‌یابد البته سرعت افزایش زمان حل روش محدودیت اپسیلون بمراتب بیشتر از ژنتیک رتبه بندی نامغلوب می‌باشد. میانگین زمان حل برای روش محدودیت اپسیلون برابر ۱۶۷۵,۷ ثانیه و برای ژنتیک رتبه بندی نامغلوب برابر ۲۵,۷ ثانیه می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج جدول ۱۲ می‌توان برای حل مسائل در ابعاد بزرگ به الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب اعتماد کرد و عملکرد قابل قبولی را انتظار داشت.

• اعتبار سنجی با معیار میانگین فاصله ایده آل^۱:

این معیار به منظور محاسبه میانگین فاصله جواب‌های پارتو از مبدا مختصات استفاده می‌شود. در رابطه زیر مشخص است که هر چه این معیار کمتر باشد، کارایی الگوریتم بیشتر خواهد بود. بصورتی که f_{ji} مقدار [امین تابع هدف می‌باشد و مقادیر $f_{j,total}^{min}$; $f_{j,total}^{max}$ مینیمم و ماکزیمم مقدار [امین تابع هدف در بین راه حل‌های پارتو می‌باشد (خویشندار و زندیه، ۲۰۱۶).

$$MID = \frac{\sum_i^n \sqrt{\left(\frac{f_{1i} - f_1^{best}}{f_{1,total}^{max} - f_{1,total}^{min}}\right)^2 + \left(\frac{f_{2i} - f_2^{best}}{f_{2,total}^{max} - f_{2,total}^{min}}\right)^2}}{n} \quad (24)$$

• اعتبار سنجی با معیار فاصله گذاری^۲:

این معیار که از جمله معیارهای اندازه گیری چگالی در فاصله است و فاصله نسبی جواب‌های متوالی را محاسبه می‌کند (کومار و گوریا، ۲۰۱۷).

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |d_i - \bar{d}|}{(n-1)\bar{d}} \quad (25)$$

1 Mean Ideal Distance (MID)

2 Spacing Metric (SM)

در واقع معیار فاصله گذاری، انحراف معیار مقادیر مختلف d_i را محاسبه می‌کند. طبق معادله ۲۵ زمانی که جواب‌ها به طور یکنواخت در کنار هم قرار گرفته باشند، آنگاه مقدار فاصله گذاری نیز کوچک خواهد بود. بنابراین الگوریتمی که جواب‌های غیر مغلوب نهایی آن دارای مقدار فاصله گذاری کوچکی باشند، مطلوب تر خواهد بود.

جدول ۱۳- نتایج اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی

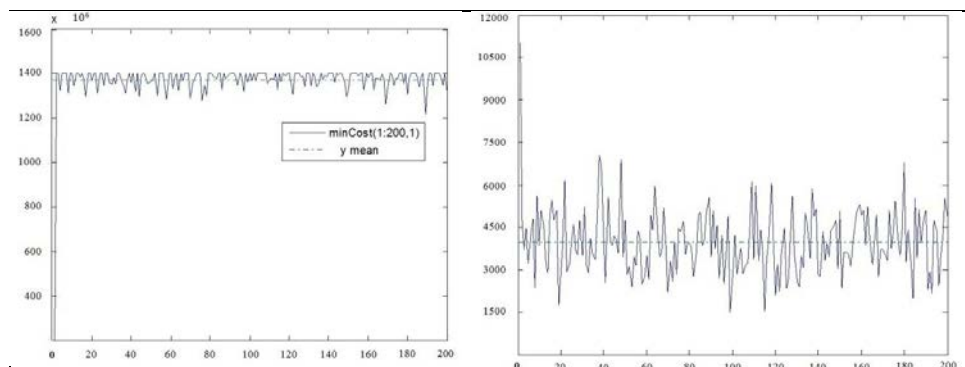
MID		SM		ردیف
محدودیت اپسیلون	مرتب سازی نامغلوب	محدودیت اپسیلون	مرتب سازی نامغلوب	
۵,۴۳	۵,۵۲	۰,۱۹	۰,۶۶	۱
۵,۴۴	۵,۵۵	۰,۳۴	۰,۸۸	۲
۵,۵۰	۵,۶۱	۰,۲۲	۱,۰۶	۳
۵,۶۱	۵,۶۳	۰,۳۸	۱,۲۲	۴
۵,۶۸	۵,۷۲	۰,۲۵	۰,۸۵	۵
۵,۶۳	۵,۶۷	۰,۳۱	۱,۱۳	۶
۵,۷۳	۵,۷۷	۰,۳۱	۱,۴۰	۷
۵,۷۰	۵,۷۵	۰,۲۷	۱,۰۸	۸
۵,۷۶	۵,۸۰	۰,۳۹	۰,۹۲	۹
۵,۸۲	۵,۸۸	۰,۲۳	۱,۲۸	۱۰
۵,۶۳	۵,۶۹	۰,۲۸۹	۱,۰۴۸	میانگین

در جدول ۱۳ از دو شاخص MID و SM برای ارزیابی عملکرد مدل در دو سایز کوچک و متوسط استفاده شده است. میانگین شاخص MID برای روش محدودیت اپسیلون و ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب بترتیب برابر ۵,۶۳ و ۵,۶۹ و میانگین شاخص SM برای محدودیت اپسیلون و ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب بترتیب برابر ۰,۲۸۹ و ۱,۰۴۸ می‌باشد. بنابراین همانطور که انتظار می‌رود شاخص‌های ارزیابی عملکرد برای روش محدودیت اپسیلون در ابعاد کوچک و متوسط بهتر از ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب بوده و در عین حال این مقادیر برای و الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب قابل پذیرش و قابل اعتماد می‌باشد.

جدول ۱۴- نتایج حل مطالعه موردی

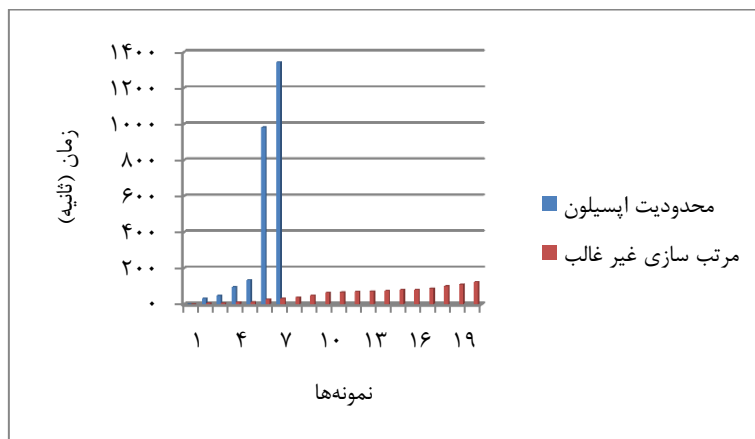
ردیف	ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب		
	زمان	f_1	$f_2 \times 10^6$
۱	۶۸	۳۷۳۱	۱۳۸۸,۳
۲	۷۲	۳۷۰۹	۱۳۹۲,۶
۳	۷۳	۳۸۶۴	۱۳۹۸,۰
۴	۷۵	۳۸۸۷	۱۴۱۳,۱
۵	۸۱	۳۹۰۲	۱۴۲۲,۹
۶	۸۳	۳۹۸۳	۱۴۲۵,۳
۷	۸۹	۴۱۱۸	۱۴۳۷,۴
۸	۱۰۱	۴۲۹۲	۱۴۴۰,۵
۹	۱۱۱	۴۳۳۷	۱۴۴۵,۲
۱۰	۱۲۴	۴۳۱۹	۱۴۴۹,۹
میانگین	۸۷,۷	۴۰۱۴,۲	۱۴۲۱,۳
			۲

باتوجه به دو هدفه بودن مسئله ۲۰۰ جواب پارتو برای حل مسئله تولید شده است. جدول ۱۴ ده عدد از جواب‌های بهینه پارتو به همراه زمان حل هر یک از جواب‌ها آورده شده است. میانگین جواب‌های پارتو برای تابع هدف اول برابر ۴۰۱۴,۲ و برای تابع هدف دوم برابر $10^6 \times 1421,32$ می‌باشد. میانگین زمان حل مطالعه موردی نیز برابر ۸۷,۷ ثانیه می‌باشد.



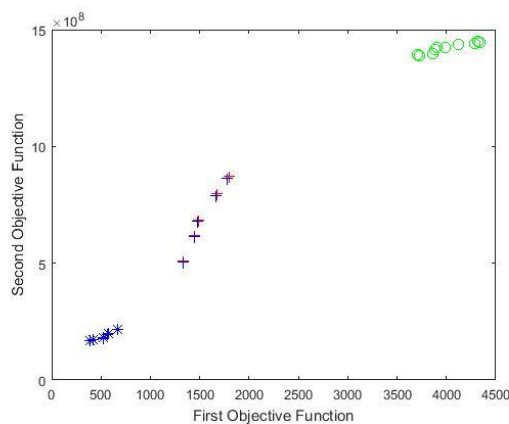
شکل ۵- همگرایی جواب‌ها در مطالعه موردی

در شکل ۵ جواب‌هایی که دارای کیفیت منطقی می‌باشند برای تابع هدف اول از اجرای بیست و دوم و برای تابع هدف دوم از اجرای سوم شروع می‌شود. بنابراین با توجه به شکل ۵ همگرایی جواب‌های حاصله از الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب برای تابع هدف اول و دوم اثبات می‌شود.



شکل ۶- بررسی زمان‌های حل

شکل ۶ زمان حل مسئله را در ابعاد کوچک متوسط و بزرگ نشان می‌دهد. همانطوری که در شکل مشاهده می‌شود زمان حل الگوریتم دقیق با توجه به افزایش ابعاد مسئله به شدت افزایش می‌یابد و قابل مقایسه با زمان حل الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب نمی‌باشد. بنابراین علاوه بر کیفیت بهتر جواب‌ها، زمان حل الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب بسیار بهتر از زمان حل محدودیت افسیلون عمل می‌کند.



شکل ۷- نمایش نقاط پارتو

شکل ۷ مقادیر بهینه نقاط پارتو را نمایش می‌دهد. این شکل شامل سه بخش می‌باشد. بخش اول و دوم مقایسه مقادیر پارتو با دو روش ژنتیک رتبه بندی نامغلوب و محدودیت اپسیلون در دو سائز کوچک و متوسط می‌باشد. محور افقی نشان دهنده مقادیر تابع هدف اول و محور عمودی نشان دهنده مقادیر تابع هدف دوم می‌باشد. همانطور که در جدول ۱۲ نیز مشخص است مقادیر این دو روش در ابعاد کوچک و متوسط بسیار نزدیک بهم بوده است. فاصله ای که بین سه دسته جواب در شکل وجود دارد بدلیل پرش از جواب‌های ابعاد کوچک به متوسط و بزرگ می‌باشد. در نهایت نقاطی که با رنگ سبز در این شکل مشخص شده است نقاط پارتو در مطالعه موردی را نشان می‌دهد. در ادامه، به منظور درک بهتر مدل ارائه شده برخی از نتایج برای یک نقطه پارتو دلخواه در خصوص تخلیه و امدادسانی به مجروحین در فاز پس از وقوع بحران ارائه می‌شود. جدول ۱۵ مراکز توزیع احداث شده در هر یک از نقاط بالقوه را با ظرفیت بهینه آنها نشان می‌دهد.

جدول ۱۵- مراکز توزیع احداث شده، ظرفیت بهینه و مقادیر ذخیره موجودی آنها

مرکز توزیع	اندازه مرکز توزیع احداث شده	مقدار ذخیره موجودی در مراکز توزیع		
		چادر	آب	غذا
۱	متوسط	۲۱۵۳۳	۱۶۸۲۱۵	۱۸۴۷۲۱
۲	متوسط	۱۵۶۰۷	۱۲۲۴۶۱	۱۷۷۵۱۰
۳	بزرگ	۳۸۴۲۳	۲۵۵۳۰۰	۳۵۵۸۰۵
۴	بزرگ	۴۶۵۹۰	۲۰۰۱۷۸	۳۶۲۷۱۴
۵	بزرگ	۴۱۷۰۹	۲۶۰۷۴۰	۳۰۵۶۴۳
۶	کوچک	۸۱۳۵	۹۳۵۳۱	۱۰۰۴۲۴
۷	متوسط	۱۸۴۰۲	۱۷۷۸۱۳	۱۶۹۷۶۶
۸	بزرگ	۳۶۷۱۱	۲۸۳۵۶۷	۳۱۶۷۱۶
۹	کوچک	۹۳۸۴	۸۹۴۸۸	۸۶۹۵۹

در ادامه، نتایج حل مدل در خصوص تخلیه و امدادسانی به مجروحین در فاز پس از وقوع بحران ارائه می‌شود. جدول ۱۶ مناطق آسیب دیده‌ای را که در آنها مراکز درمانی موقت برای امدادسانی به مجروحین احداث شده‌اند و همچنین تعداد افراد خدمت‌دهی شده در این مراکز را نشان می‌دهد.

جدول ۱۶- مراکز درمانی موقت احداث شده و تعداد مجروحین ارسالی به مراکز

مراکز درمانی موقت احداث شده	مجروحین		مراکز درمانی موقت احداث شده	مجروحین	
	متوسط	خفیف		متوسط	خفیف
پاسداران	۴۳۷۱	۷۹۵۰	نیاوران	۳۰۰۸	۷۶۵۴
سعدآباد	۳۶۱۸	۷۶۲۵	دزاشیب	۵۴۷۳	۸۵۴۱
گلابدره	۵۱۵۰	۵۴۶۱	آراج	۵۸۲۹	۳۵۰۰
کاشانک	۲۸۱۹	۴۳۳۰	تجریش	۳۳۷۶	۴۸۱۹
قیطریه	۳۴۶۶	۶۱۹۷	ازگل	۵۴۲۱	۵۰۸۰

نتیجه گیری

مدل زنجیره امداد جامع و یکپارچه طراحی شده، امکان بهینه‌سازی هم‌زمان فعالیت‌های مدیریت بحران را داراست. زنجیره امداد پیشنهادی از چهار سطح اصلی تشکیل می‌شود. در این مطالعه، سه نوع کالای امدادی از قبیل چادر، آب و مواد غذایی در نظر گرفته شدند. برای محاسبه تقاضای مورد نیاز برای این کالاها حین وقوع زلزله فرض شده است که در طی ۷۲ ساعت اول (زمان طلایی) واکنش به بحران، یک چادر تنها یک بار به هر خانواده که ساختمانش ویران شده باشد، تحویل داده می‌شود.

با توجه به آن پی سخت بودن مدل در ابعاد کوچک و متوسط از روش محدودیت اِپسیلون و برای مطالعه موردی از الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب استفاده شده است. میانگین مقادیر تابع هدف اول و دوم در روش محدودیت اِپسیلون بترتیب برابر ۱۰۲۵ و $۱۰^۶ * ۴۳۸,۲۳$ و در روش ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب بترتیب برابر $۱۰۳۱,۸$ و $۱۰^۶ * ۴۴۱,۲۳$ می‌باشد. بنابراین با توجه به اینکه میزان خطا زیر یک درصد می‌باشد از روش ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب برای حل مطالعه موردی استفاده شده است. میانگین مقدار توابع هدف اول و دوم برای مطالعه موردی بترتیب برابر $۴۰۱۴,۲$ و $۱۰^۶ * ۱۴۲۱,۳۲$ می‌باشد. میانگین زمان حل مطالعه موردی نیز برابر ۸۷,۷ ثانیه می‌باشد.

مدل ارائه شده تعداد مراکز توزیع احداث شده، ظرفیت بهینه، مقادیر ذخیره موجودی آن‌ها، مقدار کالاهای امدادی تامین شده توسط تامین کنندگان در فاز پس از بحران، مکانیابی مراکز درمانی موقت احداث شده و تعداد مجروحین ارسالی به مراکز و تعداد مجروحین ارسالی به مراکز درمانی موجود را مشخص می‌کند. در زیر پیشنهاداتی برای مطالعات آتی ارائه گردیده است:

- ۱- استفاده از سایر رویکردهای عدم قطعیت در مدلسازی، به عنوان مثال مقادیر عرضه، تقاضا و هزینه‌ها فازی در نظر گرفته شود
- ۲- در نظر گرفتن سایر جنبه‌های مدیریت بحران در مدلسازی ریاضی، به عنوان مثال مسیریابی و کنترل موجودی در امداد بحران

- ۳- مدل پیشنهادی ما روی مطالعه موردی در منطقه یک شهر تهران به کار گرفته شد. استفاده از مدل ارائه شده برای سایر نواحی تهران می‌تواند برای مطالعات آینده راهگشا باشد.
- ۴- استفاده از مفاهیم تئوری بازی‌ها و طراحی یک بازی همکارانه بین اعضای زنجیره امداد نیز می‌تواند برای مطالعات آینده راهگشا باشد.

منابع

- آراسته، کریم. بزرگی امیری، علی. جبل عاملی، محمدسعید. (۱۳۹۴). «مکانیابی چندگانه تسهیلات و نقاط انتقال مجروحین در زمان بحران»، مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، دوره ۴۴، شماره اول، ۲۱-۳۱
- بزرگی امیری، علی. صبوحی، فاطمه. توکلی، زینب السادات. مراد حاصلی، نیلوفر. (۱۳۹۵). «ارائه مدل مکانیابی تخصیص برای تخلیه افراد و توزیع کمک‌های امدادی در فاز پاسخ به بحران»، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۳، شماره ۲۷، ۴۰۴-۴۱۷
- بزرگی امیری، علی. فتاحی، سید آرمین. (۱۳۹۴). «ارائه یک مدل لجستیک چند هدفه فازی برای توزیع اقلام امدادی و تخلیه مصدومین در زمان بحران»، مهندسی صنایع و مدیریت شریف، دوره ۳۱، شماره ۱، ۱۵-۲۳
- عشقی، کوروش. نجفی، مهدی. (۱۳۹۱). «ارائه یک مدل برنامه ریزی لجستیکی جهت بهبود در فاز پاسخگویی به زلزله»، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۲۳، شماره ۴، ۴۰۱-۴۱۶
- علی نژاد، علیرضا. سالاری، سامرند. سیف، آزاده. (۹۱)، «توسعه مدل مکان یابی شبکه ای در حالت عدم قطعیت (حالت استوار)»، فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، شماره ۲۶، ۱۱۵-۱۳۸
- وحدانی، بهنام. (۱۳۹۵). «طراحی و حل مدل چند هدفه بهینه سازی برای شبکه‌های خدمات درمانی با اثر ریسک ادغام تحت شرایط عدم قطعیت: روش بهینه سازی استوار»، فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، دوره ۱۴، شماره ۴۱، ۶۵-۱۰۷

Abounacer, R, Rekik, M, Renaud, J. (2014), An exact solution approach for multi-objective location-transportation problem for disaster response, Computers & Operations Research Volume 41, 83-93

Cavdur, F, Kose-Kucuk, M, Sebatli, A. (2016), Allocation of temporary disaster response facilities under demand uncertainty: An earthquake case study, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 19, 159-166

Chen, A, Yu, T.Y. (2016), Network based temporary facility location for the Emergency Medical Services considering the disaster induced demand and the transportation infrastructure in disaster response, *Transportation Research Part B*, Volume 91, 408–423

Chu, X, Yan Zhong, Q. (2015), Post-earthquake allocation approach of medical rescue teams, *Nat Hazards*, Volume 79, Issue 3, 1809–1824

Douglas A, Alistair C, Alfredo M, (2016), Stochastic Network Models for Logistics Planning in Disaster Relief, *European Journal of Operational Research*, Volume 255, Issue 1, 187–206.

Fereiduni, M, Shahanaghi, K, (2017), A Robust Optimization Model for Distribution and Evacuation in the Disaster Response Phase, *Journal of Industrial Engineering International*, Volume 13, Issue 1, 117–141

Khalili-Damghani, K, Abtahi, A.R, Ghasemi, A. (2015), A New Bi-objective Location-routing Problem for Distribution of Perishable Products: Evolutionary Computation Approach, *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms in Operations Research*, Volume 14, Issue 3, pp 287–312

Khishtandar, S, Zandieh, M. (2016), Comparisons of some improving strategies on NSGA-II for multi-objective inventory system, *Journal of Industrial and Production Engineering*, Volume 34, 61-69

Kumar, M, Guria, C. (2017), The elitist non-dominated sorting genetic algorithm with inheritance (i-NSGA-II) and its jumping gene adaptations for multi-objective optimization, *Information Sciences*, Volume 382, 15-37

Lu C.C, Sheu J.B. (2013), Robust vertex p-center model for locating urgent relief distribution centers, *Computers & Operations Research*, Volume 40, 2128–2137

Mahootchi, M, Golmohammadi, S. (2017), Developing a new stochastic model considering bi-directional relations in a natural disaster: a possible earthquake in Tehran (the Capital of Islamic Republic of Iran), *Annals of Operations Research*, 1-35

Mohamadi, A, Yaghoubi, S, (2017), A bi-objective stochastic model for emergency medical services network design with backup services for disasters under disruptions: An earthquake case study, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 23, 204-217

Mohammadi, R, Fatemi Ghomi, S.M.T., Jolai, F, (2016), Pre-positioning Emergency Supplies for Earthquake Response: A New Multi-Objective Particle Swarm Optimization Algorithm, Applied Mathematical Modelling, Volume 40, Issues 9, 5183-5199

Salehi, F, Mahootchi, M, Moattar Hussein, (2017), S.M, Developing a Robust Stochastic Model for Designing a Blood Supply Chain Network in a Crisis: A Possible Earthquake in Tehran, Ann Oper Res, 1-25

Xu, J, Yin, X, Chen, D, Nie, G, (2016), Multi-Criteria Location Model of Earthquake Evacuation Shelters to Aid in Urban Planning, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 20, 51-62

Zahiri, B. Torabi, S.A., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017), A Novel Multi-Stage Possibilistic Stochastic Programming Approach (with an Application in Relief Distribution Planning), Information Sciences, Volume 385, 225-249

Zokaei, S, Bozorgi-Amiri, A, Sadjadi, S.J, (2016), A Robust Optimization Model for Humanitarian Relief Chain Design under Uncertainty, Applied Mathematical Modelling, Volume 40, Issues 17-18, 7996-8016