

بهبود کیفیت انتقال مصدومان هنگام وقوع بلایای طبیعی از نقاط مختلف جغرافیایی

محمدعلی بهشتی‌نیا* - استادیار دانشکده مهندسی مواد و صنایع، دانشگاه سمنان
مصطفی مقیمی - کارشناس ارشد MBA - مدیریت عملیات دانشکده مهندسی مواد و صنایع، دانشگاه سمنان

تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۱/۲۳

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۰۸

چکیده

جولوگیری از تبدیل بلایای طبیعی به فجایع طبیعی مستلزم افزایش توان مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های مدیریت بحران است. به این منظور، سیستم حمل‌ونقل مصدومان هنگام تخریب زیرساخت‌های شهری نقش غیرقابل‌انکاری ایفا می‌کند؛ بنابراین، وجود یک سیستم حمل‌ونقل اضطراری مبتنی بر علوم مهندسی و کاربردی در چنین شرایطی ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش، سیستم حمل‌ونقل مصدومان به مراکز درمانی با رویکرد انتقال دومرحله‌ای و حمل‌ونقل اشتراکی معرفی شده است. در این رویکرد، مصدومان در مرحله اول به‌طور مستقیم به مراکز امدادی واسط و در مرحله دوم به‌صورت اشتراکی و با استفاده از امداد هوایی به مراکز درمانی اصلی منتقل می‌شوند. هدف تعیین نحوه تخصیص مصدومان به وسایل نقلیه امدادی، تعیین اولویت حمل آن‌ها و مسیریابی وسایل نقلیه امدادی به نحوی است که زمان انتظار مصدومان به‌منظور رسیدن به مراکز درمانی اصلی کمینه شود. پیچیدگی این مسئله از نوع NP-hard است، در نتیجه حل بهینه آن در زمان معقول با استفاده از روش‌های دقیق ممکن نیست. به همین منظور، از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل استفاده و سپس نتایج در سه سناریوی مختلف تحلیل شده است. سناریوی اول انتقال مستقیم مصدومان به مراکز درمانی اصلی، سناریوی دوم انتقال مستقیم مصدومان به مراکز امدادی واسط و حمل زمینی و غیراشتراکی آن‌ها به سوی مراکز درمانی اصلی و سناریوی سوم رویکرد پیشنهادی پژوهش است. به‌منظور بررسی عملکرد هریک از سناریوها، ۲۱۶ مسئله برای پوشش طیف متنوعی از شرایط اضطرار در نظر گرفته شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد سناریوی سوم تأخیر کمتری در رسیدن مصدومان به مراکز درمانی اصلی در پی دارد که به‌طور مستقیم موجب بهبود کیفیت در انتقال مصدومان می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، انتقال دومرحله‌ای، بلایای طبیعی، حمل‌ونقل اشتراکی، زیرساخت شهری.

مقدمه

جلوگیری از تبدیل شدن بلایای طبیعی (سیل، زلزله، سونامی، فوران آتشفشان، توفان و...) به فاجعه‌های طبیعی و آثار ناشی از آن مستلزم افزایش توان مدیریتی بحران است. فرستادن مصدومان به مراکز درمانی از مهم‌ترین فعالیت‌های لجستیکی پس از یک سانحه طبیعی است (نجفی و دیگران، ۱۳۹۳). همچنین، بروز بلایای طبیعی و در پی آن تخریب راه‌های ارتباطی معمول موجب ناتوانی ناوگان حمل‌ونقل زمینی و در نتیجه تأخیر زیاد در رسیدن آسیب‌دیدگان به مراکز درمانی اصلی می‌شود. باید به این نکته توجه داشت که در صورت بروز آسیب احتمالی چه هزینه‌هایی ایجاد می‌شود. اگر بپذیریم کاهش خطر با هزینه همراه است و میزان آن به نوع خطر وابسته است، این را پذیرفته‌ایم که ایمنی خریدنی است (اسمیت، ۱۳۸۲). در این تحقیق، سرمایه‌گذاری برای نجات سریع‌تر جان انسان‌ها بررسی شده است. در فاز آمادگی برای پاسخگویی مناسب در هنگام وقوع بحران، برنامه‌ها و راهکارهایی طراحی می‌شوند که مدیریت حمل‌ونقل بحران از مهم‌ترین آن‌هاست (احمدی و دیگران، ۱۳۹۲).

برنامه‌ریزی لجستیکی در شرایط وقوع بحران و بلایا، یکی از فعالیت‌های کلیدی مدیریت امداد بلایا است (امیری و دیگران، ۱۳۸۹). با وجود این شرایط اضطراری و پیچیده، تصمیم‌گیرنده باید با سرعت و دقت عملیات امداد و نجات را مدیریت کند و بتواند به نیازهای موجود در کمترین زمان پاسخ دهد (داگلاس، ۱۹۹۷). از این رو، یکی از مهم‌ترین فعالیت‌ها در ساعات اولیه حادثه، مدیریت حمل‌ونقل مصدومان است که باید به نحوی مؤثر انجام پذیرد (جبل‌عاملی و دیگران، ۱۳۹۰). آراسته و دیگران (۱۳۹۴) مدلی را برای مکان‌یابی چندگانه تسهیلات و نقاط انتقال مصدومان در زمان بحران پیشنهاد دادند. در مدل آن‌ها، وسایل نقلیه مورد استفاده بین نقاط انتقال و تسهیلات (مرحله دوم حمل) نسبت به وسایل نقلیه مورد استفاده بین نقاط وقوع بحران تا نقاط انتقال (مرحله اول حمل) سریع‌تر در نظر گرفته شده‌اند. در این تحقیق، از حمل‌ونقل اشتراکی استفاده نشده است، ولی نتایج بیان‌کننده بهبود استفاده از حمل‌ونقل هوایی در مرحله دوم است. پورمحمدی و دیگران (۱۳۹۴) نقش پدافند غیرعامل و ایجاد کاربری‌های چندمنظوره را با رویکرد آینده‌نگری توسعه و امنیت پایدار شهری با تأکید بر زلزله‌خیزی تبریز بررسی کرده‌اند. آن‌ها مکان‌یابی امن‌ترین محل‌های اسکان را با استفاده از نرم‌افزار GIS مطالعه کرده‌اند و از عواملی همچون در نظر گرفتن بهترین محل‌های اسکان، امدادسانی سریع به منظور کاهش آمار تلفات، فراهم کردن حمل‌ونقل هوایی و آسان و... به عنوان عوامل ضروری و کاهنده آمار تلفات نام برده‌اند. در پژوهش امیری و دیگران (۱۳۹۴) از حمل‌ونقل اضطراری پس از زلزله به عنوان یکی از حیاتی‌ترین موارد مهم پس از زلزله یاد شده است. همچنین، رویکرد آینده‌پژوهی یکی از ضروریات درک و کشف تأثیر سوانح طبیعی بر شریان حمل‌ونقل درون‌شهری محسوب شده است. در این پژوهش بهینه‌سازی صورت نگرفته است، ولی الگوریتم‌های شهری قابل استناد برای نهادها به منظور بهبود حمل‌ونقل اضطراری به‌ویژه پس از زلزله ارائه شده است. نجفی و دیگران (۱۳۹۳) مدلی یکپارچه را به منظور پاسخ به زلزله اولویت‌بندی کرده‌اند و ارائه داده‌اند که در آن به مدل‌ها و سیستم‌های پشتیبانی تصمیم برای حمل‌ونقل نیز اشاره شده است. در نتایج این تحقیق مشاهده می‌شود که در رتبه‌بندی اقدامات در واکنش اضطراری به زلزله، انتقال مصدومان با روش صحیح و در کمترین زمان پس از خارج کردن مصدومان از زیر آوار، در رتبه دوم فعالیت‌ها در واکنش اضطراری به یک زلزله در هر سه اندازه کوچک، متوسط و بزرگ قرار دارد. احمدی و دیگران (۱۳۹۲) مدل لجستیک امدادسانی را برای کاهش تلفات بعد از زلزله بررسی کرده‌اند که در آن خرابی مسیرهای حمل‌ونقل شهری در نظر گرفته شده و از روش جست‌وجوی همسایگی متغیر نیز بهره گرفته شده است. براساس نتایج این تحقیق، اهمیت لجستیک امدادسانی به علت تخریب مسیرهای شهری و راه‌های ارتباطی هنگام وقوع زلزله و تقریباً تمام بلایای طبیعی است. فرتا و تاناکا (۲۰۱۳) با در نظر گرفتن تقاضاها، مقاصد و مکان بالگردها مدلی برای سیستم

امدادرسانی هوایی ارائه کردند. هدف آن‌ها کمینه کردن زمان حمل و بیشینه کردن پاسخ به تقاضاهای بیمارستان‌ها بود. این تحقیق براساس موقعیت‌های جغرافیایی و جمعیتی ژاپن انجام گرفته است. نتایج حل مدل آن‌ها نشان می‌داد که با تمرکز بر مسائل قرارگرفته در سطوح دسترسی پایین، دسترسی به بیمارستان‌ها با این مدل پیشرفت چشمگیری داشته است. یی و ازدمار (۲۰۰۷) یک روش خوشه‌بندی^۱ سلسله‌مراتبی و مسیریابی برای یکپارچه کردن مسیریابی وسایل حمل‌ونقل برای فعالیت‌های بعد از بحران و در مقیاس واقعی و بزرگ ارائه کرده‌اند. در واقع، مدل ارائه شده با استفاده از یک مدل جریان شبکه به صورت سلسله‌مراتبی، ابتدا خوشه‌بندی نقاط تقاضا را انجام می‌دهد و سپس مسیریابی می‌کند. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده مثبت بودن وجود یک مرکز امداد واسطه قبل از انتقال به نزدیک‌ترین بیمارستان برای بهبود مسیریابی وسایل امدادی است. گنگ و دیگران (۲۰۰۷) مدل‌های مکان‌یابی و مکان‌یابی مجدد آمبولانس را برای پاسخ به نیازهای بعد از فاجعه بررسی کرده‌اند. هال و موریگ (۲۰۰۵) مدلی را ارائه داده‌اند که زنجیره تأمین امدادرسانی را برای مقابله با بحران آماده می‌کند. مدل ایمن انتخاب مکان امدادرسانی از نظرهای آژانس‌های مدیریت بحران، انتظارات خدمت‌رسانی و روش‌های مکان‌یابی^۲ استفاده می‌کند. نتایج مدل آن‌ها نشان می‌دهد حمل‌ونقل نیازهای ضروری پس از بحران و همچنین حمل‌ونقل مصدومان در کنار مکان‌یابی صحیح مراکز امدادی و محل‌های دیوی وسایل ضروری در کاهش آمار خسارت‌های بعد از بحران نقش اساسی ایفا می‌کند. ازدمار و دیگران (۲۰۰۴) یک مدل مسیریابی وسایل حمل‌ونقل^۳ در مواقع بحران ارائه کرده‌اند. برای حل این مدل از یک روش ابتکاری استفاده شده است و کارایی مدل با داده‌های به دست آمده از زلزله سال ۱۹۹۰ ایزمیت ترکیه اثبات شده است. بارباروسوگلو و دیگران (۲۰۰۲) یک مدل سلسله‌مراتبی چندمعیاره^۴ برای برنامه‌ریزی عملیات لجستیک با بالگرد ارائه کرده‌اند. در مراحل بالاتر این سلسله‌مراتب تصمیمات تاکتیکی اتخاذ می‌شود و در مراحل پایین‌تر تصمیمات مسیریابی و بارگیری گرفته می‌شود.

این پژوهش یک سیستم خدمت‌رسانی به مصدومان ارائه می‌دهد که یکی از مهم‌ترین موضوعات در کاهش تلفات انسانی در شرایط بروز بحران است. در این سیستم، ابتدا مصدومان باید از طریق وسایل نقلیه امدادی زمینی به مراکز درمانی واسطه حمل شوند تا کمک‌های اولیه روی آن‌ها صورت پذیرد. سپس با وسایل نقلیه امدادی هوایی و به صورت اشتراکی به مراکز درمانی اصلی منتقل شوند. علت استفاده از حمل‌ونقل هوایی این است که معمولاً هنگام بروز بلایای طبیعی شبکه‌های شهری و راه‌های ارتباطی دچار اختلال می‌شوند و در نتیجه غیرمطمئن هستند (احمدی و دیگران، ۱۳۹۲). همچنین، به علت هزینه بالای حمل‌ونقل هوایی و محدود بودن این وسایل امدادی، برای استفاده از حداکثر ظرفیت ناوگان امدادی و همچنین تأثیرگذاری بر هدف مسئله، حمل‌ونقل مصدومان به مراکز درمانی اصلی به صورت تجمیع شده و اشتراکی پیشنهاد شده است؛ برای مثال، بالگردهای امدادی در هربار حمل، به جای انتقال یک مصدوم به یک مرکز درمانی اصلی، چند مصدوم را از مراکز واسطه مختلف به این مرکز منتقل می‌کنند. براین اساس، رفت‌وآمدهای این وسایل امدادی کاهش می‌یابد و به صورت مؤثرتر از آن‌ها استفاده می‌شود. علت در نظر گرفتن مراکز درمانی واسطه این است که امکان ارائه کمک‌های اولیه به مصدومان به صورت موقت و تا قبل از رسیدن به مراکز امدادی اصلی محقق شود. به علاوه، این مراکز موجب تجمیع مصدومان می‌شود و سبب سرعت در تکمیل ظرفیت وسایل نقلیه امدادی هوایی می‌شود. به منظور انجام دادن این تحقیق، ابتدا مفروضات مسئله با روش مصاحبه عمقی با هشت نفر از خبرگان در زمینه مدیریت بحران شناسایی شدند. مفروضات مسئله مورد بررسی عبارت‌اند از: ۱. تعداد N مصدوم وجود دارد که باید به M مرکز درمانی واسطه که قادر به پذیرش نامحدود مصدومان هستند تخصیص یابد. بی‌شک، هر مصدوم باید به یک مرکز

1. Clustering
2. Facility location
3. Vehicle Routing Problem
4. Multi-Criteria Decision Making

درمانی واسطه منتقل شود. مراکز درمانی واسطه قادر به پذیرش نزدیک‌ترین مصدومان هستند؛ ۲. زمان رسیدن مصدومان به مراکز درمانی با توجه به فاصله نقاط حادثه‌دیده تا این مراکز متفاوت است. پس هر مصدوم در زمانی منحصر به فرد به مرکز درمانی می‌رسد؛ ۳. تعداد F مرکز درمانی اصلی وجود دارد که مصدومان با توجه به نوع مصدومیشان به این مراکز اختصاص یافته‌اند؛ ۴. تعداد L وسیله نقلیه امدادی (زمینی در سناریوی دوم و هوایی در سناریوی سوم) وظیفه انتقال مصدومان را از مراکز درمانی واسطه به مراکز درمانی اصلی بر عهده دارند؛ ۵. ظرفیت حمل مصدومان برای وسایل نقلیه امدادی ممکن است متفاوت از یکدیگر باشد؛ ۶. هر وسیله نقلیه امدادی هوایی چند مصدوم مختلف را به شرطی که مقصدهای یکسانی داشته باشند در یک‌بار حمل به مرکز درمانی اصلی حمل می‌کند؛ این مصدومان می‌توانند به مراکز درمانی واسطه یکسان یا مراکز درمانی متفاوت تخصیص یافته باشند؛ ۷. از هر وسیله نقلیه امدادی پس از سرویس‌دهی می‌توان دوباره استفاده کرد.

هر تحقیق در پی پاسخ‌دادن به پرسش‌هایی است. پرسش اصلی این تحقیق به صورت زیر است:

نحوه زمان‌بندی انتقال مجروحان به مراکز درمانی در مدل پیشنهادی به چه صورتی باید تعیین شود تا مجموع زمان انتظار مصدومان در رسیدن به مراکز درمانی اصلی کمینه شود؟

پرسش‌های فرعی تحقیق نیز به صورت زیر هستند:

نحوه تخصیص مصدومان به وسایل نقلیه امدادی مختلف به چه صورت باید تعیین شود؟

نحوه مسیریابی وسایل نقلیه امدادی به چه صورت باید تعیین شود؟

عملکرد مدل پیشنهادی به منظور حمل مصدومان نسبت به روش‌های رایج چگونه است؟

هدف این تحقیق ارائه مدلی به منظور حمل مصدومان در شرایط بحرانی و تعیین نحوه تصمیم‌گیری در مورد تخصیص مصدومان به وسایل نقلیه امدادی، تعیین اولویت حمل آن‌ها و مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در مدل پیشنهاد شده به منظور کمینه‌کردن زمان انتظار مصدومان در رسیدن به مراکز درمانی اصلی است.

به عبارت دیگر، پژوهش حاضر سعی در استفاده کارآمد از ناوگان حمل امدادی در شرایط بروز بحران دارد؛ زیرا استفاده ناکارآمد از ناوگان حمل امدادی در شرایط بروز بحران موجب افزایش زمان انتظار مصدومان برای انتقال به مراکز درمانی اصلی، تشدید مصدومیت‌ها، افزایش آمار تلفات و در نتیجه افزایش هزینه‌های بحران می‌شود.

مبانی نظری

لجستیک امدادرسانی برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و پایش جریان محموله‌ها و با هزینه مناسب و همچنین اطلاعات مرتبط از نقطه ارسال تا لحظه رسیدن آن‌ها به مقاصد برای ارائه خدمات به افراد حادثه‌دیده است (اورستریت و دیگران، ۲۰۱۱). بررسی سیستم انتقال دومرحله‌ای مصدومان توسط سایت واسطه با استفاده از حمل‌ونقل اشتراکی از نوع VRP و تجهیزات حمل‌ونقل هوایی به مراکز درمانی اصلی تاکنون انجام نشده است. این مسئله اهمیت زیادی دارد؛ زیرا احتمال بالای خرابی در زیرساخت‌ها و مسیرهای زمینی معمول هنگام بروز سوانح طبیعی وجود دارد و امکان حمل‌ونقل زمینی یا از بین می‌رود یا به علت وجود ترافیک، حمل‌ونقل به‌کندی صورت می‌پذیرد (احمدی و دیگران، ۱۳۹۲). از این‌رو، با توجه به اهمیت زمان در انتقال مصدومان به مراکز درمانی اصلی، حمل‌ونقل هوایی مطمئن‌ترین روش حمل است. همچنین، به علت گران‌بودن وسایل نقلیه هوایی ممکن است در اختیار گرفتن تعداد زیادی از آنها برای یک سازمان مقدور نباشد (آراسته و دیگران، ۱۳۹۴). از این‌رو، حمل‌ونقل اشتراکی مصدومان با استفاده از این وسایل به استفاده کارا تر و مؤثرتر از آن‌ها منجر می‌شود و تعداد رفت‌وبرگشت‌ها و میزان اتلاف زمانی را کاهش می‌دهد.

نوع مسئله حمل و نقل اشتراکی در نظر گرفته شده از نوع مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP)^۱ است. مسئله VRP نسخه‌های متعددی دارد که در این تحقیق حالتی از آن در نظر گرفته می‌شود که تعدادی وسیله نقلیه ناهمگن وظیفه جمع‌آوری سفارش‌ها از تأمین‌کنندگانی را که در نقاط جغرافیایی متفاوتی پراکنده‌اند بر عهده دارند. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) یکی از مسائل پایه در زمینه حمل و نقل است که تاکنون نسخه‌های متعددی از آن ارائه شده است. یکی از نسخه‌های پایه‌ای این مسئله حالتی است که در آن چند وسیله نقلیه باید به مناطق مختلف مراجعه کنند و محموله‌هایی را از آن‌ها بارگذاری کنند و به یک ایستگاه مرکزی انتقال دهند. هر وسیله نقلیه نیز می‌تواند در یک بار حمل، محموله‌های مختلفی را از نقاط مختلف بارگذاری کند (به شرطی که ظرفیت وسیله نقلیه اجازه دهد) و به ایستگاه مرکزی انتقال دهد. در حمل و نقل اشتراکی، هریک از مراکز امدادی واسط به‌جای حمل مستقل مصدومان می‌توانند از یک وسیله نقلیه مشترک برای حمل بیماران خود به مراکز درمانی اصلی استفاده کنند؛ برای مثال، چند مرکز که در یک حوزه مشترک جغرافیایی هستند، به‌جای ارسال چند وسیله نقلیه جداگانه، از یک وسیله نقلیه مشترک با ظرفیت حمل بالاتر به‌منظور حمل مصدومان به مرکز اصلی استفاده می‌کنند. این امر به کاهش تعداد دفعات رفت و برگشت وسایل نقلیه امدادی و کاهش اتلاف زمانی آن‌ها منجر می‌شود.

مسئله مورد بررسی در این تحقیق با مسئله VRP متفاوت است؛ زیرا در مسئله VRP فرض می‌شود مقدار کالایی که باید از هر مبدأ حمل شود، مشخص است، اما در مسئله مورد بررسی در تحقیق حاضر فرض می‌شود تخصیص محموله‌ها به مبادی و همچنین تعیین توالی حمل آن‌ها، جزء متغیرهای تصمیم مسئله است. نوآوری‌های این تحقیق شامل ارائه ترکیبی از مسئله VRP، انتقال دومرحله‌ای و اشتراکی، حمل و نقل امدادی هوایی و ارائه یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله است.

در مسائل بهینه‌سازی ریاضی، مسائلی وجود دارند که NP-hard^۲ نامیده می‌شوند. ریشه انگلیسی NP-Hard به معنای حل‌نشده در زمان چندجمله‌ای بر حسب اندازه ورودی مسئله (زمان معقول) است. این مجموعه شامل چند هزار مسئله مختلف با کاربردهای فراوان است که تاکنون برای آن‌ها راه‌حل سریع و انجام‌دانی در زمان معقول پیدا نشده است و به احتمال زیاد در آینده نیز یافت نمی‌شود. حالتی ویژه از مسئله ما که تعداد مراکز درمانی اصلی برابر ۱ باشد، زمان‌های حمل مصدومان به مراکز درمانی واسط برابر صفر باشد، سرعت حمل وسایل نقلیه برابر ۱ باشد تبدیل به یک مسئله VRP می‌شود که دارای پیچیدگی حل از نوع NP-hard است (گری و دیگران، ۱۹۷۶). در نتیجه، پیچیدگی حل مسئله ما نیز حداقل از نوع NP-hard است؛ بنابراین، به‌دست‌آوردن جواب بهینه برای مسائل متوسط یا بزرگ در زمان معقول امکان‌پذیر نیست و باید از روش‌های ابتکاری یا فرا ابتکاری برای حل مسئله استفاده کرد. در این پژوهش، یک الگوریتم ژنتیک برای حل و بهینه‌سازی مسئله ارائه شده است.

هالند و دیگران (۱۹۸۹) الگوریتم ژنتیک را ارائه داده‌اند که با استفاده از نظریه تکامل اقدام به بهینه‌سازی جواب می‌کند.

گام‌های الگوریتم ژنتیک به شرح زیر است:

گام ۱: یک جمعیت^۳ اولیه شامل تعداد زیادی کروموزوم ایجاد می‌شود. هر کروموزوم نشان‌دهنده یک جواب برای مسئله است.

گام ۲: گام‌های زیر تا محقق‌نشدن معیار خاتمه الگوریتم تکرار می‌شوند.

1. Vehicle Routing Problem
2. Non-deterministic Polynomial-time hard
3. Population

گام ۱-۲: با استفاده از عملگرهای جهش^۱ و تلفیق^۲ جمعیت فعلی زیاد می‌شود و تابع شایستگی برای هر عضو از این جمعیت محاسبه می‌شود.

گام ۲-۲: با استفاده از عملگر انتخاب^۳، کروموزوم‌هایی برای انتقال به نسل بعد انتخاب می‌شوند؛ به نحوی که اندازه جمعیت به حالت اولیه خود بازگردد. انتخاب براساس تابع شایستگی هر کروموزوم صورت می‌گیرد. در این پژوهش، به منظور تعیین برنامه حمل وسایل نقلیه هوایی از مراکز درمانی واسط به مراکز درمانی اصلی از مسئله مسیریابی وسایل نقلیه استفاده شده و هر مصدوم یک محموله در نظر گرفته شده است، با این تفاوت که مصدومان هریک در زمان‌های مختلف آماده حمل از مراکز درمانی اصلی هستند. این زمان مربوط به زمان حمل مصدوم از نقطه حادثه دیده تا نزدیک‌ترین مرکز امدادی واسط است. چند مرکز درمانی اصلی، مقصدهای نهایی بیماران در نظر گرفته شده‌اند و مقصد هر مصدوم نیز با توجه به نوع مصدومیتش متفاوت است.

روش پژوهش

این پژوهش از نوع کاربردی است و با روش تحلیلی انجام پذیرفته است. مفروضات مسئله با استفاده از روش مصاحبه عمقی با خبرگان شناسایی شده‌اند. با ارائه یک الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی تصمیم‌ها در مدل پیشنهادی به منظور کمینه‌سازی مجموع زمان انتظار مصدومان در رسیدن به مراکز درمانی اصلی و سپس با ارائه دو مدل دیگر و با استفاده از روش تحلیل سناریو به اعتبارسنجی مدل پیشنهادی پرداخته شده است. گام‌های انجام‌دادن تحقیق حاضر به صورت زیر است:

گام ۱: شناسایی مفروضات مسئله توسط افراد خبره؛

گام ۲: تعیین پارامترهای ورودی، متغیرهای خروجی (متغیرهای تصمیم‌گیری) و تابع هدف مسئله؛

گام ۳: تعریف سه سناریو برای مسئله که هر سناریو نشان‌دهنده یک روش انتقال مجروحان به مراکز درمانی است؛

گام ۴: ارائه یک الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه‌سازی تصمیم در هر سناریو و کد نویسی آن‌ها در نرم‌افزار Matlab؛

گام ۵: ایجاد تعداد زیادی از شرایط بحرانی (مسائل) تصادفی مختلف و حل آن‌ها توسط الگوریتم ژنتیک؛

گام ۶: مقایسه و تحلیل نتایج در هر سناریو و تعیین بهترین سناریو (روش انتقال مصدومان).

به منظور انجام‌دادن این تحقیق، با روش مصاحبه عمقی با هشت نفر از خبرگان در زمینه مدیریت بحران و اورژانس بیمارستان‌ها، مفروضات مسئله شناسایی شدند (گام ۱). سپس در گام ۲ پارامترهای ورودی و متغیرهای خروجی شناسایی شدند. در این پژوهش، پارامترهای تعداد مصدومان، تعداد مراکز درمانی اولیه، تعداد مراکز درمانی اصلی، تعداد وسایل امدادی زمینی و هوایی، ظرفیت وسایل امدادی، زمان رسیدن مصدومان تا مراکز درمانی اولیه و اصلی به عنوان پارامترهای ورودی و نحوه تخصیص مصدومان به وسایل نقلیه امدادی، تعیین اولویت حمل آن‌ها و مسیریابی وسایل نقلیه متغیرهای تصمیم مسئله هستند. تابع هدف مسئله کمینه کردن زمان انتظار مصدومان در رسیدن به مراکز درمانی اصلی است.

در گام سوم، سه سناریو برای مسئله در نظر گرفته شده است. سناریوی اول انتقال مستقیم مصدومان به مراکز درمانی اصلی، سناریوی دوم انتقال مستقیم مصدومان به مراکز امدادی واسط و حمل آن‌ها با وسایل نقلیه امدادی زمینی و بدون اشتراک به سوی مراکز درمانی اصلی و سناریوی سوم سیستم حمل و نقل مصدومان به مراکز درمانی با رویکرد انتقال

دومرحله‌ای و حمل‌ونقل اشتراکی است. در این رویکرد، مصدومان در مرحله اول به‌طور مستقیم به مراکز امدادی واسط و در مرحله دوم به‌صورت اشتراکی و با استفاده از امداد هوایی به مراکز درمانی اصلی منتقل می‌شوند. در گام ۴، یک الگوریتم ژنتیک به‌منظور بهینه‌سازی تصمیم‌ها در هر سناریو (بسته به هر سناریو، نحوه محاسبات زمان رسیدن مصدومان به مراکز درمانی اصلی تفاوت جزئی دارد) ارائه و در نرم‌افزار Matlab R2013a کدنویسی شده است. در گام ۵، سعی شده است در شرایط مختلف عملکرد سه سناریو بررسی شود. در این حالت، برای پارامترهای اساسی مسئله سطوح مختلفی در نظر گرفته می‌شود و از ترکیب حالت مختلف برای این پارامترها ۲۱۶ مسئله تصادفی ایجاد می‌شود. در گام ۶، این ۲۱۶ مسئله تحت سناریوهای مختلف توسط الگوریتم ژنتیک پیشنهادی حل می‌شوند. در نهایت، در گام ۷ نتایج هر سناریو تحلیل می‌شود. تمام برنامه‌های کامپیوتری از طریق یک کامپیوتر با پردازنده Intel Core i5, 2.6 GHz اجرا شده‌اند.

همان‌گونه که اشاره شد، به‌منظور حل مسئله از الگوریتم ژنتیک پویا که کروموزوم‌هایی با ساختار متغیر دارد استفاده شده است. ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده دویعدی است. بعد عمودی نشان‌دهنده وسایل نقلیه امدادی هوایی و بعد افقی نشان‌دهنده مصدومان تخصیص‌یافته و ترتیب حمل آن‌ها توسط وسایل نقلیه است. برای هر یک از وسایل نقلیه امدادی یک رشته آرایه وجود دارد که طول و ترتیب عناصر آن، نشان‌دهنده تعداد و ترتیب مصدومان تخصیص‌یافته به آن وسیله نقلیه است. اگر تعداد مصدوم‌های تخصیص‌یافته به یک وسیله نقلیه امدادی کم یا زیاد شود، طول رشته متناظر نیز کم یا زیاد می‌شود. وجه تمایز الگوریتم ژنتیک پیشنهادی نسبت به الگوریتم‌های ژنتیک معمولی این است که در الگوریتم‌های ژنتیک معمولی طول کروموزوم‌ها ثابت است، در صورتی که در الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده کروموزوم از چند رشته تشکیل شده است که طول آن‌ها متغیر است.

به‌منظور توضیح بیشتر، فرض کنید پنج مصدوم، دو مرکز امدادی واسط و دو وسیله نقلیه امدادی و دو مرکز امدادسانی اصلی داریم. وسیله نقلیه اول قادر به حمل دو مصدوم و وسیله نقلیه دوم قادر به حمل سه مصدوم است. فرض کنید مصدومان ۱ و ۴ باید به مرکز درمانی واسط ۱ و مصدومان ۲، ۳ و ۵ باید به مرکز درمانی واسط ۲ منتقل شوند. زمان رسیدن مصدومان به مراکز درمانی واسط و مقصد نهایی آن‌ها مطابق جدول ۱ است.

ساختار کروموزومی که در شکل ۱ نشان داده می‌شود، بیان‌کننده یک جواب موجه برای مسئله است که براساس آن مصدومان ۱، ۳، ۴ و ۵ باید از طریق وسیله نقلیه ۱ و مصدوم ۲ نیز باید توسط وسیله نقلیه ۲ حمل شوند. اولویت حمل در وسیله نقلیه ۱ به ترتیب با مصدومان ۵، ۳، ۱ و ۴ است. در ادامه، سایر پارامترها و عملگرهای این الگوریتم ژنتیک شرح داده می‌شوند.

جدول ۱. زمان رسیدن مصدومان به مراکز امدادی واسط

مصدوم ۱	مصدوم ۲	مصدوم ۳	مصدوم ۴	مصدوم ۵	
مرکز واسط ۲	مرکز واسط ۲	مرکز واسط ۲	مرکز واسط ۱	مرکز واسط ۲	مرکز درمانی واسط
۱۰	۵	۱۰	۳۰	۳۵	زمان رسیدن به مرکز واسط
مرکز اصلی ۲	مرکز اصلی ۱	مرکز اصلی ۱	مرکز اصلی ۲	مرکز اصلی ۱	مقصد نهایی

۴	۱	۳	۵	وسيلة نقلیه هوایی ۱
			۲	وسيلة نقلیه هوایی ۲

شکل ۱. ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

نحوه دسته‌بندی مصدومان تخصیص یافته به هر وسیله نقلیه به محموله‌های مختلف آن براساس الگوریتم دسته‌بندی انجام می‌گیرد. طبق این الگوریتم ضمن اینکه وسیله امدادی باید برای حمل مصدوم ظرفیت لازم را داشته باشد، مصدومانی که در یک محموله قرار می‌گیرند باید حتماً هم‌مقصد باشند. در صورت برقرار نبودن هریک از این دو شرط، محموله بسته می‌شود و وسیله امدادی به سمت مقصد نهایی حرکت می‌کند.

به این ترتیب در مثال شکل ۱، مصدومان شماره ۵ و ۳ از طریق وسیله نقلیه ۱ در یک محموله و از مرکز واسط ۲ به مرکز درمانی اصلی ۱ منتقل می‌شوند. سپس این وسیله امدادی مصدومان شماره ۱ و ۴ را در محموله‌ای دیگر به مرکز درمانی اصلی ۲ منتقل می‌کند. در این حالت، این وسیله ابتدا مصدومان ۵ و ۳ را از مرکز واسط ۲ به مرکز اصلی ۱ منتقل می‌کند و سپس با بازگشت به مرکز واسط ۲ مصدوم ۱ را بارگذاری می‌کند و بعد به سمت مرکز واسط ۱ می‌رود و مصدوم ۴ را بارگذاری می‌کند و به مرکز درمانی اصلی ۲ حمل می‌کند. وسیله نقلیه امدادی ۲ نیز مصدوم ۲ را از مرکز واسط ۲ به مرکز درمانی اصلی ۱ حمل می‌کند. با توجه به معلوم بودن زمان‌های آماده‌بودن مصدومان در مراکز درمانی واسط و فواصل بین مراکز درمانی واسط با یکدیگر و با مراکز درمانی اصلی، می‌توان زمان تحویل تمام مصدومان به مراکز درمانی اصلی را به راحتی محاسبه کرد.

تابع شایستگی برای هر کروموزوم نیز برابر $(MaxT - T)$ است، که T نشان‌دهنده مقدار تابع هدف کروموزوم مربوطه است و از زمان‌بندی کروموزوم به دست می‌آید و $MaxT$ بیانگر حداکثر مقدار T در بین کروموزوم‌های جمعیت فعلی است. به منظور انجام دادن عمل جهش از عملگرهای جهش وارونگی^۱ و تعویض^۲ استفاده می‌شود. در عملگر وارونگی دو مصدوم از وسیله نقلیه امدادی هوایی به تصادف انتخاب می‌شود و توالی مصدومان بین آن‌ها تعویض می‌شود. در عملگر تعویض نیز دو مصدوم از دو وسیله نقلیه امدادی هوایی مختلف به تصادف انتخاب و جای آن دو با یکدیگر تعویض می‌شود. علت استفاده از عملگر دوم این است که عملگر وارونگی فقط موجب تغییر در توالی مصدومان می‌شود و تخصیص مصدومان را تغییر نمی‌دهد؛ بنابراین، از عملگر جابه‌جایی به منظور ایجاد این تغییر استفاده شده است.

برای انتخاب جمعیت بعدی ابتدا این کروموزوم‌ها براساس تابع شایستگی‌شان به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند. سپس تعدادی از کروموزوم‌ها که بهترین مقدار تابع هدف را دارند، براساس روش نخبه‌گرایی^۳ به طور مستقیم به نسل بعد منتقل می‌شوند. سایر کروموزوم‌ها نیز براساس روش چرخ رولت^۴ به نسل بعد منتقل می‌شوند. تعداد کروموزوم‌هایی که به روش نخبه‌گرایی به نسل بعد منتقل می‌شوند، درصدی از اندازه جمعیت اولیه است. این درصد جزء پارامترهای الگوریتم است و با best نشان داده می‌شود. معیار توقف برای الگوریتم بدین صورت است که اگر بهترین مقدار تابع شایستگی کروموزوم‌ها در چند نسل متوالی بهبودی نیابد، الگوریتم به پایان می‌رسد. تعداد این تکرارهای متوالی از طریق پارامتر termination مشخص می‌شود.

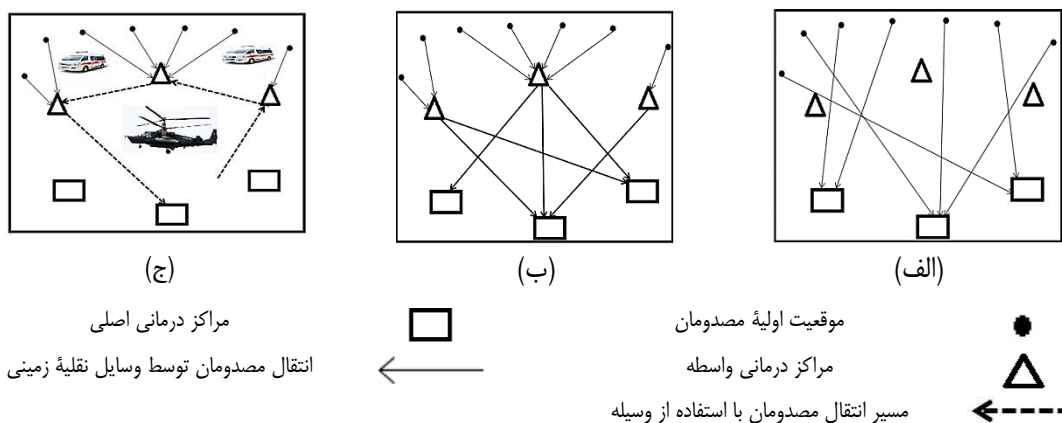
بحث و یافته‌ها

پس از اجراهای متعدد و به صورت تجربی مشخص شد مقادیر ۱۰۰ برای پارامتر اندازه جمعیت، ۰/۰۵ برای نرخ جهش، ۰/۵ برای انتخاب چرخ رولت، ۰/۵ برای پارامتر best و ۵۰ برای پارامتر termination به جواب‌های تقریباً خوب در زمان حل معقول منجر می‌شوند. مسئله مورد بررسی پارامترهای مختلفی دارد که برای برخی از آن‌ها سطوحی چون بالا، پایین و متوسط در نظر گرفته شده است و به هفت دسته تقسیم شده‌اند. این هفت دسته عبارت‌اند از: ۱. تعداد مصدومان،

1. Reverse operator
2. Swap operator
3. Elitism
4. Roulette wheel

۲. تعداد مراکز درمانی واسطه، ۳. تعداد وسایل نقلیه امدادی هوایی، ۴. زمان رسیدن مصدوم به مراکز درمانی واسطه، ۵. فواصل (بین نقاط حادثه دیده، مراکز درمانی واسطه و مراکز درمانی اصلی)، ۶. ظرفیت وسایل نقلیه و ۷. تعداد مراکز درمانی اصلی.

برای پارامترهای تعداد مصدومان، تعداد مراکز درمانی واسطه و تعداد وسایل نقلیه سه سطح پایین، متوسط و بالا در نظر گرفته شده است. این سطوح برای پارامتر تعداد مصدومان به ترتیب برابر ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. برای تعداد مراکز درمانی واسطه نیز سه سطح لحاظ شده است. در سطح پایین، تعداد مراکز درمانی واسطه به صورت تصادفی از توزیع یکنواخت $U[1,5]$ و در سطوح متوسط و بالا به ترتیب از توزیع های یکنواخت $U[6,10]$ و $U[11,15]$ تعیین می شود. سطوح پایین، متوسط و بالا برای پارامتر تعداد وسایل نقلیه امدادی به ترتیب از توزیع های یکنواخت $U[1,5]$ ، $U[6,10]$ و $U[11,15]$ تعیین می شود. برای پارامتر فواصل (بین نقاط حادثه دیده تا مراکز درمانی واسطه و فاصله مراکز درمانی واسطه تا مراکز درمانی اصلی) نیز دو توزیع یکنواخت $U[1,20]$ و $U[21,30]$ در نظر گرفته شده است. برای پارامتر تعداد مراکز درمانی اصلی دو توزیع یکنواخت $U[3,6]$ و $U[7,10]$ لحاظ شده است. برای سایر پارامترها فقط یک سطح متوسط مد نظر قرار گرفته است. در مورد پارامتر سرعت با توجه به اینکه در شرایط بحرانی که احتمال خرابی زیرساخت های شهری، ترافیک های ناخواسته، هرج و مرج در شهر و... وجود دارد، سرعت وسایل نقلیه امدادی هوایی ۱۰ واحد و سرعت وسایل نقلیه امدادی زمینی ۱ واحد در نظر گرفته شده است. ظرفیت حمل هر وسیله نقلیه امدادی به صورت تصادفی از توزیع یکنواخت $U[2,4]$ انتخاب شده است. از ترکیب این حالات برای پارامترها ۲۱۶ مسئله به دست می آید ($1 * 1 * 1 * 2 * 2 * 2 * 3 * 3 * 3 * 3 * 3 * 3$). پس از ایجاد تصادفی این ۲۱۶ مسئله، آن ها از طریق الگوریتم پیشنهادی با سه سناریو حل شده اند. سناریوی اول یا همان انتقال مستقیم مصدومان به این معناست که هر مصدوم خودش (از طریق امدادگران یا اطرافیان یا ...) و بدون مراجعه به مراکز درمانی واسطه به مراکز درمانی اصلی مراجعه کند (شکل ۲، الف). سناریوی دوم مانند مدل پیشنهادی این پژوهش در دو مرحله اقدام به انتقال مصدومان به مراکز درمانی اصلی می کند، با این تفاوت که از حمل و نقل اشتراکی و هوایی استفاده نمی شود؛ یعنی مصدوم با وسیله نقلیه زمینی به مراکز درمانی واسطه مراجعه می کند و از آنجا نیز با توجه به ظرفیت وسایل نقلیه امدادی زمینی موجود در آن مرکز و حضور مصدومان هم مقصد به مراکز درمانی اصلی به صورت غیر اشتراکی اعزام می شود (شکل ۲، ب). سناریوی سوم مدل پیشنهادی این پژوهش است که شامل انتقال دومرحله ای مصدومان به مراکز درمانی واسطه و سپس حمل اشتراکی آن ها توسط تجهیزات حمل و نقل هوایی است (شکل ۲، ج).



شکل ۲. مقایسه حالت های الف) انتقال مستقیم مصدومان، ب) انتقال دومرحله ای توسط سایت واسطه با وسایل نقلیه امدادی زمینی، ج) انتقال دومرحله ای توسط سایت واسطه با وسایل نقلیه امدادی هوایی و حمل و نقل اشتراکی

در جدول ۲، نتایج هر سناریو به‌ازای ۲۱۶ مسئله تصادفی ایجاد شده مقایسه می‌شود. در این جدول، میانگین زمان تحویل مصدومان به مراکز درمانی اصلی، در هر سناریو و به‌ازای حالات مختلف برای پارامترهای مسئله نشان داده می‌شود. نتایج نشان‌دهنده برتری سناریوی پیشنهادی این پژوهش در تمام حالات است.

جدول ۲. مقایسه سناریوهای مختلف در حالات مسائل تصادفی مختلف

تعداد مصدومان			
۱۰۰	۵۰	۱۰	
۲۹۹۲۳	۱۴۹۱۱	۳۱۴۲	میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی اول
۲۵۶۸۳	۸۱۳۱	۹۰۰	میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی دوم
۶۲۴	۵۰۴	۲۶۸	میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی سوم
تعداد مراکز درمانی واسطه			
حالت ۳	حالت ۲	حالت ۱	
۱۶۰۸۳	۱۵۸۲۸	۱۶۰۶۵	میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی اول
۸۱۱۶	۱۱۳۴۸	۱۵۲۵۰	میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی دوم
۴۶۳	۴۷۴	۴۵۹	میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی سوم
تعداد وسایل نقلیه			
حالت ۳	حالت ۲	حالت ۱	
۱۶۲۲۱	۱۶۰۱۴	۱۵۷۴۱	میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی اول
۱۲۶۵۴	۱۱۵۷۷	۱۰۴۸۴	میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی دوم
۷۲۷	۴۶۴	۲۰۴	میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی سوم
زمان رسیدن مصدومان تا مرکز درمانی اولیه			
حالت ۲	حالت ۱		
۱۶۳۹۶	۱۵۵۸۹		میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی اول
۱۱۶۸۸	۱۱۴۵۵		میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی دوم
۴۷۴	۴۵۶		میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی سوم
فاصله مرکز درمانی اولیه تا مرکز درمانی اصلی			
حالت ۲	حالت ۱		
----	----		میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی اول
۱۲۴۴۷	۱۰۶۹۶		میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی دوم
۵۱۸	۴۱۳		میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی سوم
تعداد مراکز درمانی اصلی			
حالت ۲	حالت ۱		
۱۵۹۴۵	۱۶۰۴۰		میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی اول
۱۱۷۸۶	۱۱۳۵۷		میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی دوم
۴۸۵	۴۴۶		میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی سوم
کل مسائل			
	۱۵۹۹۲		میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی اول
	۱۱۵۷۲		میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی دوم
	۴۶۶		میانگین زمان رسیدن به مقصد در سناریوی سوم

نتایج افزایش شرایط بحرانی ایجاد شده روی تعداد مصدومان نشان می‌دهد تحت هر سه سناریو، با افزایش تعداد مصدومان مجموع زمان انتظار مصدومان برای رسیدن به مراکز درمانی اصلی متناسب با نوع مصدومیت آن‌ها افزایش یافته است. مسئله مهم‌تر اینکه در افزایش روی تعداد مصدومان، سناریوی پیشنهادی این تحقیق نتایج بسیار بهتری را در هر سه سطح پایین، متوسط و بالا در پی داشته است. نتایج افزایش شرایط بحرانی روی تعداد مراکز درمانی واسطه تحت سه سناریو نشان می‌دهد در سناریوی اول با افزایش تعداد مراکز درمانی واسطه مجموع زمان انتظار مصدومان برای

رسیدن به مراکز درمانی اصلی متناسب با نوع مصدومیت آن‌ها تغییر محسوس نداشتند است که با توجه به مفروضات مسئله و بی‌تأثیر بودن وجود داشتن یا وجود نداشتن مراکز درمانی واسطه در این سناریو امری طبیعی است. در این افراز در سناریوی دوم با افزایش تعداد مراکز درمانی واسطه کاهش چشمگیری در زمان انتظار مشاهده می‌شود، اما در سناریوی سوم تغییرات چشمگیری مشاهده نمی‌شود که ممکن است ناشی از سرعت بالای حمل‌ونقل در سناریوی سوم و در نتیجه زمان بالای انتظار وسیله نقلیه امدادی هوایی تا تجمع مصدومان در مراکز درمانی اولیه تا رسیدن مصدومان به مرکز باشد. نتایج نشان می‌دهد در این حالت نیز اختلافی چشمگیر بین نتایج سناریوی پیشنهادی این تحقیق در هر سه سطح پایین، متوسط و بالا نسبت به دو سناریوی دیگر وجود دارد. در افراز انجام‌گرفته روی تعداد وسایل نقلیه نیز مشاهده می‌شود که سناریوی پیشنهادی تحقیق نتایج بهتری را نسبت به دو سناریوی دیگر ارائه داده است. در افراز روی مدت‌زمان رسیدن مصدومان تا مراکز درمانی اولیه، همان‌گونه که انتظار می‌رفت با افزایش این پارامتر، زمان‌های انتظار نیز افزایش یافته‌اند. در این حالت نیز سناریوی پیشنهادی این تحقیق جواب‌های بسیار بهتری را در هر دو سطح پایین و بالا ارائه داده است. در افراز فاصله مراکز درمانی اولیه تا مراکز درمانی اصلی نیز همان‌گونه که انتظار می‌رفت با افزایش این فاصله میانگین زمان‌های انتظار نیز افزایش یافته است. در این حالت نیز سناریوی پیشنهادی این تحقیق جواب‌های بهتری را در هر دو سطح پایین و بالا به دست داده است. در افراز روی تعداد مراکز درمانی اصلی نیز سناریوی پیشنهادی این تحقیق جواب‌های بهتری را ارائه داده است. همان‌گونه که در میانگین کل مسائل مشاهده می‌شود، سناریوی سوم با اختلافی چشمگیر جواب‌های بهتری از دو سناریوی دیگر ارائه داده است. همچنین، در همه حالات بررسی شده سناریوی حمل‌ونقل اشتراکی دومرحله‌ای با استفاده از وسایل نقلیه امدادی هوایی در مرحله دوم، نتایج بهتری را نسبت به سناریوهای دیگر ارائه داده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، نحوه کاهش زمان انتظار مصدومان برای رسیدن به مراکز درمانی اصلی با دو رویکرد استفاده از سیستم حمل‌ونقل اشتراکی و انتقال دومرحله‌ای بررسی شد. به این منظور، ابتدا مفروضات مسئله و پارامترهای ورودی و متغیرهای خروجی شناسایی شدند. سپس سه سناریو برای مسئله در نظر گرفته شد. سناریوی اول انتقال مستقیم مصدومان به مراکز درمانی اصلی، سناریوی دوم انتقال مستقیم مصدومان به مراکز امدادی واسطه و حمل آن‌ها با وسایل نقلیه امدادی زمینی و بدون اشتراک به سوی مراکز درمانی اصلی و سناریوی سوم - یعنی مدل پیشنهادی پژوهش - شامل یک سیستم انتقال دومرحله‌ای مصدومان به مراکز درمانی با وسایل امدادی هوایی و حمل‌ونقل اشتراکی است. در این رویکرد، مصدومان در مرحله اول به طور مستقیم به مراکز امدادی واسطه و در مرحله دوم به صورت اشتراکی و با استفاده از امداد هوایی به مراکز درمانی اصلی منتقل می‌شوند. سپس یک الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه‌سازی تصمیم‌ها در هر سناریو ارائه شد و عملکرد این سه سناریو با تولید ۲۱۶ مسئله تصادفی متنوع و حل آن‌ها تحت هر سه سناریو بررسی شد. نتایج مقایسه مدل پیشنهادی با دو سناریوی دیگر در انتقال مصدومان به مراکز امدادی نشان‌دهنده برتری مدل پیشنهادی در کاهش زمان انتظار مصدومان است. علاوه بر این، نتایج نشان دادند استفاده همزمان از حمل‌ونقل اشتراکی و انتقال دومرحله‌ای و همچنین عواملی نظیر افزایش تعداد مراکز درمانی واسطه، برنامه‌ریزی صحیح وسایل امدادی هوایی متناسب با تقاضا و همچنین کاهش زمان‌های رسیدن مصدومان تا مراکز درمانی واسطه (انتقال مرحله یک) در این مدل موجب کاهش مجموع مدت‌زمان انتظار مصدومان برای رسیدن به مراکز درمانی اصلی می‌شود. سناریوی اول و دوم علاوه بر اینکه دارای ضعف استفاده از وسایل امدادی زمینی هستند، سیستم حمل‌ونقل صحیح نیز ندارند. بدون استفاده از حمل‌ونقل

اشتراکی سیستم علاوه بر اینکه دچار تأخیر فراوان در تحویل محموله‌ها می‌شود، به‌طور ناخواسته متحمل هزینه‌هایی از جنس مالی و جانی نیز می‌شود. باید به این نکته توجه داشت که هنگام وقوع شرایط اضطرار در بلایای طبیعی، هدف یک سیستم کارا فعالیت در محدوده بهینه در زمان، هزینه و در مجموع اهداف خود است. مهم‌ترین هدف سیستم‌های امدادی نیز بی‌شک نجات جان انسان‌هاست و در این زمینه زمان اهمیت دوچندان پیدا می‌کند؛ بنابراین، با برنامه‌ریزی صحیح حمل‌ونقل امدادی که یکی از زیرمجموعه‌های لجستیک امداد است، جان انسان‌های بیشتری نجات می‌یابد. پیشنهاد می‌شود در گام اول با مکان‌یابی صحیح مراکز واسط امدادی و در گام بعدی پیاده‌سازی صحیح یک سیستم حمل‌ونقل اشتراکی کارا، زمان انتظار مصدومان برای رسیدن به مقاصد نهایی آن‌ها کاهش داده شود. توجه به این نکته نیز ضروری است که بسیاری از هزینه‌های تحمیلی به سیستم حمل‌ونقل امدادی در دل زمان نهفته است؛ بنابراین، با کاهش زمان جریان یک سیستم حمل‌ونقل می‌توان از بخشی از هزینه‌های مادی و معنوی جلوگیری کرد.

با توجه به نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌شود رویکرد دومرحله‌ای انتقال مصدومان به مراکز درمان و با رویکرد حمل اشتراکی به‌عنوان یک سیستم انتقال مصدومان در مراکز امدادی به‌صورت واقعی پیاده‌سازی شود و یک مرکز تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی نحوه انتقال مصدومان ایجاد شود تا اطلاعات مصدومان به آن مرکز اعلام شود. سپس براساس تصمیماتی که الگوریتم ژنتیک پیشنهادی ارائه می‌دهد، برنامه حمل وسایل نقلیه به آن‌ها اعلام شود. سیستم در نظر گرفتن اولویت حمل برای مصدومان متناسب با وخامت اوضاع یا در نظر گرفتن عدم قطعیت در زمان‌های حمل، زمینه‌هایی برای تحقیقات آتی محسوب می‌شوند. به‌علاوه، تعیین اولویت خدمت‌رسانی در مراکز درمانی واسطه یا مکان‌یابی بهینه مراکز درمانی اولیه برای حداقل کردن زمان رسیدن به مراکز درمانی اصلی زمینه‌های دیگری برای تحقیقات آتی هستند.

منابع

- آراسته، کریم، بزرگی امیری، علی و محمد سعید جبل عاملی، ۱۳۹۴، مکانیابی چندگانه تسهیلات و نقاط انتقال مصدومین در زمان بحران، مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، سال دوازدهم، شماره ۱، صص ۲۱-۳۱.
- اسمیت، کیت، ۱۳۸۲، مخاطرات محیطی، ترجمه ابراهیم مقیمی و شاپور گودرزی‌نژاد، انتشارات سمت، صص ۱۱۰-۱۱۶.
- احمدی، مرتضی، سیفی، عباس و علیرضا قرهی، ۱۳۹۲، مدل لجستیک امدادرسانی برای کاهش تلفات بعد از زلزله در ابعاد بسیار بزرگ واقعی، دوفصلنامه علمی-پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۲، صص ۵۱-۶۴.
- امیری، مجتبی، نوروزی، شهناز و علیرضا نجاری، ۱۳۹۴، بهینه‌سازی مدیریت شبکه حمل‌ونقل اضطراری کلان‌شهر تهران پس از سوانح طبیعی با رویکرد آینده‌پژوهی، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره چهارم و هفتم، شماره ۱، صص ۱۴۳-۱۵۷.
- بزرگی امیری، علی، جبل عاملی، محمدسعید، حیدری، مهدی و زکریا کریمی راد، ۱۳۸۹، ارائه یک رویکرد برنامه‌ریزی امکانی تک‌هدفه جهت مدل‌سازی لجستیک بشردوستانه، نشریه علمی پژوهشی مدیریت فردا، شماره ۲۵، صص ۸۳-۹۶.
- پورمحمدی، محمدرضا، ملکی، کیومرث، شفاعتی، آرزو، حیدری فر، محمدرئوف و محمدرضا کرمی، ۱۳۹۴، پدافند غیرعامل و ضرورت ایجاد کاربری‌های چندمنظوره: رویکردی جدید در آینده‌نگری توسعه و امنیت پایدار شهری با تأکید بر زلزله‌خیزی شهر تبریز، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره چهارم و هفتم، شماره ۲، صص ۲۰۹-۲۳۱.
- جبل عاملی، محمدسعید، بزرگی امیری، علی و مهدی حیدری، ۱۳۹۰، ارائه مدل برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه برای مسائل لجستیک امداد، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۲۲، شماره ۱، صص ۶۶-۷۶.
- نجفی، مهدی، عشقی، ساسان و کوروش عشقی، ۱۳۹۳، ارائه مدلی یکپارچه جهت پاسخگویی به زلزله و جایگاه و اهمیت لجستیک در آن، ماهنامه علمی تخصصی لجستیک و زنجیره تأمین، سال سوم، شماره ۳۶، صص ۸-۱۹.

9. Ahmadi, M., Seifi, A. and Gharahi, A., 2013, **Relief logistic model in real large scale for die reduction after earthquake**, Journal of Emergency Management, Vol. 2, No. 2, PP. 51-64. *(In Persian)*
10. Arasteh, K., Bozorgi Amiri, A. and Jabal Ameli, M., 2015, **Multi facilities and injured transfer points locating in crisis**, Journal of Operation Researches in ITS Applications, Vol. 12, No. 1, PP. 21- 31. *(In Persian)*
11. Amiri, M., Noruzi, Sh. and Najari, A., 2015, **Optimization of Emergency Transportation Network Management of Tehran Metropolis after Natural Hazards with Future Research Approach**, Human Geography Research Quarterly, Vol. 47, No. 1, PP. 143- 157. *(In Persian)*
12. Barbarosolu, G., Ozdamar, L. and Cevik, A., 2002, **An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations**, European Journal of Operational Research, Vol. 140, No. 1, PP. 118- 133.
13. Berman, O. and Huang, R., 2004, **The mini-sum collection depots location problem with multiple facilities on networks**, Journal of Operational Research Society, No. 55, PP. 769– 779.
14. Bozorgi Amiri, A., Jabal Ameli, M., Heidari, M. and Karimi-Rad, Z., 2010, **A humanitarian lo model to minimize losses aftermath of an earthquake in large-scale and actual size**, Modiriata Farda Journal, No. 25, PP. 83- 96. *(In Persian)*
15. Douglas, L., 1997, **Logistics for Disaster Relief**, IIE Solutions, PP. 26- 29.
16. Esmi, K., 2003, **Environmental Hazards**, Translated by: Moghimi, E., Gudarzinejad, Sh., Samt Publication, PP. 110- 116. *(In Persian)*
17. Furuta, T. and Tanaka, K., 2013, **Minisum and Minimax Location Models For Helicopter Emergency Medical Service Systems**, The Operations Research Society of Japan, Vol.56, No. 3, PP. 221- 242.
18. Garey, M. R., Johnson, D. S. and Sethi, R., 1976, **The complexity of flow shop and job shop scheduling**, Mathematics of Operation Research, Vol. 1, No. 2, PP. 117– 129.
19. Gong, Q. and Batta, R., 2007, **Allocation and reallocation of ambulances to casualty clusters in disaster relief operation**, IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers) Vol. 39, No.1, PP. 27- 39.
20. Hale, T. and Moberg, C. R., 2005, **Improving supply chain disaster preparedness: A decision process for secure site location**, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 35, No. 3, PP. 195- 207.
21. Holland, J., Goldberg, D. and Booker, L., 1989, **Classifier systems and genetic algorithms**, Artificial Intelligence, Vol. 40, No. 1-3, PP. 235– 282.
22. Jabal Ameli, M., Bozorgi Amiri, A. and Heidari, M., 2011, **A Multi-Objective Possibilistic Programming Model for Relief Logistics Problem**, International Journal Of Industrial Engineering And Production Management, Vol. 22, No. 1, PP. 66- 76. *(In Persian)*
23. Najafi, M., Eshghi, S. and Eshghi, K., 2014, **An intergrated model for responding to earthquake and the importance of logistics in it**, Scientific Monthly Newsletter of Logistics & Supply Chain, Vol. 3, No. 36, PP. 8- 19. *(In Persian)*
24. Overstreet, R. E. et al., 2011, **Research in humanitarian logistics**, Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, Vol. 1, No. 2, PP. 114- 131.
25. Purmohammadi, M., Maleki, K., Shafaati, A., Heidarifar, M. and Karami, M., 2015, **New look at the future of passive defense and multipurpose uses: New approach in urban sustainable development and security with emphasis on earthquake susceptibility of Tabriz city**, Human Geography Research Quarterly, Vol. 47, No. 2, PP. 209- 231. *(In Persian)*
26. Yi, W. and Ozdamar, L., 2007, **A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities**, European Journal of Operational Research, Vol. 179, No. 3, PP. 1177- 1193.
27. Ozdamar, L., Ekinci, E. and Kkyazici, B., 2004, **Emergency logistics planning in natural disasters**, Annals of Operations Research, Vol. 129, No. 1, PP. 217- 245.