



Designing multi-objective supply chain design relief services with considering to equipment, screening and fuzzy demand in earthquake using the LP-metric method

Fatemeh Kheildar¹ & Parvaneh Samouei²

1. Master student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

Abstract

Background and objective: In these days many people lost their lives and properties to natural events like floods, earthquakes, and storms. planning before the occurrence of a crisis in order to come up against it is very important and decreases the number of injured and response time. in addition, choosing the number of emergency stations, production centers, and their location is effective for response teams and maximum the use of equipment and space. In this article a two objective mathematical model that minimum costs of transporting relief items and Relief times is proposed, the model also helps us to choose the number of server centers and production centers according to the severity of the earthquake.

Method: Besides in this research we assume that injured people are in three categories green, red and yellow depends on the severity of their injury. Since the problem assumes for programming before the crisis, the proposed model is solved in two-stage. In the first stage, we assume that all injured and relief items transport on time. Then in the second stage, we solve the model with the assumption that we may make some mistakes in the predictions of capacity and demand especially when we confront a drastic earthquake and for this reason, some of the injured people can't transport on time. The proposed model is solved in GAMS with the LP-metric method.

Findings: Solving the model shows that patient classification helps us decide which service centers to send relief items to and which centers do not in cases where we have a shortage of resources and cannot send enough relief items. The same is true when ambulances and helicopters do not have enough space to evacuate the injured, in this case, the model helps us decide whether or not to send patients, in such a way that the time of sending items and patients and non-service costs are minimized.

Conclusion: Performance of the model evaluates with solving different examples, Model sensitivity analysis results show that predictions about the number of injuries and the also the costs that we assume for Penalty of not sending equipment and injuries are some of the most effective parameters in the model result. Also, our predictions about the percentage of injured who turn to green, yellow and red patients and the percentage of injured yellow who turn to the red patient has an important effect on the number of patients referred to service centers and the allocation of medical items to service centers.

Keywords: relief, earthquake, location, fuzzy demand, production center

► **Citation (APA 6th ed.):** Kheildar F, Samouei P. (2022, Winter). Designing multi-objective supply chain design relief services with considering to equipment, screening and fuzzy demand in earthquake using the LP-metric method. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 11(4),385-400.

طراحی زنجیره تأمین تجهیزات، غربالگری و خدمات امدادی چند هدفه با تقاضای فازی به مجروحان بحران زلزله؛ به کمک روش ال پی متریک

فاطمه خیلدار^۱ و پروانه سموئی^۲

۱. دانشجوی ارشد، دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. fatemehkheill.ie48@yahoo.com
۲. استادیار، دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. p.samouei@basu.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: این روزها بسیاری از انسان‌ها در اثر وقوع حوادث طبیعی مانند سیل، زلزله و توفان جان و مال خود را از دست می‌دهند. برنامه‌ریزی‌های قبل از بحران باعث کاهش تلفات و امدادسانی سریع‌تر می‌گردد. همچنین، تعیین تعداد و مکان مراکز تولید و نقاط خدمت‌رسانی باعث تسهیل کار گروه‌های امدادی و استفاده حداکثری از فضا و امکانات می‌گردد. در این مقاله، یک مدل ریاضی دو هدفه پیشنهاد می‌گردد که ضمن کمینه کردن هزینه‌های ارسال اقلام امدادی و زمان امدادسانی به تعیین تعداد نقاط خدمت‌دهی متناسب با شدت زلزله کمک می‌نماید.

روش: در این تحقیق، بسته به شدت جراحات، مجروحان به سه دسته سبز، قرمز و زرد تقسیم می‌شوند. به دلیل اینکه موضوع مورد نظر برای برنامه‌ریزی‌های قبل از وقوع بحران می‌باشد، مدل پیشنهادی در دو مرحله حل می‌گردد. در مرحله اول، حالتی در نظر گرفته می‌شود که کلیه مجروحان و اقلام امدادی به موقع فرستاده شوند. سپس در مرحله دوم با فرض این که ممکن است در تعیین ظرفیت‌ها و یا پیش‌بینی‌ها به ویژه در شرایطی که با زلزله شدید مواجه هستیم، اندکی خطا وجود داشته باشد و به همین دلیل تعدادی از مجروحان و اقلام به دلیل محدودیت، به موقع فرستاده نشوند، لذا مدل پیشنهادی در نرم افزار گمز و با روش معیار جامع حل شده است.

یافته‌ها: تحلیل مدل نشان می‌دهد که دسته بندی بیماران به ما کمک می‌کند تا بتوانیم در مواقعی که کمبود منبع داریم و نمی‌توانیم به تعداد کافی اقلام امدادسانی ارسال کنیم، تصمیم بگیریم که به کدام یک از مراکز خدمت رسانی اقلام امدادی ارسال کنیم و به کدام مراکز ارسال نکنیم. مشابه این نتیجه برای زمانی که آمبولانس‌ها و هلی کوپترها فضایی کافی برای ارسال مجروحان ندارند نیز صدق می‌کند. در این شرایط، مدل به ما کمک می‌کند تا درباره ارسال یا عدم ارسال بیماران تصمیم بگیریم، به گونه‌ای که زمان ارسال اقلام و بیماران و هزینه‌های عدم خدمت رسانی کمینه گردند.

نتیجه‌گیری: کارایی مدل با حل مثال‌های عددی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحلیل حساسیت مدل نشان می‌دهند پیش‌بینی‌های صورت گرفته برای تعداد تلفات و همچنین هزینه عدم فرستادن به موقع مجروحان از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر نتیجه مدل است. همچنین پیش‌بینی ما از درصد تبدیل مجروحان به مجروح سبز، زرد و قرمز و درصد تبدیل مجروح زرد به قرمز اثر مهمی بر تعداد بیماران ارسالی به مراکز خدمت رسانی و تخصیص اقلام درمانی به مراکز خدمت‌رسانی دارد.

کلیدواژه‌ها: امداد، زلزله، مکان‌یابی، تقاضا فازی، مرکز تولید

◀ **استناد فارسی (شیوه APA ویرایش ششم ۲۰۱۰):** خیلدار، فاطمه؛ سموئی، پروانه. (زمستان، ۱۴۰۰). طراحی زنجیره تأمین تجهیزات، غربالگری و خدمات امدادی چند هدفه با تقاضای فازی به مجروحان بحران زلزله؛ به کمک روش ال پی متریک. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*. ۱۱ (۴)، ۳۸۵-۴۰۰.

مقدمه

یکی از موضوعاتی که بیشتر شهرهای بزرگ جهان با آن مواجه هستند، موضوع حوادث طبیعی می باشد. برای اتخاذ و اجرای سریع و صحیح تصمیم ها جهت کاهش آسیب پذیری و اثرات آن ها قبل، حین و بعد از وقوع حوادث طبیعی مدیریت بحران لازم است (زنگی آبادی و همکاران، ۱۳۹۵). تحت هیچ شرایطی نمی توانیم از اهمیت مدیریت زنجیره تأمین سلامت بکاهیم. مکان یابی مراکز درمانی و بیمارستانی در سناریوهای تحت تأثیر حوادث طبیعی می تواند به کنترل بیشتر بر خسارات جانی و مالی منتهی گردد (باقری و همکاران، ۱۳۹۹). از مهم ترین برنامه های مدیریت بحران، عملیات به موقع و مؤثر امداد و نجات می باشد (پروانه و همکاران، ۱۳۹۵). مکان یابی مراکز ارائه خدمات درمانی و بیمارستانی و تخصیص آن ها به متقاضیان استفاده از این خدمات، یکی از مهم ترین چالش های پیش روی مدیران و برنامه ریزان شهری است. اهمیت تصمیم گیری درست در این حوزه و استفاده مؤثر از منابع به حدی است که هرگونه تصمیم نادرست علاوه بر بالا بردن هزینه های سیستم بهداشت و درمان، می تواند صدمات جبران ناپذیری را به سلامت فردی و اجتماعی وارد کند (جقتایی و همکاران، ۱۳۹۵). در سال های اخیر مدیریت بحران به عنوان یک رویکرد مناسب جهت برنامه ریزی و مقابله با بحران بلایا مطرح شده است. در این زمینه لجستیک امداد به عنوان یکی از اجزای مهم مدیریت بحران نقش حیاتی در موفقیت مدیریت بحران دارد (جعفری اسکندی و عززگان، ۱۳۹۸). بحران حادثه ای است که به طور طبیعی یا به وسیله بشر، به طور ناگهانی یا به صورت فزاینده به وجود می آید و برای برطرف کردن آن نیاز به اقدامات اضطراری و اساسی است. هنگامی که بحران اتفاق می افتد مکان انبارهای از قبل تعیین شده، نقش مهمی در امداد رسانی دارند (حسن زاده و علیزاده، ۱۳۹۸). در میان حوادث و بلایای طبیعی، زلزله، به دلیل غیرقابل پیش بینی بودن، از مخرب ترین این بلایا به شمار می رود (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۱). از این رو، یکی از مهم ترین مسائلی که مورد توجه سازمان ها مدیریت بحران قرار دارد، انتخاب مکان هایی جهت استقرار موقت سانه دیدگان است (گیوه چی و عطار، ۱۳۹۱). در سال های اخیر، مکان یابی تسهیلات موقت و سیار در سیستم های سلامت بسیار مورد توجه قرار گرفته

است (فخرزاد و قاسمی، ۱۳۹۸). مراکز درمانی به طور مستقیم در تأمین سلامت فرد و جامعه تأثیر می گذارند و دسترسی سریع و ارزان به این مراکز در جوامع شهری، مهم و ضروری می باشد (مرادی و نصیری، ۱۳۹۶). یکی از حلقه های مهم در زنجیره تأمین شبکه توزیع است. موضوع مکان یابی توزیع کنندگان نیز یکی از مسائل مهم زنجیره تأمین درباره تصمیم های سیستم توزیع محسوب می گردد (فضلی بشلی و جهان، ۱۳۹۷). پاسخ گویی اضطراری، متکی به شبکه های حمل و نقل است و موقعیت مکانی وسایل ضروری به وضوح به شبکه های حمل و نقل مربوط می شود (یانگ و همکاران، ۲۰۲۱). از طرف دیگر، فرآیند تخلیه از کلیدی ترین فعالیت های هم زمان با بحران هنگام رخداد فجایع است (مزرعه فراهانی و همکاران، ۱۳۹۷). به طور معمول در حوادث پیش آمده، دسترسی به همه نقاط امکان پذیر نیست؛ از این رو، امداد رسانی در دو سطح و با امکانات متفاوت، شاید راه حل مناسبی باشد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۴). یکی از موارد مهم در مسائل مکان یابی محور، مکان یابی نقاط انتقال به عنوان نقاط جمع آوری مشتریان می باشد که به سرویس هایی از یک تسهیل نیازمندند (آراسته و همکاران، ۱۳۹۴). خسروی و حصاری ادعا نمودند یکی از مهم ترین معیارهای ارزیابی مکان تسهیلات، نزدیک بودن محل تسهیلات به مشتریان می باشد (خسروی و حصاری، ۱۳۹۹). باقری و همکاران برای مکان یابی تسهیلات سه سطح اصلی اعم از تقاضا، مراکز درمانی و بیمارستان ها و تأمین کنندگان را تعریف کردند و با استفاده از مدل برنامه ریزی خطی و قطعی نسبت حل مسئله اقدام نمودند، رویکرد مدل آن ها بهینه سازی است و پاسخ پایانی را به طور دقیق محاسبه نموده اند (باقری و همکاران، ۱۳۹۹). (مراکل و یامن، ۲۰۱۶) برای مکان یابی نقطه انتقال تحت تقاضای غیرقطعی مدل پایداری را گسترش دادند. در پژوهش آن ها با رویکرد مدل سازی خطی عدد صحیح و با تابع هدف مینی ماکس تابع ریاضی فرموله شده است. (ملک محمدی و ماکوئی، ۱۳۹۸) یک مدل بهینه سازی دو هدفه جهت مکان یابی مراکز خدمات پزشکی اضطراری که بین توابع هدف پوشش و دسترسی تعادل برقرار می کند، ارائه دادند.

فاز آماده سازی مدیریت بحران فرموله و حل کردند، مدل پیشنهادی آن‌ها مسأله مکان‌یابی و تخصیص چند کالایی را مطالعه می‌کند و تلاش می‌نماید تا کل هزینه‌ها را با بیشینه کردن کمینه وزن مکان‌های احداث شده کاهش دهند. (سیتیوان و همکاران، ۲۰۱۹) پژوهشی را درباره استقرار تسهیلات توزیع امدادی بعد از یک حادثه ناگهانی انجام دادند، سه مدل در پژوهش آن‌ها معرفی شده است که مدل اول برای وظایف فعلی، مدل دوم برای توزیع اقلام امدادی توسط مراکز توزیع و مدل سوم برای از بین بردن موانع عملکردی است که به مراکز تخلیه و توزیع اجازه می‌دهد تا ماشین‌هایشان را به اشتراک بگذارند. (قاسمی و همکاران، ۲۰۱۹) مدل مکان‌یابی-تخصیص چند ماشینه، چند زمانه، چند کالائی و چند هدفه را در شرایط عدم قطعیت معرفی کردند، مدل برای فاز پاسخ‌گویی زلزله پیشنهاد شده است.

همان‌طور که در مرور ادبیات گفته شد مطالعات زیادی در حوزه مکان‌یابی-تخصیص تاکنون انجام شده است که تعدادی از آن‌ها دارای تقاضای فازی و برخی از آن‌ها دارای سطح‌های مختلف زنجیره تأمین مانند مشتری، عمده‌فروش و خرده‌فروش هستند و برخی دیگر هم بر ضرورت مکان‌یابی هنگام وقوع بحران تمرکز کرده‌اند و هدف آن‌ها یافتن مکان‌هایی است که نزدیک به مشتریان باشند تا سرعت خدمت‌دهی و رضایت مشتری و یا افراد مجروح بالا رود. تفاوت تحقیق حاضر با مقالات موجود در ادبیات تحقیق مانند مقاله پرانیتپولکرانگ و همکاران آن است که در این مقالات تنها ارسال کالاهای امداد بررسی شده است و افراد حادثه دیده دسته بندی نشدند. همچنین در مدل‌های موجود در مرور ادبیات، موضوع جریمه نرسیدن اقلام امدادی مطرح نشده است. به عنوان نمونه در مقاله پرانیتپولکرانگ و همکاران، تنها سه تابع هدف مینیمم سازی هزینه کل، کمینه کردن زمان کل و کمینه کردن تعداد پناهگاه‌های مورد استفاده برای فراهم کردن سرویس برای مشتریان در مدل قرار داده شده است و همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره نمودیم این تحقیق نیز مانند بسیاری از تحقیقات، فرض رسیدن مجروحان حادثه به مراکز خدمات درمانی را در نظر نگرفته است و علاوه بر آن، حالتی که در آن نرسیدن اقلام امدادی به مشتری جریمه شود،

مدل آن‌ها تصمیمات استراتژیک مکان‌یابی و تصمیمات تاکتیکال تخصیص را در نظر گرفته است. (صالحی و میرمجلسی، ۱۳۹۸) یک مدل ریاضی برای فرمول‌بندی هم‌زمان تصمیمات مکان‌یابی و کنترل موجودی در یک شبکه زنجیره تأمین چهار سطحی با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت ارائه کرده‌اند. سطوح در نظر گرفته‌شده شامل تأمین‌کنندگان، انبارها، هاب‌ها و خرده‌فروشان می‌باشد. (محمدیان بهبانی و جبار زاده، ۱۳۹۵) یک مدل غیرقطعی بهینه‌سازی چندهدفه طراحی شبکه زنجیره تأمین خون با تمرکز بر مکان‌یابی و تخصیص مراکز مختلف در صورت بروز اختلال را ارائه کردند. (بهنامیان و همکاران، ۱۳۹۴) موضوع مکان‌یابی انبارها و تصمیمات مربوط به نگهداری کالا در آن‌ها برای مقابله با تقاضای ناگهانی هنگام وقوع یک حادثه بررسی نموده‌اند. (ژیانگ و اویانگ، ۲۰۲۱) یک مدل مکان‌یابی تسهیلات خدمات مشترک چند منظوره پیشنهاد کردند، که می‌تواند نیاز همکاری در خدمت‌دهی از چند ایستگاه خدمت‌رسانی را هم‌زمان با ریسک اختلال در ایستگاه‌ها در نظر بگیرد. (کبریایی و همکاران، ۲۰۲۱) در مقاله خود یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی فازی استوار، به منظور طراحی یک شبکه زنجیره تأمین کالای امدادی در بحران با در نظر گرفتن داوطلبان امدادی، ارائه دادند. (پرانیپولکرانگ و همکاران، ۲۰۲۱) پژوهشی درباره یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه تخصیص مکان‌یابی پناهگاه به منظور پاسخ به تدارکات امدادی بشر دوستانه انجام دادند. آن‌ها در مدل خود از سه تابع هدف کمینه‌سازی هزینه کل، کمینه کردن زمان کل و کمینه کردن تعداد پناهگاه‌های مورد استفاده برای فراهم کردن سرویس مشتریان، استفاده کردند. (لی و همکاران، ۲۰۲۱) یک مدل برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو را توسعه دادند که می‌تواند ارتباط را بین حوادث اولیه و ثانویه در وضعیت عدم قطعیت برقرار نماید. (هنگ و جئونگ، ۲۰۲۰) تحقیقی را با هدف پیشنهاد و شفاف کردن روش طراحی مسیریابی-تخصیص مکان‌یابی مراکز بهبود در حوادث، با در نظر گرفتن ریسک اختلال در تسهیلات به عنوان یک بخش از فعالیت‌های امداد حوادث انجام دادند. (چراغ علی پور و همکاران، ۲۰۲۰) یک مدل ریاضی چند هدفه خطی برای

1. Jiang&Ouyang
2. Praneetpholkrang et al
3. Li et al
4. Hong&Jeong

مورد تحلیل و بررسی قراردادیم. در مدل (سیدی و همکاران، ۱۳۹۸) مکان‌یابی نقاط انتقال و تخصیص بهینه افراد مجروح به مراکز، مورد بررسی قرار گرفته است. مجروحان توسط آمبولانس به نقاط انتقال آورده می‌شوند و سپس از نقطه انتقال به مراکز امداد و بیمارستان‌ها فرستاده می‌گردند. به این مدل، مراکز تأمین اقلام امدادی را نیز افزودیم، این مراکز وظیفه دارند تا مقدار اقلام امدادی مورد نیاز مجروحان نقاط انتقال، بیمارستان و مراکز امداد را تأمین نمایند و با کامیون، نیسان و وانت برای آن‌ها بفرستند. مجروحان پس از رسیدن به نقاط انتقال ابتدا تعیین وضعیت می‌گردند. در این مقاله سه نوع وضعیت برای مجروحان در نظر گرفته شده‌اند؛ مجروحان سبز، جراحیشان سطحی است و در نقاط انتقال به صورت سرپایی درمان می‌شوند. مجروحان زرد، جراحیشان نسبتاً بیشتر است و نیاز به انتقال به مراکز امداد دارند و مجروحان قرمز -که جراحات آن‌ها شدید است و نیاز به عمل جراحی، قطع عضو، پیوند اعضا و ... دارند- به بیمارستان فرستاده می‌شوند. بیماران قرمز در درجه اول با هلی‌کوپتر و در صورت کافی نبودن ظرفیت هلی‌کوپتر با آمبولانس به بیمارستان منتقل می‌شوند. جدول (۱) وضعیت بیماران و نحوه برخورد با آن‌ها در نقاط انتقال را نشان می‌دهد. تمامی نقاط انتقال و مراکز امداد و بیمارستان‌ها دارای ظرفیت مخصوص به خود هستند، همچنین وسایل نقلیه نیز ظرفیت‌های خاص خود را دارند. مجروحان ابتدا از نقطه تقاضا به نقاط انتقال ارسال می‌گردند. ممکن است بیماری پس از ارسال به مرکز امداد از حالت زرد به قرمز در بیاید و وضعیت بدتری پیدا کند، که در این صورت با آمبولانس از مرکز امداد به بیمارستان برده می‌شود.

در این پژوهش یک مدل دوهدفه ارائه می‌گردد، تابع هدف اول برای حداقل کردن زمان رساندن مجروحان و اقلام امدادی به نقاط انتقال، بیمارستان و مرکز امداد است و تابع هدف دوم برای کمینه نمودن هزینه‌های کمبود ناشی از عدم ارسال به موقع مجروحان و اقلام امدادی به بیمارستان‌ها، مراکز امداد و نقاط انتقال به دلیل محدودیت‌های ظرفیت می‌باشد. مدل با در نظر گرفتن انتخاب تمام یا تعدادی از نقاط انتقال، بیمارستان‌ها و مراکز تولید حل شده و نتایج عددی آن‌ها نشان داده شده است و متغیرها با هم مقایسه شده‌اند.

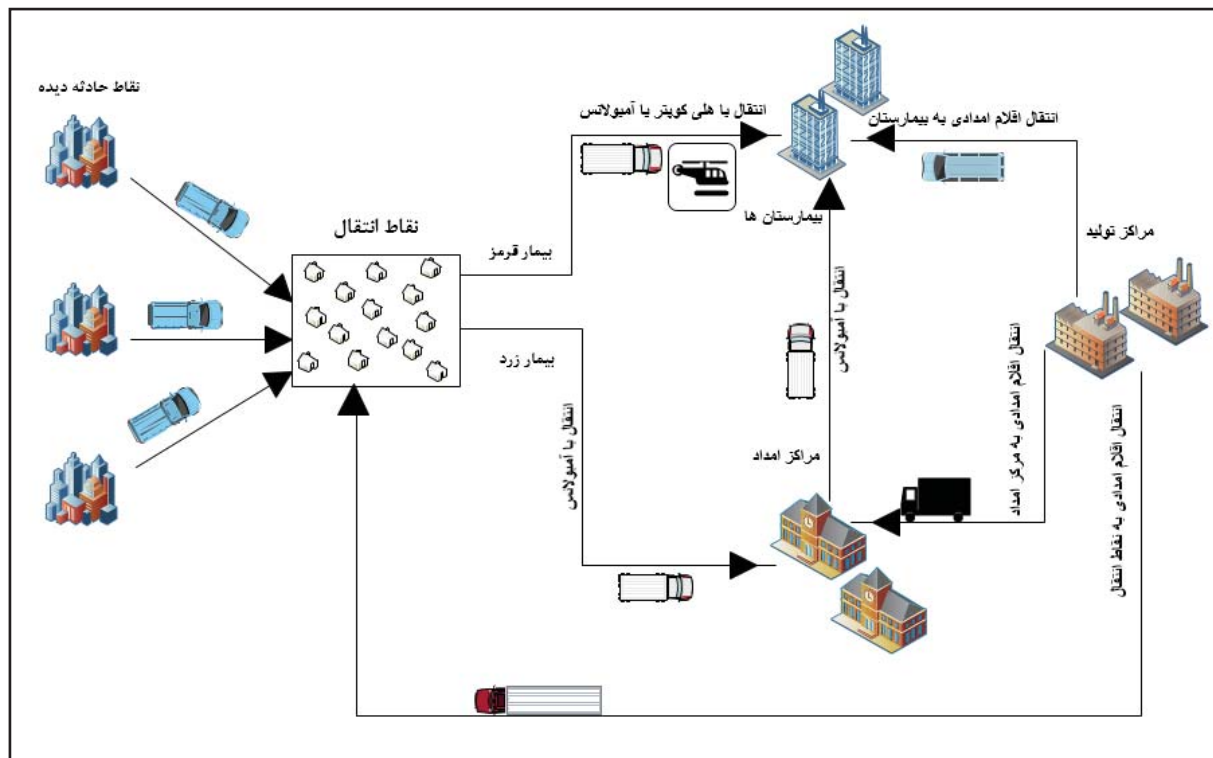
در نظر گرفته نشده است. در نتیجه تفاوت تحقیق ما با پژوهش پرانتیپولکرانگ و همکاران و سایر پژوهش‌های موجود در مرور ادبیات در این است که ما علاوه بر اینکه بیماران را در سه سطح سبز، زرد و قرمز دسته‌بندی نمودیم و رسیدن اقلام امدادی به آن‌ها را نیز مدنظر قرار می‌دهیم، هزینه‌های نرسیدن بیماران به مراکز و نرسیدن اقلام امدادی به بیماران را هم به پژوهش خود اضافه کردیم و مدل خود را با دو تابع هدف به روش معیار جامع^۱ و برای دو حالت حل نمودیم. حالت اول با فرض اینکه از تمام ظرفیت‌های موجود استفاده کنیم و حالت دوم این احتمال را در نظر گرفتیم که ممکن است در تخمین تعداد مراکز خدمت‌رسانی اشتباه کنیم و یا به دلیل به وجود آمدن خرابی در مراکز خدمت‌رسانی نتوانیم از تمام مراکز خدمت‌رسانی استفاده کنیم، این اشتباه در تعیین تعداد مراکز، موجب پرداخت هزینه‌های سنگینی می‌گردد، چراکه اگر تعداد مراکز خدمت‌دهی را بیش از نیاز در نظر بگیریم، عملاً هزینه زیادی متحمل شده‌ایم و تعداد زیادی ماشین و منابع را بدون اینکه کاربردی داشته باشند به محل حادثه برده‌ایم. برعکس اگر تعداد مراکز خدمت‌دهی را کمتر از تعداد مجروحان در نظر بگیریم، هزینه‌های جبران‌ناپذیری برای جامعه در پی خواهد داشت و ممکن است عده زیادی در اثر عدم وجود امکانات امدادی کافی کشته شوند. در این تحقیق، عدم قطعیت در تعداد بیماران را با عدد فازی نشان دادیم. این مدل به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد که بدانند برای هر تعداد مجروح از هر منبع چقدر لازم است و همچنین بتوانند هزینه و تبعات تصمیم‌گیری اشتباه خود را ارزیابی کنند.

روش

در این مقاله مدل مکان‌یابی و تخصیص بهینه نقاط انتقال، بیمارستان و مراکز امدادی برای تشکیل زنجیره امداد رسانی در بحران، با فرض غربالگری مجروحان نوشته (سیدی و همکاران، ۱۳۹۸) را مورد بررسی قراردادیم و مفروضاتی مانند وجود تأمین کننده برای رساندن اقلام امدادی به مراکز خدمات درمانی و امکان نرسیدن اقلام امدادی به دلیل وجود محدودیت در ظرفیت‌ها را در آن لحاظ کردیم و سپس آن را با نرم‌افزار گمز و سالور cplex حل کرده و نتایج را

جدول ۱. نحوه دسته بندی بیماران در نقاط انتقال را نشان می دهد

نوع بیمار	سبز	زرد	قرمز
نحوه امداد رسانی در نقطه انتقال	درمان سرپایی	انتقال به مراکز امداد با آمبولانس	انتقال به بیمارستان ها با هلی کوپتر با آمبولانس



شکل ۱. زنجیره امداد رسانی در مدل پیشنهادی

دارند. وظیفه مراکز تولید ارسال اقلام درمانی مورد نیاز به مراکز خدمات درمانی می باشد. این اقلام از مراکز تولید به بیمارستان ها، مراکز امداد و نقاط انتقال، متناسب با تعداد مجروحان موجود در آن ها، با ماشین های دارای ظرفیت های متفاوت ارسال می گردند. با توجه به اینکه پیش بینی تعداد افراد آسیب دیده به صورت دقیق امری غیرممکن است این تعداد به صورت فازی در نظر گرفته شده است. به دلیل اینکه تعداد افراد حادثه دیده در ابتدا بسیار زیاد و سپس مقداری یکنواخت و در انتها روند نزولی دارد، عدد فازی ذوزنقه ای انتخاب شده است.

مفروضات مدل

به دلیل غیرقابل پیش بینی بودن تقاضا، تعداد مجروحان را به صورت عدد فازی ذوزنقه ای در نظر می گیریم. دلیل انتخاب عدد فازی ذوزنقه ای این است که در ابتدای بحران تعداد مجروحان بسیار زیاد

شکل (۱) زنجیره امداد رسانی در مدل ارائه شده را نشان می دهد. بیماران ابتدا با استفاده از ماشین ها از نقاط حادثه دیده به نقاط انتقال فرستاده می شوند. سپس، در نقطه انتقال به دسته های سبز، قرمز و زرد تقسیم می شوند. بیماران سبز به صورت سرپایی در نقطه انتقال، مداوا و مرخص می گردند و بیماران قرمز با آمبولانس و هلی کوپتر به بیمارستان ها اعزام می شوند. با توجه به شرایط زلزله و همچنین وضعیت حاد بیماران قرمز، سعی می شود در وهله اول از هلی کوپتر استفاده شود و در صورت نبود هلی کوپتر، از آمبولانس استفاده گردد. بیماران زرد با آمبولانس از نقطه انتقال به مراکز امداد فرستاده می شوند. در مراکز امداد ممکن است برخی از بیماران زرد، وضعیتشان وخیم گردد و به بیمار قرمز تبدیل شوند، در این صورت این بیماران با آمبولانس های موجود در مراکز امداد به بیمارستان ها ارسال می گردند. در سمت راست شکل (۱) مراکز تولید وجود

t_{lk} : زمان سفر بین دونقطه مرکز امداد l و بیمارستان k	می باشد، سپس این تعداد به عدد ثابتی می رسد و رفته رفته مقدار مجروحان کاهش می یابد.
t_{jm} : زمان سفر بین دونقطه انتقال j و مرکز تولید m	مدل را در حالت زلزله بزرگ حل کردیم.
t_{lm} : زمان سفر بین دو مرکز امداد l و مرکز تولید m	بیماران به سه دسته بیماران سبز، بیماران زرد و بیماران قرمز تقسیم می گردند.
t_{km} : زمان سفر بین دونقطه بیمارستان k و مرکز تولید m	برای بیمارانی که در نقطه تقاضا به هر یک از رنگ های سبز، زرد و قرمز تبدیل می گردند، ضریبی در نظر گرفته شده است که مقداری بین صفر و یک دارد و مجموع این سه ضریب باید برابر یک باشد.
α : ضریب کاهش زمان سفر از نقطه انتقال به بیمارستان	
CAP_k : ظرفیت بیمارستان k	برای تبدیل بیماران از وضعیت زرد به قرمز، ضریبی در نظر گرفته شده است که بین صفر و یک می باشد.
$CAP.AMBB_i$: ظرفیت ماشین نقطه تقاضا i	نقاط انتقال، بیمارستان ها و مراکز امداد دارای ظرفیت هستند.
$CAP.AMBY_j$: ظرفیت آمبولانس نقطه انتقال j برای حمل مجروح زرد	ظرفیت مراکز تولید اقلام امدادی نامحدود، اما ظرفیت ماشین های آن ها محدود می باشد.
$CAP.AMBR_j$: ظرفیت آمبولانس نقطه انتقال j برای حمل مجروح قرمز	تقاضای نقاط حادثه دیده به صورت متغیر تصادفی فازی دوزنقه ای در نظر گرفته شده است.
$CAP.HELI_j$: ظرفیت هلی کوپتر نقطه انتقال j	اندیس ها، پارامترها و متغیرهای مدل
$CAP.OT_j$: ظرفیت درمان نقطه انتقال j	اندیس ها
$CAP.HRC_l$: ظرفیت درمان مرکز امداد l	i : اندیس ناحیه تقاضا
$CAP.ARC_l$: ظرفیت آمبولانس مرکز امداد l	j : اندیس نقاط انتقال
$CAP.TR_m$: ظرفیت ون تأمین کننده m	k : اندیس بیمارستان ها
$CAP.TRR_m$: ظرفیت نیشان تأمین کننده m	l : اندیس نقاط امداد مرکزی
$CAP.TS_m$: ظرفیت کامیون تأمین کننده m	m : اندیس نقاط بیمارستان ها
p : تعداد نقاط انتقال	پارامترها
s : تعداد نقاط امداد رسانی	DT_i : مقدار کل تقاضا (مجروح) ناحیه تقاضا i
q : تعداد بیمارستان ها	β_r : نسبت مجروحان قرمز از کل مجروحان
mh : تعداد مراکز تولید	β_y : نسبت مجروحان زرد از کل مجروحان
CX : هزینه عدم ارسال مجروح از نقطه تقاضا به نقطه انتقال	β_g : نسبت مجروحان سبز از کل مجروحان
CYR : هزینه عدم ارسال مجروح قرمز از مرکز امداد به بیمارستان	β_{yr} : نسبت مجروحان زرد که در مرکز امداد به مجروح قرمز تبدیل می شوند
CY : هزینه عدم ارسال مجروح زرد از نقطه انتقال به مرکز امداد	t_{ij} : زمان سفر بین دونقطه تقاضای i و انتقال j
CR : هزینه عدم ارسال مجروح قرمز از نقطه انتقال به بیمارستان	t_{jk} : زمان سفر بین دونقطه انتقال j و بیمارستان k
$COMK$: هزینه عدم ارسال اقلام امدادی از مرکز تولید به بیمارستان	t_{jl} : زمان سفر بین دونقطه انتقال j و مرکز امداد l
$COML$: هزینه عدم ارسال اقلام امدادی از مرکز تولید به مرکز امداد	
$COMJ$: هزینه عدم ارسال اقلام امدادی از مرکز تولید به نقطه انتقال	

متغیرها

ZZ_j : برابر ۱ است اگر نقطه انتقال j انتخاب شود در غیر این صورت *

x_{ij} : تعداد مجروحان ارسالی از نقطه تقاضا i به نقطه انتقال j

U_1 : برابر ۱ است اگر مرکز امداد ۱ انتخاب شود در غیر این صورت *

R_j : تعداد مجروحان قرمز در نقطه انتقال j

Y_j : تعداد مجروحان زرد در نقطه انتقال j

WW_m : برابر ۱ است اگر مرکز تولید m انتخاب شود در غیر این صورت *

G_j : تعداد مجروحان سبز در نقطه انتقال j

RH_{jk} : تعداد مجروحان قرمز ارسالی توسط هلی کوپتر از نقطه انتقال j به بیمارستان k

مدل برنامه ریزی ریاضی

همان طور که پیشتر هم اشاره کردیم، مدل مکان یابی و تخصیص بهینه نقاط انتقال، بیمارستان و مراکز امدادی برای تشکیل زنجیره امدادرسانی در بحران، با فرض غربالگری مجروحان (سیدی و همکاران، ۱۳۹۸) را بررسی نمودیم و با افزودن مرکز تولید و چهار سطحی نمودن شبکه زنجیره تأمین آن، مدل را برای دو حالت استفاده از تمام ظرفیت ها و استفاده از بخشی از ظرفیت ها فرموله و حل کردیم. با اینکه در موضوعات امدادرسانی در زمان بحران باید همواره بدترین شرایط در نظر گرفته شود، اما گاهی به دلیل کمبود امکانات و محدودیت بودجه در افزایش تسهیلات، ممکن است به بعضی مجروحان در زمان مناسب امدادرسانی نشود و اقلام امدادی به موقع به مراکز خدمت رسانی ارسال نگردند و قطعاً مدیریت این موضوع به جهت جلوگیری از تلفات زیاد بسیار حائز اهمیت می باشد. به طور قطع، خسارت نرسیدن اقلام امدادی به بیمارستان برای رفع مشکل بیمار قرمز، با نرسیدن همین اقلام به نقطه انتقال و رفع مشکل بیمار سبز برابر نیست. به همین دلیل، تابع هدف دوم مقاله (سیدی و همکاران، ۱۳۹۸) را به صورت زیر تغییر دادیم تا بتوانیم علاوه بر حداقل سازی جریمه ناشی از نرسیدن تعدادی از افراد مجروح به مراکز، هزینه های عدم ارسال اقلام امدادی به مراکز خدمت رسانی، به دلیل نبود ظرفیت کافی، را نیز کمینه نماییم. معادلاتی که در ادامه آمده اند، معادلات مربوط به مدل می باشند.

RA_{jk} : تعداد مجروحان قرمز ارسالی توسط آمبولانس از نقطه انتقال j به بیمارستان k

YA_{jl} : تعداد مجروحان زرد ارسالی توسط آمبولانس از نقطه انتقال j به مرکز امداد l

YR_{lk} : تعداد مجروحان قرمز ارسالی توسط آمبولانس از مرکز امداد l به بیمارستان k

DMK_{mk} : مقدار کالای ارسال شده از تأمین کننده m به بیمارستان k

DML_{ml} : مقدار کالای ارسال شده از تأمین کننده m به مرکز امداد l

DMJ_{mj} : مقدار کالای ارسال شده از تأمین کننده m به نقطه انتقال j

KX_i : تعداد مجروح ارسال نشده به نقاط انتقال از نقطه تقاضا i

KYR_1 : تعداد مجروح قرمز ارسال نشده به بیمارستان از مرکز امداد l

KY_j : تعداد مجروح زرد ارسال نشده به بیمارستان از نقطه انتقال j

KR_j : تعداد مجروح قرمز ارسال نشده به بیمارستان از نقطه انتقال j

DE_k : تعداد اقلام امدادی ارسال نشده از مراکز تولید به بیمارستان k

DL_1 : تعداد اقلام امدادی ارسال نشده از مراکز تولید به مرکز امداد l

DJ_j : تعداد اقلام امدادی ارسال نشده از مراکز تولید به نقطه انتقال j

(۱) W_k : برابر ۱ است اگر بیمارستان k انتخاب شود در غیر این صورت *

$$\begin{aligned} MIN Z1 = & \sum_i \sum_j t_{ij} * x_{ij} + \sum_j \sum_k t_{jk} * RH_{jk} * \alpha + \sum_j \sum_k t_{jk} * RH_{jk} + \sum_i \sum_l t_{il} * YA_{jl} + \sum_l \sum_k t_{lk} * YR_{lk} + \\ & \sum_m \sum_k t_{mk} * DMK_{mk} + \sum_m \sum_j t_{mj} * DMJ_{mj} + \sum_m \sum_l t_{ml} * DML_{ml} \end{aligned}$$

(۲)

$MIN Z2 =$

$$\sum_i CX * KX_i + \sum_l CYR * KYR_l + \sum_j (CY * KY_j + CR * KR_j) + \sum_k COMK * DE_k + \sum_l COML * DL_l + \sum_j COMJ * DJ_j$$

$$\sum_m DML_{ml} \geq \sum_j YA_{jl} \quad \forall l \quad (۲۵) \quad (۳)$$

$$\sum_l DML_{ml} \leq CAP.TRR_m * WW_m \quad \forall m \quad (۲۶) \quad (۴)$$

$$\sum_m DMJ_{mj} \geq \sum_i x_{ij} \quad \forall j \quad (۲۷) \quad (۵)$$

$$\sum_j DMJ_{mj} \leq CAP.TS_m * WW_m \quad \forall m \quad (۲۸) \quad (۶)$$

$$\sum_m WW_m = mh \quad (۲۹) \quad (۷)$$

$$x_{ij}, G_j, Y_j, R_j, RH_{jk}, RA_{jk}, YA_{jl}, YR_{lk}, DMK_{mk}, DMJ_{mj}, DML_{ml} \geq 0 \text{ and integer} \quad (۳۰) \quad (۸)$$

$$ZZ_j, U_l, W_k, WW_m \in \{0.1\} \quad (۳۱) \quad (۹)$$

$$KX_i, KYR_l, KY_j, KR_j, DE_k, DJ_j, DL_l \geq 0 \text{ and integer} \quad (۳۲) \quad (۱۰)$$

$$\sum_j RH_{jk} + \sum_j RA_{jk} + \sum_l YR_{lk} \leq CAP_k * W_k \quad \forall k \quad (۱۱)$$

$$\sum_l YA_{jl} \leq CAP.AMBY_j * ZZ_j \quad \forall j \quad (۱۲)$$

$$\sum_k RA_{jk} \leq CAP.AMBR_j * ZZ_j \quad \forall j \quad (۱۳)$$

$$G_j + R_j + Y_j \leq CAP.OT_j * ZZ_j \quad \forall j \quad (۱۴)$$

$$\sum_k RH_{jk} \leq CAP.HELL_j * ZZ_j \quad \forall j \quad (۱۵)$$

$$\sum_j YA_{jl} \leq CAP.HRC_l * U_l \quad \forall l \quad (۱۶)$$

$$\sum_k YR_{lk} \leq CAP.ARC_l * U_l \quad \forall l \quad (۱۷)$$

$$\sum_j ZZ_j = p \quad (۱۸)$$

$$\sum_l U_l = s \quad (۱۹)$$

$$\sum_k W_k = q \quad (۲۰)$$

$$\sum_m DMK_{mk} + DE_k \geq \sum_j RH_{jk} + \sum_l YR_{lk} + \sum_j RA_{jk} \quad \forall k \quad (۲۱)$$

$$\sum_m DML_{ml} + DL_l \geq \sum_j YA_{jl} \quad \forall l \quad (۲۲)$$

$$\sum_m DMJ_{mj} + DJ_j \geq \sum_i x_{ij} \quad \forall j \quad (۲۳)$$

$$\sum_k DMK_{mk} \leq CAP.TR_{mk} * WW_m \quad \forall m \quad (۲۴)$$

معادله (۱) بیان گر تابع هدف حداقل سازی زمان کل انتقال مجروحان و اقلام امدادی به نقطه انتقال، بیمارستان و مرکز امداد می باشد. معادله (۲) بیان گر تابع هدف حداقل سازی هزینه های ناشی از کمبود یا عدم ارسال کالا و مجروح به دلیل وجود محدودیت ها است. معادله (۳) بیان می کند کل مجروحان نقاط تقاضا یا به نقاط انتقال ارسال می گردند و یا به صورت کمبود در نقطه تقاضا باقی می ماند. معادله (۴) بیان می کند کل مجروحان زرد انتقال داده شده به نقطه انتقال یا به مرکز امداد ارسال می شوند یا به صورت کمبود در همان نقطه انتقال باقی می ماند. معادله (۵) بیان می کند که مجروحان قرمز فرستاده شده به نقطه انتقال با هلی کوپتر یا آمبولانس آن نقطه انتقال به بیمارستان ارسال می شوند و یا به صورت کمبود در همان نقطه انتقال باقی می ماند. معادله (۶) بیان می کند که مجروحان ارسال شده به مرکز امداد اگر از حالت زرد به قرمز تبدیل گردند یا به بیمارستان ارسال می شوند و یا به صورت کمبود در همان نقطه باقی می ماند. معادلات (۷، ۸، ۹) به ترتیب تعداد کل مجروحان سبز، قرمز و زرد را در یک نقطه انتقال نشان می دهند. معادله (۱۰) بیان می کند که مجموع نسبت های مجروحان سبز و زرد و قرمز باید برابر یک شود.

معادلات (۱۱-۱۷) نشان می دهند که مجروحان ارسالی به نقاط انتقال، مراکز امداد و بیمارستان باید از ظرفیت های این مراکز و همچنین ظرفیت آمبولانس ها و هلی کوپترها کمتر باشند. معادلات

مفاهیم اصلی راه حل استفاده شده بر اساس فاصله مورد انتظار (EI) و ارزش مورد انتظار (EV) فرمول‌های (۳۴) و (۳۵) نشان می‌دهند که چگونه یک عدد فازی مثلثی به فاصله مورد انتظار (EI) و ارزش مورد (EV) انتظار تبدیل می‌شود و فرمول‌های (۳۶) و (۳۷) راه حل استفاده شده برای عدد فازی دوزنقه‌ای را نشان می‌دهند (یو و همکاران، ۲۰۲۰).

$$EI(\tilde{c}) = \left[\int_0^1 w_c^{-1}(x) d(x) \cdot \int_0^1 u_c^{-1}(x) d(x) \right] = \quad (34)$$

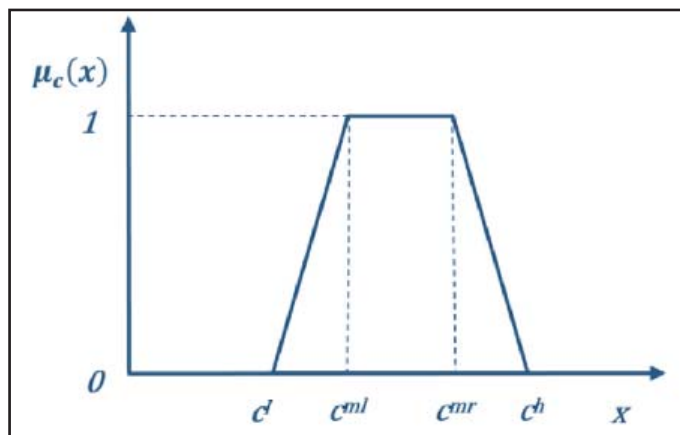
$$\left[\frac{1}{2}(c^l + c^m) \cdot \frac{1}{2}(c^m + c^h) \right]$$

$$EV(\tilde{c}) = \frac{E_1^c + E_2^c}{2} = \frac{(c^l + 2c^m + c^h)}{4} \quad (35)$$

$$EI(\tilde{c}) = \left[\frac{1}{2}(c^l + c^m) \cdot \frac{1}{2}(c^m + c^h) \right] \quad (36)$$

$$EV(\tilde{c}) = \frac{(c^l + c^{ml} + c^{mr} + c^h)}{4} \quad (37)$$

ما در عمل از فرمول (۳۷) برای محاسبه عدد فازی دوزنقه‌ای استفاده می‌کنیم. همان‌طور که پیشتر اشاره شد، شکل (۲) عدد فازی دوزنقه‌ای را نشان می‌دهد (یو و همکاران، ۲۰۲۰).



شکل ۲. نمایش عدد فازی دوزنقه‌ای (یو و همکاران، ۲۰۲۰)

روش حل مدل ریاضی پیشنهادی

ما برای حل مدل ریاضی پیشنهادی از روش معیار جامع^۵ استفاده نمودیم (پایدار و همکاران، ۱۳۹۶). روش معیار جامع از روش‌های

(۱۸-۲۰) تعداد نقاط انتقال، مرکز امداد و بیمارستان‌ها را مشخص می‌کند. معادله (۲۱) بیان می‌کند کل تقاضای بیمارستان یا توسط تولیدکننده برآورده می‌شود و یا به صورت کمبود در انبار تولیدکننده می‌ماند. معادله (۲۲) بیان می‌کند کل تقاضای مرکز امداد یا توسط تولیدکننده برآورده می‌شود و یا به صورت کمبود در انبار تولیدکننده می‌ماند. معادله (۲۳) بیان می‌کند کل تقاضای نقطه انتقال یا توسط تولیدکننده برآورده می‌گردد و یا به صورت کمبود در انبار تولیدکننده می‌ماند. معادلات (۲۴، ۲۶ و ۲۸) نشان می‌دهند که میزان کالاهای امدادی ارسالی از مراکز تولید به بیمارستان‌ها، مراکز امداد و نقاط انتقال باید کمتر یا مساوی ظرفیت ماشین‌های موجود در مراکز تولید باشد. معادلات (۲۵ و ۲۷) نشان می‌دهند که مقدار اقلام امدادی ارسالی از مراکز تولید به بیمارستان‌ها، مراکز امداد و نقاط انتقال باید از بزرگ‌تر یا مساوی میزان مجروحان موجود در این نقاط باشند. معادله (۲۹) تعداد مراکز تولید انتخابی را نشان می‌دهد. معادلات (۳۰، ۳۱ و ۳۲) بیان‌گر نوع متغیرهای مسأله می‌باشند.

رویکرد فازی

برای نشان دادن رویکرد فازی ما از روش (یو و همکاران، ۲۰۲۰) استفاده نمودیم. عدد فازی مربوط به پارامترها با تابع عضویت موجود در فرمول (۳۳) نشان داده می‌شود. مقادیر c^l ، c^m ، c^h به ترتیب حدود بدبینانه^۲، محتمل^۳ و خوش‌بینانه^۴ را معرفی می‌کنند؛ که همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، می‌تواند برای عدد فازی دوزنقه‌ای استفاده گردد.

با تبدیل $x = c^m$ به فاصله $x \in [c^{ml}, c^{mr}]$ وقتی $\mu_c(x) = 1$ عدد فازی مثلثی به عدد فازی دوزنقه‌ای تبدیل می‌گردد.

(۳۳) (یو و همکاران، ۲۰۲۰)

$$\mu_c(x) = \begin{cases} w_c(x) = \frac{x - c^l}{c^m - c^l} & \text{if } x \in [c^l, c^m] \\ 1 & \text{if } x = c^m \\ u_c(x) = \frac{c^h - x}{c^h - c^m} & \text{if } x \in [c^m, c^h] \\ 0 & \text{if } x \in [0, c^l] \cup (c^h, +\infty) \end{cases}$$

1. Yu et al
2. Pessimistic (lower bound) estimation
3. Most likely estimation
4. Optimistic (upper bound) estimation

5. Expected interval
6. Expected value
7. Lp-metric

مثال‌های عددی حل شده برای مدل دو هدفه

به منظور ارزیابی عملکرد مدل، کارائی آن را با حل ۱۰ مثال عددی با روش معیار جامع و با استفاده از فرمول (۴۰) مورد بررسی قرار دادیم. از آنجایی که تمام اقدامات و برنامه‌های ما برای وقوع زلزله مطابق پیش‌بینی و داده‌های از قبل تعیین شده است و در حقیقت ممکن است در پیش‌بینی ظرفیت‌ها و تعداد مجروحان دچار خطا و اشتباه شویم، لذا ابعاد مختلفی را در حل مثال‌های عددی در نظر می‌گیریم تا تأثیر پیش‌بینی ما از مقدار ظرفیت‌های مورد نیاز و همچنین پیش‌بینی ما از نسبت مجروحان بر تابع هدف مشخص گردد. نتایج در جدول (۲) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۲. مقادیر تابع هدف به ازای مثال‌های حل شده در مدل پیشنهادی

ردیف	ابعاد مسئله (i,j,k,l,m)	نسبت مجروح‌ها ($\beta r, \beta y, \beta g$)	مقدار تابع هدف روش معیار جامع	زمان اجرا
۱	(۷۶, ۴۴, ۵۱, ۱۶۶, ۵۰)	(۰/۲, ۰/۶۵, ۰/۱۵)	۳,۰۴۲۵۷۸E+۹	۰/۳۲۸
۲	(۷۶, ۴۴, ۵۱, ۱۶۶, ۵۰)	(۰/۴۵, ۰/۴, ۰/۱۵)	۲,۱۵۷۱۲۴E+۹	۰/۳۹۰
۳	(۷۶, ۴۴, ۵۱, ۱۶۶, ۵۰)	(۰/۴۵, ۰/۵۳, ۰/۰/۲)	۲,۸۳۰۳۷۳E+۹	۰/۲۱۸
۴	(۷۶, ۳۳, ۲۵, ۱۰۰, ۳۷)	(۰/۲, ۰/۴۵, ۰/۳۵)	۳,۰۴۲۵۷۳E+۹	۱/۹۱۹
۵	(۷۶, ۲۰, ۱۸, ۸۸, ۳۹)	(۰/۱, ۰/۵, ۰/۴)	۳,۱۵۲۳۰۶E+۹	۰/۶۲۴
۶	(۷۶, ۲۵, ۴۰, ۶۰, ۱۵)	(۰/۴۵, ۰/۳, ۰/۲۵)	۳,۷۰۶۶۲۱E+۹	۰/۹۵۱
۷	(۷۶, ۳۸, ۴۳, ۱۴۰, ۳۰)	(۰/۴, ۰/۴, ۰/۲)	۳,۸۱۸۱۸۲E+۹	۰/۵۲۱
۸	(۷۶, ۴۰, ۴۶, ۱۵۹, ۳۰)	(۰/۳۵, ۰/۵۵, ۰/۱)	۳,۳۵۷۳۶۳E+۹	۰/۲۸۱
۹	(۷۶, ۲۷, ۳۶, ۷۹, ۱۶)	(۰/۲۵, ۰/۳۹, ۰/۳۶)	۳,۶۲۱۳۹۸E+۹	۰/۴۶۸
۱۰	(۳, ۲, ۲, ۲, ۳)	(۰/۲, ۰/۳, ۰/۵)	۸,۹۲۴۲۲۵E+۷	۰/۰۱۶

جدول (۲) نتایج مثال عددی حل شده برای مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. سطر اول این جدول مربوط به مثال ۱ می‌باشد؛ این مثال دارای ۴۴ نقطه انتقال، ۵۱ بیمارستان، ۱۶۶ مرکز امداد و ۵۰ مرکز تولید است، نسبت تبدیل بیماران به بیمار سبز، زرد و قرمز در این مثال به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۶۵ و ۰/۲ می‌باشد، زمان اجرای این مثال در نرم‌افزار گمز ۰/۳۲۸ می‌باشد.

از مثال‌های ۱ تا ۳ جدول (۲) نتیجه می‌شود که میزان هزینه‌ای (جریمه‌ای) که برای فرض امکان عدم ارسال مجروحان در نظر گرفته‌ایم، در تعیین تعداد اقلام ارسال شده نقش به سزایی دارند. به عنوان نمونه، در این مثال‌ها تعداد زیادی مراکز امدادی وجود دارند که موفق به دریافت همه اقلام امدادی نشده‌اند و علت این

قدیمی حل مسائل چند هدفه می‌باشد. این روش همچنان به دو دلیل مورد توجه است:

این روش نیازمند اطلاعات بسیار کمی از طرف تصمیم گیرنده است و وابستگی به تصمیم گیرنده ندارد.

سهولت فهم این روش در استفاده مدل‌های کاربردی.

این روش به دنبال کمینه کردن انحراف توابع هدف نسبت به راه حل ایده‌آل می‌باشد. نقطه ایده‌آل جوابی است که به طور هم‌زمان مقدار بهینه همه اهداف را به دست آورد. این نقطه بهینه به صورت زیر نمایش داده می‌شود (فرمول (۳۸)):

$$F(X^*) = \{f_1(X^*), f_2(X^*), \dots, f_n(X^*)\} \quad (38)$$

که $F(X^*)$ مشخص کننده بهینه همه اهداف بوده است، به طوری که X^* می‌تواند هر $f_i(X^*)$ را بهینه کند. در عمل، به دلیل تعارضات موجود بین اهداف چنین راه حلی مانند X^* وجود ندارد. لذا، در روش معیار جامع به منظور سنجش نزدیکی یک راه حل موجود نسبت به راه حل ایده‌آل، فاصله متریک مورد استفاده قرار می‌گیرد. این معیار برای مسائل کمینه‌سازی، به صورت یک تابع سازگار به صورت زیر تعریف می‌گردد (فرمول (۳۹)):

$$L_p = \left\{ \sum_{i=1}^n w_i (f_i(X_i) - f_i(X_i^{\min}))^p \right\}^{\frac{1}{p}} \quad (39)$$

در فرمول (۳۹) $X_i^{\min}$ نشان دهنده راه حل ایده‌آل در بهینه‌سازی هدف i ام و X_i نشان دهنده راه حل مفروض بوده و w_i بیانگر درجه اهمیت برای هدف i ام است ($w_i \geq 0$). تابع سازگار L_p به منظور کمینه کردن انحرافات از راه حل ایده‌آل باید کمینه گردد. P نشان دهنده درجه تأکید به انحرافات موجود می‌باشد. مقدار P بستگی به ذهنیت تصمیم گیرنده دارد و به طور معمول، مقادیر $P=1$ ، $P=2$ و $P=\infty$ استفاده می‌گردد. تابع سازگار L_p می‌تواند مربوط به اهداف مختلف با مقیاس‌های متفاوت باشد. جهت برطرف کردن این مشکل برای مسائل کمینه‌سازی می‌توان تابع سازگار را به صورت فرمول (۴۰) تعریف نمود.

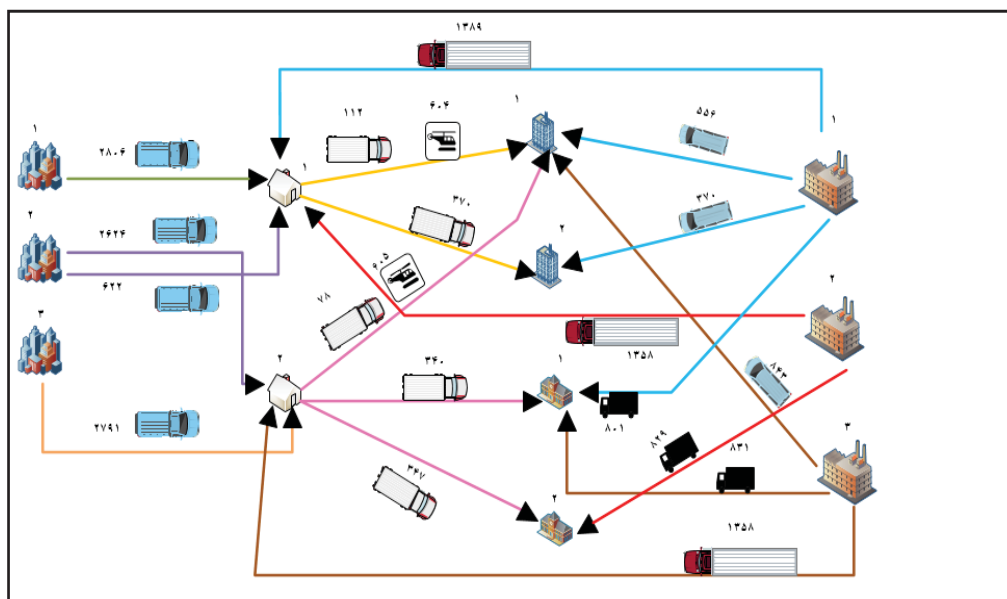
$$L_p = \left\{ \sum_{i=1}^n w_i \left(\frac{f_i(X_i) - f_i(X_i^{\min})}{f_i(X_i^{\min})} \right)^p \right\}^{\frac{1}{p}} \quad (40)$$

نخواهیم داشت. از آنجایی که جرمه عدم ارسال ارقام امدادی به مراکز خدمت‌دهی نسبتاً زیاد است، مدل تلاش می‌کند تا با عدم اعزام تعدادی از مجروحان مناطق حادثه دیده به نقاط انتقال، تعداد بیماران در نقاط انتقال را کم کند تا جرمه کمتری متحمل شود. البته عدم اعزام بیمار از نقاط حادثه دیده به نقاط انتقال و از نقاط انتقال به مراکز خدمات درمانی نیز دارای جرمه می باشد. اینکه مدل چه رویکردی را در حالت‌های ارسال یا عدم ارسال بیماران در صورت نبودن امکانات و فضای کافی و یا اشتباه مادر تخمین تعداد مراکز خدمات درمانی و نسبت به مجروحان اتخاذ کند، بستگی به میزان جرمه‌هایی دارد که تعیین می‌کنیم. مدل، حالت‌هایی را انتخاب می‌کند که جرمه کمتری در پی دارند. بنابراین تعیین این پارامترها باید متناسب با نیاز و شرایط مسئله باشند.

مثال ۱۰ یک نمای کوچک از مدل با ابعاد پایین است. با وجود کوچک بودن ابعاد حتی در این مثال هم کم بودن تعداد مرکز تولید و مرکز خدمات درمانی باعث زیاد شدن تابع هدف شده است.

موضوع، پایین بودن هزینه عدم خدمت‌دهی به این مراکز نسبت به بیمارستان‌ها و نقاط انتقال می‌باشد. در اصل، به دلیل اینکه خدمت ندادن به مراکز امداد برای تولیدکننده‌ها هزینه پایین‌تری دارد، تمام تلاش خود را می‌کنند که ابتدا نیاز بیمارستان و نقاط انتقال را تأمین کنند، سپس نیاز مرکز امداد را در صورت وجود ظرفیت برآورده سازند.

مثال‌های ۴ تا ۹ با این فرض طراحی شده‌اند که در تخمین تعداد مراکز خدمت دهی مورد نیاز اشتباه کنیم و تعداد آن‌ها را کمتر از آنچه مورد نیاز است تخمین بزنیم. مقادیر تابع هدف در این مثال‌ها به ما نشان می‌دهند که هرچه در تخمین نقاط انتقال بیشتر اشتباه کنیم، تابع هدفی با مقدار بزرگتر خواهیم داشت و بسیاری از مجروحان، علی‌رغم ظرفیت‌های خالی موجود در بیمارستان‌ها و مراکز امدادی، به این مراکز ارسال نمی‌گردند. از طرفی اگر در تخمین تعداد تولیدکننده‌ها اشتباه نماییم، توان کافی برای فرستادن اقلام امدادی به مراکز امداد، بیمارستان‌ها و نقاط انتقال



شکل (۳) نتایج مثال ۱۰

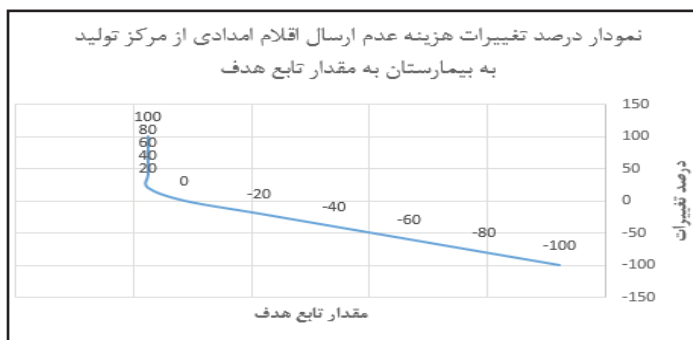
۱، ۶۰۴ بیمار با هلی کوپتر و ۱۱۲ بیمار با آمبولانس به بیمارستان
۱ اعزام می‌شوند و از همین نقطه ۳۷۰ بیمار دیگر هم به بیمارستان
۲ فرستاده می‌شوند. از نقطه انتقال ۲، ۶۰۵ بیمار با هلی کوپتر و
۷۸ بیمار با آمبولانس به بیمارستان ۱ و ۳۴۰ بیمار به مرکز امداد
۱ و ۳۴۷ بیمار به مرکز امداد ۲ اعزام می‌گردند. از مرکز تولید ۱،

شکل(۳) نتایج مثال ۱۰ را نشان می دهد. با توجه به شکل، ۳۸۰۴ بیمار از نقطه حادثه دیده ۱ به نقطه انتقال ۱ فرستاده می شوند. ۳۶۲۴ بیمار از نقطه حادثه دیده ۲ به نقطه انتقال ۱ و ۶۲۲ بیمار دیگر نیز از همین نقطه به نقطه انتقال ۲ اعزام می شوند. ۲۷۹۱ بیمار از نقطه حادثه ۳ به نقطه انتقال ۲ فرستاده می شوند. از نقطه انتقال

مقابل افزایشی که در اثر عدم ارسال مجروحان در تابع هدف اتفاق می‌افتد، بسیار کم است؛ لذا مدل به اجبار، افزایش در زمان‌های حمل را به جریمه شدن ترجیح می‌دهد.

تحلیل حساسیت مقدار تغییر ضریب هزینه عدم ارسال اقلام امدادی از مرکز تولید به بیمارستان:

در این بخش، یکی دیگر از ضرایب تابع هدف که هزینه عدم ارسال اقلام امدادی از مرکز تولید به بیمارستان باشد را انتخاب نمودیم و با ثابت نگه داشتن سایر ضرایب و پارامترهای مدل، تأثیر افزایش یا کاهش این ضریب را بر مقدار نهایی تابع هدف بررسی کردیم. شکل (۵) نتایج این بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۵. تغییر در تابع هدف در اثر تغییر در هزینه عدم ارسال اقلام امدادی از مرکز تولید به بیمارستان

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌گردد، با افزایش ضریب هزینه عدم ارسال اقلام امدادی از مرکز تولید به بیمارستان مقدار تابع هدف هم به تدریج افزایش می‌یابد، تا جایی که به افزایش ۱۰۰ درصدی می‌رسیم؛ یعنی حالتی که در آن این هزینه دو برابر حالت اولیه‌اش افزایش یافته است. در اینجا شاهد کاهش مقدار تابع هدف هستیم، دلیل این کاهش این است که با افزایش بی‌رویه هزینه نرسیدن خدمت به مجروحان قرمز موجود در بیمارستان، مدل سعی می‌نماید که از همان ابتدا یعنی از نقطه تقاضا (i) بیمار کمتری به نقطه انتقال (j) بفرستد تا بیمار قرمز کم‌تری وارد بیمارستان (k) شود و یا از همان نقطه انتقال (j) بیمار کم‌تری به بیمارستان (k) ارسال کند و این موضوع، باعث می‌گردد که هزینه‌های تابع هدف تا حدی کاهش یابند، زیرا هزینه عدم ارسال مجروح از نقاط تقاضا (i) و نقاط انتقال (j) کم‌تر از هزینه نرسیدن اقلام امدادی به بیمارستان می‌باشد. لیکن در نقطه مقابل هرچه هزینه عدم ارسال اقلام امدادی به بیمارستان کاهش می‌یابد، مقدار تابع هدف نیز به صورت

۱۳۸۹ قلم کالای امدادی به نقطه انتقال ۱، ۵۵۶ قلم کالای امدادی به بیمارستان ۱، ۳۷۰ قلم کالای امدادی به بیمارستان ۲ و ۸۰۱ قلم کالای امدادی به مرکز امداد ۱ ارسال می‌شوند. از مرکز تولید ۲، ۱۳۵۸ قلم کالای امدادی به نقطه انتقال ۱ و ۸۲۹ قلم به مرکز امداد ۲ ارسال می‌گردند. مطابق با آنچه در شکل دیده می‌شود، به نقطه انتقال ۲ هیچ کالای امدادی ارسال نمی‌شود. این موضوع به دلیل نبودن مرکز تولید به تعداد کافی و کمبود ظرفیت ماشین‌های مراکز می‌باشد. همچنین هیچ یک از بیماران زردی که به بیمار قرمز تغییر وضعیت می‌یابند، از مراکز امداد ۱ و ۲ به بیمارستان‌های ۲ و ۱ فرستاده نمی‌شوند، که این موضوع، به دلیل تعداد کم بیمارستان یا ظرفیت پایین آن‌ها می‌باشد.

تحلیل حساسیت مقدار تغییر ضریب زمان ارسال مجروح از نقاط تقاضا به نقاط انتقال:

به منظور بررسی تأثیر افزایش یا کاهش ضرایب تابع هدف بر نتیجه مدل، یکی از این ضرایب که ضریب زمان ارسال مجروحان از نقاط تقاضا به نقطه انتقال (t_{ij}) باشد را مورد بررسی قرار دادیم، که نتایج آن در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴. تغییر در تابع هدف در اثر تغییر در زمان انتقال مجروحان از نقطه تقاضا به نقاط انتقال

برابر با شکل (۴)، مقدار تابع هدف با افزایش ضریب زمان رابطه خطی دارد که این با انتظارات ما از مدل نیز همخوانی دارد. به دلیل اینکه این ضریب، در مقایسه با ضریب هزینه عدم اعزام مجروح از نقاط تقاضا به نقطه انتقال، بسیار کوچک می‌باشد، لذا حتی وقتی بزرگ می‌گردد هم باز، مدل سعی دارد حداکثر مجروحان را به نقاط انتقال برساند، زیرا جریمه نرسیدن آن‌ها بسیار بالا است و ارسال بیشتر مجروحان همراه با افزایش ضریب زمان حمل آن‌ها موجب افزایش تابع هدف می‌گردد. البته این افزایش در

این ضریب، تابع هدف نیز افزایش و کاهش می‌یابد و تنها میزان افزایش و کاهش در هر مرحله متفاوت است. پس در این قسمت هم نتیجه می‌گیریم پارامترهای هزینه و زمان برای ما بسیار مهم می‌باشند و باید متناسب با نیازها و اولویت‌های در فرآیند امدادرسانی مقداردهی شوند.

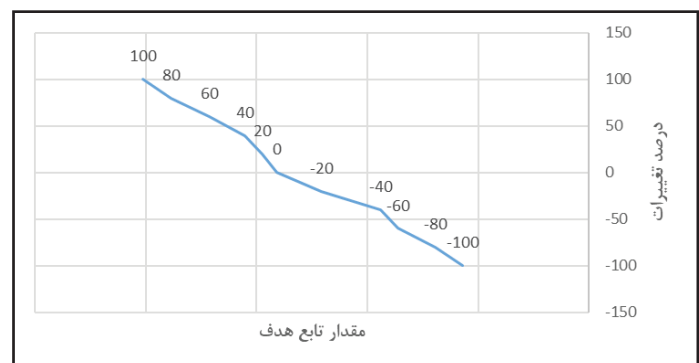
یافته‌ها

تحلیل حساسیت‌های مدل به ما نشان می‌دهند که؛ پیش‌بینی‌های ما از هزینه‌های عدم انتقال افراد از نقاط آسیب دیده به نقاط انتقال و از نقطه انتقال به بیمارستان‌ها و مراکز امدادرسانی، تأثیر مهمی بر مقدار تابع هدف و همچنین تعداد افرادی که از مناطق حادثه دیده به نقطه انتقال و از نقطه انتقال به بیمارستان‌ها و مرکز خدمت ارسال می‌گردند، دارند. هر چقدر هزینه عدم انتقال افراد بین نقاط بیشتر باشد، تعداد افراد بیشتری به نقاط انتقال و از آنجا به بیمارستان‌ها و مراکز امداد اعزام می‌گردند. همچنین، باید در نظر داشت که همه نقاط انتقال بیمارستان‌ها و مراکز خدمت‌رسانی دارای ظرفیت می‌باشند و تعداد افراد اعزام شده، نباید از این ظرفیت تجاوز نماید. از طرف دیگر، میزان جریمه‌ای که برای عدم ارسال اقلام امدادی از مراکز تولید به بیمارستان‌ها، مراکز امداد رسانی و نقاط انتقال در نظر می‌گیریم نیز، بر تعداد افرادی که بین این نقاط جابه‌جا می‌گردند، تأثیر دارد. به طور نمونه، اگر هزینه عدم ارسال اقلام امدادی بیمارستان‌ها زیاد باشد و حتی از هزینه عدم ارسال بیمار قرمز بیمارستان بیشتر باشد، در اینجا جهت تلاش برای کاهش مقدار تابع هدف مدل ترجیح می‌دهد بیمار قرمز کمتری به بیمارستان‌ها اعزام نماید تا با پذیرش جریمه عدم ارسال بیمار قرمز به بیمارستان‌ها، هزینه کمتری متحمل گردد. البته این مورد به پیش‌بینی‌های ما از درصدهای تبدیل بیماران به بیماران سبز، زرد و قرمز در پناهگاه‌ها هم بستگی دارد. به عنوان نمونه، اگر هزینه‌های عدم ارسال اقلام امدادی به بیماران قرمز بیشتر از هزینه‌های عدم اعزام بیمار قرمز به بیمارستان باشد و در عین حال درصد تبدیل افراد به بیمار قرمز در نقاط انتقال هم بالا باشد، مدل ترجیح می‌دهد از ابتدا تعداد افراد کمتری از نقاط آسیب دیده به نقاط انتقال بفرستد تا تعداد کمتری از آن‌ها به بیمار قرمز تبدیل گردند و جریمه کمتری

خطی کاهش می‌یابد، زیرا در این حالت، نقاط تقاضا (i) تا جایی که بتوانند مجروحان را به نقاط انتقال (j) ارسال می‌کنند و نقاط انتقال (j) هم تا جایی که بتوانند بیماران قرمز را به بیمارستان می‌فرستند. به این دلیل که هزینه نرسیدن اقلام امدادی به بیماران، از هزینه نرساندن بیماران به مراکز امدادی کم‌تر است. این نتایج هم به وضوح، اهمیت انتخاب ضرایب تابع هدف را تأیید می‌کند.

تحلیل حساسیت مقدار تغییر ضریب زمان ارسال مجروح از مراکز امداد به بیمارستان‌ها:

در این بخش، با در نظر گرفتن تغییرات ضریب زمان ارسال مجروحان از مراکز امداد به بیمارستان‌ها، این بار تحلیل حساسیت را روی مدل تک هدفه انجام دادیم. با ثابت نگه داشتن سایر ضرایب و پارامترهای مدل، تأثیر افزایش یا کاهش این ضریب را بر مقدار نهایی تابع هدف بررسی نمودیم. نتایج در شکل (۶) قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۶. تغییر در تابع هدف در اثر تغییر در ضریب زمان ارسال مجروح از مراکز امداد به بیمارستان‌ها

همان‌طور که در شکل (۴) قابل مشاهده است، مقدار تابع هدف با افزایش و کاهش ضریب زمان ارسال مجروح از مرکز امداد به بیمارستان‌ها افزایش و کاهش می‌یابد. اما این افزایش و کاهش به صورت خطی نمی‌باشد و مدل، متناسب با توابع هدف هزینه و زمان و میزان جریمه‌ای که برای عدم ارسال مجروح در نظر می‌گیریم، تصمیم به ارسال و عدم ارسال بیماران می‌گیرد. لیکن به دلیل اینکه اولویت برای بیماران قرمز موجود در نقاط انتقال می‌باشد، ابتدا بیماران قرمز نقاط انتقال، به بیمارستان اعزام می‌گردند و سپس، بیماران قرمز مراکز امدادی، متناسب با فضای خالی موجود در بیمارستان به بیمارستان فرستاده می‌شوند. لذا افزایش یا کاهش در تابع هدف نوسان دارد، اما در هر صورت، با افزایش و کاهش

متحمل شود. با این حال نمی‌توان گفت که این جریمه‌ها با مدل، رابطه خطی دارند، افزایش و کاهش آن‌ها و تأثیری که بر تابع هدف می‌گذارند، بسیار وابسته به پارامترهای دیگر است؛ در نتیجه این افزایش و کاهش، الزاماً به صورت خطی نمی‌باشد.

یکی دیگر از عواملی که بر تابع هدف اثر می‌گذارد، زمان حمل افراد از نقاط حادثه دیده به نقاط انتقال و از آن‌جا به بیمارستان‌ها و مراکز خدمت‌رسانی است، اگر این مقدار، افزایش یا کاهش یابد، تابع هدف، همراه با آن به صورت خطی افزایش یا کاهش می‌یابد. در نتیجه باید در انتخاب پارامترها به ویژه درصد تبدیل مجروحان به بیمار سبز، زرد و قرمز، هزینه عدم اعزام افراد از نقاط آسیب‌دیده به نقاط انتقال و از نقاط انتقال به بیمارستان‌ها و مراکز خدمت‌رسانی و همچنین هزینه عدم ارسال اقلام امدادی از مراکز تولید به بیمارستان‌ها، مراکز امداد و نقاط انتقال، دقت کافی داشته باشیم و مقدار آن‌ها را با توجه به شرایط و امکاناتی که در اختیار داریم در نظر بگیریم. همچنین، باید در انتخاب تعداد نقاط انتقال، بیمارستان‌ها و مراکز امداد رسانی هم توجه کنیم و تعداد آن‌ها را متناسب با تعداد نقاط حادثه و بیماران سبز، زرد و قرمز در نظر بگیریم، زیرا اگر تعداد این نقاط بسیار بیشتر از تعداد نقاط حادثه دیده یا بیماران باشد باعث می‌گردد تا ماشین‌ها از تمام ظرفیت‌شان برای انتقال افراد استفاده نکنند و نیمه پُر نقطه مبدأ را به قصد مقصد ترک کنند. لذا توصیه می‌شود برای استفاده از تمام پتانسیل‌ها از خاصیت صرفه به مقیاس استفاده گردد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

سالانه انسان‌های زیادی به دلیل وقوع بلاهای طبیعی مانند سیل و زلزله جان خود را از دست می‌دهند. برنامه‌ریزی برای وقوع بحران، بهترین روش برای جلوگیری از آسیب زیاد به جان مردم است. در این تحقیق، یک مدل ریاضی جهت برنامه‌ریزی و مکان‌یابی نقاط آسیب‌زده هنگام وقوع بحران طراحی نمودیم و مدل پیشنهادی خود را از مطالعه و توسعه مدل (سیدی و همکاران، ۱۳۹۸) به دست آورده‌ایم. آن‌ها در مدل خود، استان تهران را مورد بررسی قرار دادند و مدل ریاضی دو هدفه را برای حالت اعزام مجروحان بدون کمبود فضا و با کمبود فضا حل کردند. منظور از کمبود در مدل آن‌ها هزینه

عدم ارسال مجروحان به نقاط خدمت‌رسانی می‌باشد. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد؛ پراکنش نامتوازن بیمارستان‌ها در سطح شهر و نبود زیرساخت‌های اساسی باید از بحران احتمالی رفع شود، همچنین افزایش مراکز امدادی به مسأله به دلیل تعداد زیاد مجروحان از مفروضات اساسی است. ما نیز با تغییر در مدل آن‌ها مراکز تولید و هزینه‌های عدم ارسال و زمان ارسال اقلام امدادی به نقاط خدمت‌دهنده مانند نقطه انتقال، بیمارستان و مرکز امدادی را به مدل افزودیم. مدل تحقیق به صورت دو هدفه و برای حالت زلزله شدید حل شده است. مدل با دو تابع هدف یعنی کمینه نمودن زمان ارسال مجروحان و کمینه کردن هزینه‌های عدم ارسال مجروحان و اقلام حل شده است. به منظور سنجش کارایی مدل، تعدادی مثال عددی مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تحلیل حساسیت نیز روی مدل انجام شده است. نتایج مدل تحقیق، نشان می‌دهد که تخمین درست مقدار تقاضا نقش اساسی در تعیین ظرفیت‌های وسایل حمل افراد و اقلام دارد و همچنین، تعیین درست ظرفیت‌ها نقش مهمی در مقادیر تابع هدف دارد. زیرا در صورتی که مقدار تقاضا کمتر از پیش‌بینی ما باشد، بسیاری از امکانات مازاد، خواهند بود و مورد استفاده قرار نخواهند گرفت. به عنوان نمونه، ممکن است تعدادی ماشین یا هلی‌کوپتر از یک نقطه با ظرفیت‌های نیمه‌پُر شروع به حرکت کنند، درحالی‌که امکان دارد تعداد کمتری ماشین با ظرفیت‌های پُر حرکت کنند و یا برخی از بیمارستان‌ها با ظرفیت بالا بیمارهای بسیار کمی دارند، که این موضوع به این دلیل است که لازم بوده تعداد کمتری بیمارستان انتخاب گردد. لذا باید در انتخاب تعداد نقاط خدمت‌دهی مانند نقطه انتقال، بیمارستان و مرکز امدادی دقت بسیار شود. عامل دیگری که در نتیجه مدل مؤثر است، ضرایب جریمه (هزینه عدم ارسال مجروحان یا اقلام) می‌باشد. این هزینه باید بالا در نظر گرفته شود و به نسبت اهمیت و اولویت‌های ما برای برنامه‌ریزی؛ باید آن‌قدر بالا باشد تا مدل سعی کند برای جلوگیری از افزایش هزینه از حداکثر پتانسیل‌ها استفاده کند. زیرا اگر کم باشد ممکن است بیشتر یا نصف مجروحان اعزام نگردند. نتیجه دیگر مدل تحقیق، این است که زمان‌های انتقال و هزینه‌های عدم ارسال با افزایش و کاهش تابع هدف رابطه مستقیم دارند و هرگونه تغییر در آن‌ها با تابع هدف رابطه خطی دارد.

منابع

- آراسته، کریم، بزرگی امیری، علی، جبل عاملی، محمدسعید (۱۳۹۴)، مکان یابی چندگانه تسهیلات و نقاط انتقال مجروحین در زمان بحران، نشریه تحقیق در عملیات در کاربردهای آن (ریاضیات کاربردی)، ۱-۱۲، ۳۱-۲۱. از: <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=242808>
- اخروی، امیرحسین، حصاری، محمد رضا (۱۳۹۹)، کاربرد تئوری بازی ها در حل مسائل مکان یابی در یک مطالعه موردی "سیزدهمین کنفرانس بین المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات، شاهرود. از: <https://civilica.com/doc/1124810/>
- باقری، کمال، سعیدی مهرآباد، محمد، محمدی، عمران (۱۳۹۹)، طراحی شبکه زنجیره تامین بیمارستانی با رویکرد مکان یابی تسهیلات و در نظر گرفتن اختلال، نشریه مدیریت زنجیره تامین، ۶۶-۲۲. از: https://scmj.ihu.ac.ir/article_205461.html
- بهنامیان، جواد؛ پورمرادخانی ملالی، محمد، رضایی کچیدی، حسین (۱۳۹۴)، مدل سازی موجودی برای مقابله با بلایای طبیعی، نشریه مدیریت بحران، ۷-۴، ۷۷-۶۳. از: http://www.joem.ir/article_14932.html
- پایدار، محمد مهدی، مهدوی، ایرج، بوتکی، بهرنگ (۱۳۹۶)، روش های بهینه سازی چند هدفه، بابل، علوم کامپیوتر.
- پروانه، بهروز، فرج الهی، حمزه، نورالهی، داریوش، یوسف وند، امیرحسین (۱۳۹۵)، مکان یابی نقاط مناسب کمک و فرود هلیکوپتر در چارچوب مدیریت بحران (مطالعه موردی: استان لرستان)، نشریه امداد و نجات، ۴-۸، ۰-۰. از: <https://www.magiran.com/paper/1785652>
- جعفری اسکندری، میثم، عززگان، مریم (۱۳۹۸)، طراحی مدل مبتنی بر منطق فازی و مدیریت ریسک امداد و نجات زلزله زدگان جاده ایی شهر تهران، فصلنامه علمی راهور، ۲۸-۸، ۱۱۰-۸۷. از: <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=496070>
- جقتایی نوایی، مهدی، رجب زاده، محسن، بزرگی امیری علی (۱۳۹۵)، مکان یابی و تخصیص خدمات بیمارستانی با در نظر گرفتن معیارهای هزینه و کارایی مطالعه موردی شهرستان آمل، نشریه مدیریت سلامت، ۶۳-۱۹، ۳۳-۲۱. از: http://jha.iuims.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-1409-1&slc_lang=fa&sid=1
- جمالی، حسین، بشیری، مهدی، توکلی مقدم، رضا (۱۳۹۴)، بررسی و حل مساله امدادرسانی دوسطحی نقاط آسیب دیده از بحران "نشریه مدیریت بحران، ۴-۸، ۲۲-۵. از: <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=256547>
- حسن زاده، رضا، علیزاده، شیرین (۱۳۹۸)، مکان یابی چند هدفه در لجستیک امداد رسانی با در نظر گرفتن زیر ساخت های شهری". نشریه تصمیم گیری و تحقیق در عملیات ۳-۴، ۲۴۵-۲۳۲. از: <https://www.sid.ir/Fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=496362>
- زنگی آبادی، علی، نسترن، مهین، مومنی، زیبا (۱۳۹۵)، تحلیل جغرافیایی و مکانیابی مراکز اسکان موقت شهری در بحران های محیطی با استفاده از (GIS) مطالعه موردی منطقه ۶ شهر اصفهان، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، ۵۶-۲، ۱۶۹-۱۴۹. از: https://geoplaning.tabrizu.ac.ir/article_4987.html
- این تحقیق صرفا براساس مفروضات ما از یک شرایط بحرانی است. در نتیجه، بهتر است مدل را بر روی یک مورد واقعی به طور نمونه، یک شهر یا یک استان و با دانستن تعداد ظرفیت های موجود و جمعیت آن استان یا شهر امتحان نمود. در تحقیق، فقط اقلام امدادی در نظر گرفته شده اند، لذا با تعمیم مدل می توان امدادرسانی اقلام دیگر مانند اقلام غذایی را هم در نظر گرفت. ما در حل مدل خود فقط از روش معیار جامع استفاده نمودیم، در حالی که روش های متفاوتی برای حل مسائل بهینه سازی چند هدفه وجود دارند که هر کدام جواب هایی با کیفیت و سرعت متفاوت ارائه می دهند و می توان کارائی آن ها را بر روی مدل امتحان نمود. در این مقاله فقط نحوه امدادرسانی به افراد حادثه دیده و ارسال اقلام امدادی به مراکز خدمت رسانی به بیماران در نظر گرفته شده است و اتفاقاتی که در منطقه حادثه دیده رخ می دهند؛ مانند آواربرداری و پیدا کردن مصدومان در نظر گرفته نشده اند. در این تحقیق، دسته بندی بیماران بر اساس وضعیت های سبز، زرد و قرمز انجام گرفته است، در حالی که می توان از دسته بندی های متفاوتی استفاده نمود.
- پژوهش های آتی می تواند بر تبدیل مدل به یک مسأله مسیریابی جریان اقلام و مجروحان، و چند کالایی در نظر گرفتن مدل، در نظر گرفتن امکان فسادپذیری کالاها، لحاظ کردن محدودیت های مربوط به پنجره زمانی برای ارسال به موقع اقلام امدادی و غذایی و استفاده از سایر روش های بهینه سازی چند هدفه مانند وزن دهی و اپسیلون محدودیت تمرکز کنند. همچنین استفاده از فرا ابتکاری جهت حل مدل در ابعاد بالا و مقایسه آن با روش های حل دقیق نیز می تواند در تحلیل رفتار مدل سودمند باشد. علاوه بر آن، می توان اهدافی مانند کمینه نمودن زمان آواربرداری و یا بیشینه نمودن افراد نجات یافته از زیر آوار را هم به مسأله اضافه کرد. دسته بندی بیماران بر اساس نوع جراحت، مانند قطع عضو، شکستگی و یا جراحت های سطحی و در نظر گرفتن مراکز خدمت متفاوت برای این بیماران هم می تواند به نزدیک تر شدن مدل به حالت واقعی کمک نماید.

- Cheraghalipour, A., Farsad, S., Paydar, M.M., (2020), Developing a bi-objective location-allocation-inventory problem for humanitarian relief logistics considering maximum allowed distances limitations, *International Journal of Services and Operations Management* 37(4), pp. 427-454.
- Ghasemi, P., Khalili-Damghani, K., Hafezolkotob, A., Raissi, S., (2019) Uncertain multi-objective multi commodity multi-period multi-vehicle location-allocation model for earthquake evacuation planning, *Applied Mathematics and Computation* 350, pp. 105-132.
- Hong, J.-D., Jeong, K., (2020), Cross-evaluation based super efficiency DEA approach to designing disaster recovery center location-allocation-routing network schemes, *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* 10(4), pp. 485-508.
- Jiang, Z., Ouyang, Y., (2021), Reliable location of first responder stations for cooperative response to disasters, *Transportation Research Part B: Methodological*, 149, pp. 20-32.
- Kebriyaii, O., Hamzehei, M. and Khalilzadeh, M., (2021) A disaster relief commodity supply chain network considering emergency relief volunteers: a case study, *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, Vol. 11 No. 3, pp. 493-521.
- Li, Y., Yu, G., Zhang, J., (2021), A three-stage stochastic model for emergency relief planning considering secondary disasters, *Engineering Optimization* 53(4), pp. 551-575.
- Merakel, M., & Yaman, H., (2016), Robust intermodal hub location under polyhedral demand uncertainty, *Robust intermodal hub location under polyhedral demand uncertainty*, 86, 66-85.
- Praneetpholklang, P., Huynh, V.N., Kanjanawattana, S., (2021), A multi-objective optimization model for shelter location-allocation in response to humanitarian relief logistics, *the Asian of shipping and logistics*, volume 37, issue 2, 149-156.
- Setiawan, E., Liu, J., French, A., (2019) Resource location for relief distribution and victim evacuation after a sudden-onset disaster, *IIE Transactions* 51(8), pp. 830-846.
- Yang, Liu, Yun, Yuan, Jieyi, Shen, Wei, Gao, (2021), Emergency response facility location in transportation networks: A literature review, *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2021, 153-169.
- Yu, hao, solvang, wei deng, (2020), a fuzzy-stochastic multi-objective model for sustainable planning of a closed-loop supply chain considering mixed uncertainty and network flexibility, *Journal of cleaner production*, 1-20.
- سیدی، سید حسین، خاتمی فیروزآبادی، سید محمد علی، امیری، مقصود، تقوی فرد، سید محمد تقی (۱۳۹۸)، مکان‌یابی و تخصیص بهینه نقاط انتقال، بیمارستان و مراکز امدادی برای تشکیل زنجیره امدادرسانی در بحران، با فرض غربالگری مجروحان، نشریه مدیریت صنعتی، ۱۱-۱، ۲۰-۱. از: https://imj.ut.ac.ir/article_71736.html
- صالحی، مجتبی، میرمجلسی، سیدرضا (۱۳۹۸)، یک مدل کوادراتیک مخروطی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن هاب و محدودیت ظرفیت و تاخیر فروش از دست رفته، نشریه تحقیق در عملیات در کاربردهای آن (ریاضیات کاربردی) ۲-۶۱، ۱۹-۳۷. از: <https://jamlu.liu.ac.ir/article-1-1603-fa.html>
- عبداللهی، غزال، نسترن، مهین، مختارزاده، صفورا، جمشیدی، محمود (۱۳۹۱)، پهنه بندی شهر تهران به منظور استقرار بهینه بیمارستان‌ها در شرایط عادی و بحران (زلزله)، نشریه امداد و نجات، ۲-۴، ۱۵-۱. از: <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=176128>
- فخرزاد، محمدباقر، قاسمی، الهه (۱۳۹۸)، ارائه ی یک مدل تصادفی چهار سطحی دو مرحله یی برای تأمین محصولات خونی در شرایط بحران، مهندسی صنایع و مدیریت (شریف ویژه علوم مهندسی)، ۱-۳۵:۱-۵۷. از: <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=485081>
- فضلی بشلی، بابک، جهان، علی (۱۳۹۷)، مدل بهینه سازی-مکان یابی چندهدفه چندمحصولی پویا با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان "نشریه مهندسی صنایع (دانشکده فنی دانشگاه تهران)، ۳-۵۲، ۴۴۵-۴۵۸. از: <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=484745>
- گیوه چی، سعید، عطار، محمدامین (۱۳۹۱)، کاربرد مدل های تصمیم گیری چند معیاره در مکان یابی اسکان موقت پس از زلزله مطالعه موردی: منطقه ۶ شیراز، نشریه مدیریت بحران، ۲-۱، ۴۳-۳۵. از: <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=212972>
- مرادی، اکبر، نصیری، زهرا (۱۳۹۶)، مکان یابی بهینه مراکز درمانی شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در شهر مراغه، نشریه مدیریت اطلاعات سلامت، ۳-۱۴، ۱۲۳-۱۱۶. از: <http://him.mui.ac.ir/index.php/him/article/view/3296>
- مزرعه فراهانی، مینا، چهارسوقی، سیدکمال، نخعی کمال آبادی، عیسی، تیموری، ابراهیم (۱۳۹۷)، الگوریتم شاخه و کران برای مسئله برون بری-مکان یابی (ایستا و پویای استوار) در لجستیک اضطراری، مهندسی حمل و نقل، ۳۸-۱، ۵۲-۳۱. از: <https://www.magiran.com/paper/1860298>
- محمدیان بهبهانی، زهرا، جبارزاده، آرمین (۱۳۹۵)، ارائه مدل مکان یابی-تخصیص در شبکه زنجیره تأمین خون در حالت عدم قطعیت با در نظر گرفتن اختلال و ارتباط عرضی بین بیمارستان‌ها، نشریه شباک، ۶-۲، ۱۳-۱. از: <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=270411>
- ملک محمدی، حسین، ماکوئی، احمد (۱۳۹۸)، ارائه یک مدل چند هدفه پودمانی جهت مسئله مکان یابی خدمات پزشکی اضطراری (مطالعه موردی شهر کرمان)، نشریه مدیریت زنجیره تأمین، ۶۴-۲۱. از: https://journals.ihu.ac.ir/article_205120.html