Archive of SID

مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای مکان‌یابی مراکز درمانی موقت و برنامه‌ریزی لجستیکی پس از بحران

زهره رحمانی: دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
عبدالستار صفائی*: استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، s.safaei@nit.ac.ir
محمدمهدی پایدار: استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

عملیات انتقال مصدومان و افراد آسیب‌دیده از مناطق حادثه‌دیده به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی و توزیع کالاهای امدادی از فعالیت‌های اساسی لجستیک امداد بلایاست. برنامه‌ریزی صحیح لجستیک امداد در دوران طلایی پس از بحران، در نجات جان افراد آسیب‌دیده و کاهش تلفات نقش بسزایی دارد. در این تحقیق، یک مدل چندهدفه برای مکان‌یابی مراکز درمانی موقت و شرایط خدمت‌رسانی بیمارستان‌ها و مراکز درمانی به افراد حادثه‌دیده در مناطق مختلف ارائه شده است. همچنین، برنامه‌ریزی لجستیکی کالا و مصدومان پس از زلزله نیز صورت گرفته است. مدل ارائه شده، در قالب حداقل‌سازی تعداد افراد آسیب‌دیده سرویس داده نشده و کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های لجستیکی (شامل هزینه‌های تأمین کالا، راه‌اندازی مرکز درمانی موقت، حمل‌ونقل و هزینه‌های کمبود اقلام امدادی) است. برای حل مدل پیشنهادی نیز از روش Lp-Metric بهره گرفته شده است. در پایان کاربرد مدل با مطالعه‌ی بحران زلزله در شهر آمل ارزیابی شده است.

واژه‌های کلیدی: *لجستیک امداد، زلزله، بهینه‌سازی چندهدفه، مکان‌یابی، روش Lp-Metric.*

A multi-objective optimization model for locating temporary treatment centers and logistic planning after a crisis

Zohre Rahmani[1], Abdul Sattar Safaei [2*], Mohammad Mahdi Paydar [3]

Abstract

Transporting the injured people from the affected areas to the hospitals and medical centers and distributing the relief commodities are the most important activities during a disaster's response phase. An efficient relief logistics planning can reduce fatalities in a disaster situation. In this study, a multi-objective, multi-commodity model is presented for locating the temporary medical centers in appropriate locations and allocating the affected areas to the hospitals and the temporary medical centers. Moreover, the relief commodities and injured people logistics are considered as well. The proposed model attempts to minimize the total cost and the weighted sum of unserved injured people. The total cost consists of the procurement cost of relief commodity, transportation cost, set up and shortage cost. The Lp-Metric method is applied to solve the multi-objective model. Finally, the proposed model is analyzed through a case study on an earthquake scenario in the Amol city of Mazandaran province.

Keywords: *relief logistics, earthquake, multi-objective optimization, location, Lp-Metric method*

1 M.Sc Student, Department of Industrial Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
2 Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran; Email: s.safaei@nit.ac.ir
3 Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

هرساله بلایای طبیعی نظیر سیل، زلزله، طوفان، رعد و برق، خشک‌سالی، رانش زمین، و پیشروی آب دریا قسمت‌های مختلفی از جهان را گرفتار می‌کنند که وقوع این حوادث طبیعی اغلب با صدمه به جان و مال انسان‌ها همراه است. از آنجا که شدت و ابعاد وقوع این حوادث اغلب وسیع است، لذا حجم تقاضای ایجاد شده برای عملیات امداد و نجات بسیار زیاد است و مراکز امدادرسانی که در شرایط عادی نیازهای شهر را تأمین می‌کنند، اغلب برای پاسخ‌گویی به تقاضای ایجاد شده در زمان مناسب، در این شرایط کافی نیستند. براساس آخرین آمار، سالانه حدود ۷۰ هزار نفر در اثر بلایا جان خود را از دست می‌دهند و حدود ۲۰۰ میلیون نفر مجروح می‌شوند [۱].

مطابق با آمار، از تعداد ۴۰ نوع بلایای طبیعی مشاهده‌شده در بخش‌های مختلف دنیا، ۳۱ نوع آن در ایران شناسایی‌شده است [۲] که در این میان بیشترین گزارش‌ها مربوط به زلزله و سیل بوده است. از آنجایی‌که ایران در کمربند زلزله‌خیز آلپ-هیمالیا قرار دارد، یکی از کشورهای زلزله‌خیز جهان شناخته شده است و شاهد آن زلزله‌های بزرگی است که هر از چند گاهی نواحی مختلفی از کشورمان را تکان می‌دهد و خسارت‌های جانی و مالی جبران‌ناپذیری ایجاد می‌کند [۳]. به همین علت برنامه‌ریزی برای پاسخ‌گویی هرچه بهتر در زمان بحران و کاهش خسارات باید مورد توجه قرار گیرد.

یکی از فازهای مهم مدیریت بحران، فاز پاسخ‌گویی است و از مهم‌ترین اقدامات لجستیک امداد بلایا در این فاز، تخلیه‌ی افراد آسیب‌دیده و پاسخ سریع به نیازهای امدادی است. در ابتدای فاز پاسخ‌گویی افراد آسیب‌دیده و مصدوم از مناطق حادثه خارج می‌شوند و به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی انتقال می‌یابند. فعالیت‌های لجستیک برای دوره‌ی زمانی طولانی‌تری ادامه دارد تا کالاهای امدادی ضروری مورد نیاز افراد حاضر در مناطق آسیب‌دیده و بیمارستان‌ها، از تأمین‌کنندگان و انبارها تأمین شود. برنامه‌ریزی کارای فعالیت‌های لجستیک در فاز پاسخ‌گویی، می‌تواند به طور چشمگیری مرگ و میر افراد را بر اثر این حادثه کاهش دهد. همچنین، در این جریان، منابع موجود، کالاها و وسایل نقلیه معمولاً ناکافی است. با داشتن یک برنامه‌ی کارا و اثربخش می‌توان صدمات جانی ناشی از بحران‌ها را کاهش داد. بنابراین، محققان زیادی از سال ۱۹۸۰ بر روی این موضوع متمرکز شده‌اند.

در این تحقیق برای مداوای افراد آسیب‌دیده علاوه بر بیمارستان‌ها، مکان‌های مناسب برای راه‌اندازی مراکز درمانی موقت نیز در نظر گرفته شده است. وجود مراکز درمانی موقت که در زمان وقوع بحران راه‌اندازی می‌شوند، سبب تسریع لجستیک افراد آسیب‌دیده و درنتیجه تسریع درمان آن‌ها می‌شود. مکان‌یابی این مراکز در مدل مورد بررسی قرار گرفته است که در مطالعات پیشین مربوط به لجستیک همزمان کالا و مصدومان در نظر گرفته نشده بود. هدف اصلی تحقیق حاضر، برنامه‌ریزی لجستیکی برای کاهش تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی درمان نشده و پاسخ‌گویی هرچه بیشتر و بهتر در برابر حوادث است. اهداف مدل ریاضی ارائه شده برای برنامه‌ریزی لجستیکی عبارت است از: کمینه‌سازی تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی درمان‌نشده و کمینه‌سازی هزینه‌های لجستیکی. مدل بهینه‌سازی پیشنهادی، تأمین به موقع کالاهای امدادی از تأمین‌کنندگان، مکان‌یابی مراکز درمانی موقت و برنامه‌ریزی لجستیک کالا و مصدومان به‌طور همزمان را شامل می‌شود.

در ادامه، در بخش دوم مروری بر تحقیقات در زمینه‌ی لجستیک امداد آورده شده و در بخش سوم، مسئله‌ی لجستیک امداد و مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی تشریح شده است. بخش چهارم به تشریح روش حل مدل اختصاص یافته است. مطالعه‌ی موردی برای بحران زلزله در شهر آمل در بخش پنجم ارائه شده و در پایان نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای مطالعات آتی ارائه شده است.

پیشینه‌ی تحقیق

عملیات امداد و نجات و لجستیک کالاهای امدادی از مهم‌ترین فعالیت‌ها پس از بلایا هستند. عملیات امداد و نجات برای حمل آسیب‌دیدگان از مناطق آسیب‌دیده به مراکز درمانی و توزیع کالاهای اساسی مانند غذا، دارو و آب برای نجات زندگی حادثه‌دیدگان و جلوگیری از بیماری‌ها امری ضروری است و برنامه‌ریزی کارا برای این عملیات میزان مرگ و میر را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد.

از سال ۱۹۸۰ تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه‌ی مدیریت بحران و زنجیره‌ی امداد بشردوستانه در شاخه‌های مختلفی نظیر مکان‌یابی تسهیلات امدادی، جریان در شبکه، حمل و نقل، مسیریابی و موجودی ارائه شده است. در سال ۲۰۰۶ آلتای و همکاران [۴]، ضمن مطالعه‌ی مدیریت عملیات بحران، کاربرد علم مدیریت و تحقیق در عملیات در مدیریت بحران و لجستیک امداد را مورد بررسی قرار دادند. همچنین، کاونهی و همکاران در سال ۲۰۱۲ [۵]، مدل‌های بهینه‌سازی در لجستیک امداد را بررسی نموده‌اند و تحقیقات انجام شده در سه دسته‌ی مکان‌یابی، توزیع کالاهای امدادی و حمل افراد آسیب‌دیده مورد مطالعه قرار گرفته است. در این بخش، با توجه به هدف این تحقیق، به بررسی پژوهش‌های انجام شده در حوزه‌ی مکان‌یابی تسهیلات امدادی و جریان در شبکه (شامل توزیع کالاهای امدادی و حمل افراد آسیب‌دیده) در فاز پاسخ لجستیک امداد می‌پردازیم.

بسیاری از تحقیقات انجام شده لجستیک کالا را به‌صورت جداگانه در نظر گرفتند. یکی از اولین مطالعات در این زمینه توسط روگرنات [۶] انجام شده است. ایشان به ارائه‌ی یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای مسئله‌ی حمل‌ونقل بسته‌های غذایی در شرایط بحران با اهداف حداقل کردن هزینه‌های حمل‌ونقل و بیشینه کردن غذای تحویل داده شده به مقصد پرداخته است. حقانی و اوه [۷] به تجزیه و تحلیل حمل‌ونقل حجم زیادی از کالاهای متفاوت نظیر غذا، لباس، لوازم و تجهیزات پزشکی، داروها، ماشین‌آلات و نیروهای انسانی در یک رویکرد کارا با هدف

www.SID.ir

Archive of SID

حداقل کردن مرگ با چند نوع وسیله‌ی حمل‌ونقل برای عملیات امداد پرداخته‌اند. محققان در این تحقیق به ارائه‌ی دو راه حل ابتکاری برای حل مدل ارائه شده پرداخته‌اند، به‌طوری‌که رویکرد اول بر اساس آزادسازی لاگرانژ و رویکرد دوم آن‌ها بر اساس یک الگوریتم تکرارشونده است.

ازدامـار و همکارانش [۸]، یک مـدل چند دوره‌ای بـرای لجستیک کالا پس از بحران ارائه کردند. در این مدل ابتدا میزان کالایی که بین دو گره باید جابه‌جا شود تعیین و سپس با استفاده از یک الگوریتم دیگر مبدأ و مقصد این کالاها مشخص می‌شود. تی‌زنگ و همکاران [۹] یک مدل چندهدفه برای طراحی سیستم تحویل کالاهای ضروری ارائه کردند. اهداف این مدل عبارت‌اند از: کمینه کردن هزینه، کمینه کردن زمان طی شده و بیشینه کردن میزان سطح رضایت. مت و زابینسکی [۱۰] در سال ۲۰۱۰ مدلی به‌منظور توزیع و ذخیره‌سازی کالاهای پزشکی برای مدیریت بلایای احتمالی ارائه داده‌اند. آن‌ها در این مدل به مکان‌یابی انبار و تعیین سطح موجودی برای هر کالا پرداختند. این مدل برای سناریوهای مختلف زلزله در فاز آمادگی و پاسخ برای سیاتل امریکا در نظر گرفته شده است. ژان و لیو [۱۱]، یک مدل چندهدفه‌ی برنامه‌ریزی تصادفی ارائـه نمودند که در آن تقاضا، عرضه و در دسترس بودن مسیر حمل‌ونقل در شبکه‌ی لجستیک اضطراری به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است. مدل پیشنهادی بر حداقل‌سازی میانگین زمان انتظار و نسبت تقاضای برآورده نشده با استفاده از برنامه‌ریزی سناریویی و محدودیت شانس تمرکز دارد. افشار و حقانی [۱۲]، مدل ریاضی برای لجستیک زنجیره‌ی تأمین یکپارچه برای عملیات امداد در شرایط بحران ارائه نمودند. مدل به صورت چند کالایی بوده است و نه تنها مسیرهای بهینه برای توزیع امداد را در نظر می‌گیرد بلکه مکان‌های بهینه برای تسهیلات موقت در لایه‌های مختلف زنجیره‌ی امداد را نیز تعیین می‌کند. مجموعه‌ای از آزمایشات عددی بـرای تست مدل طراحی شد و با تحلیل آن‌ها قابلیت مدل ارزیابی گردید. شئو [۱۳]، یک مدل لجستیک امداد پویا به‌منظور پاسخ به تقاضاها در مقیاس بزرگ ارائـه نمودند. مدل ارائه‌شده سه مکانیزم را در بر می‌گیرد. اول: پیش‌بینی پویای تقاضای کالای امدادی با استفاده از فیوژن داده. دوم: گروه‌بندی نواحی آسیب‌دیده با استفاده از خوشه‌بندی فازی. سوم: تعیین فوریت تقاضای هر ناحیه با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره، که نتایج آزمون‌های انجام شده نشان داد که خطای پیش‌بینی این مدل کمتر از ده درصد است. بزرگی و همکاران [۱۴] به ارائه‌ی مدلی برای مکان‌یابی مراکز توزیع و تخصیص آن‌ها به نواحی آسیب‌دیده پرداخته‌اند. این مدل کمینه‌سازی هزینه‌ها را دنبال می‌کند. در این مدل از بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای حل مدل استفاده شده است.

دسته‌ای دیگر از تحقیقات به‌طور عمد بر لجستیک افراد آسیب‌دیده متمرکزاند مانند فیدریچ و همکاران [۱۵]. آن‌ها به ارائه‌ی مدلی برای تخصیص منابع به مناطق حادثه برای حمل مصدومان پس از یک زلزله با شدت بالا پرداختند که در آن از یک مدل بهینه‌سازی ترکیبی پویا و یک روش حل ابتکاری برای کمینه کردن تعداد تسهیلات جستجو و نجات استفاده نمودند.

اگرچـه پـژوهـش‌هـای عـنـوان شـده صرفاً بـه بـرنـامه‌ریـزی لجستیک کـالا یـا مصدومان به صـورت جداگانـه پـرداختـه‌اند، تـعدادی از پژوهش‌ها نیز لجستیک کالا و مصدومان را به‌طور همزمان مورد بررسی قرار داده‌انـد که نمونه‌ای از آن‌ها در ادامه آورده شده است. یی و ازدامار [۱۶]، به ارائه‌ی یک مدل یکپارچه مکان‌یابی- مسیریابی بـرای حمل‌ونقل افـراد مصدوم از نواحی آسیب‌دیده به مراکز اضطراری موقت و هماهنگ‌سازی ارسال کالاها از تأمین‌کنندگان اصلی به مراکز توزیع در نواحی آسیب‌دیده پرداخته است. هـدف ایـن مـدل در واقـع حداقل کـردن تأخیر در ارائـه‌ی خـدمات پزشکی به افـراد مصدوم است و وسـایـل حمل و نقل به کـار گرفته شده متنوع است و بر اساس اولویت نیازها مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، نقاط تخلیه و بارگیری و مسیرها و همچنین مکان‌یابی مراکز درمانی موقت پس از حل مدل که با استفاده از یک الگوریتم دو مرحله‌ای صورت می‌گیرد، تعیین می‌شود. یی وکومر [۱۷]، به ارائه‌ی یک الگوریتم فراابتکاری برای حل مسئله‌ی لجستیک در اقـدامات امـدادی به هنگام بحران پرداخته است. برنامه‌ریزی لجستیکی مورد استفاده در این تحقیق شامل ارسال کالاها به مراکز توزیع مستقر شده در نقاط آسیب‌دیده و انتقال افـراد آسیب‌دیده به مراکز درمانی است. بـرای حل این مدل از رویکرد دومرحله‌ای استفاده شده است که در مرحله‌ی اول مسیرهای وسایل نقلیه تعیین شده و در گام بعد تخصیص کالاهای مختلف و وسایل نقلیه صورت می‌گیرد. ازدمار [۱۸]، به برنامه‌ریزی لجستیکی بالگردهای امدادی به‌منظور حمل مصدومان از محل حادثه به بیمارستان‌ها و ارسال کالاهای امدادی به حادثه‌دیدگان پرداخته است، که در آن هدف کمینه‌سازی زمان نقل و انتقالات را با در نظر گرفتن زمان بارگیری بررسی نموده است. این مدل با داده‌هایی از شرایط قبل زلزله در استانبول بررسی شده است. نجفی و همکاران [۱۹] یک مدل ریاضی دو هدفه برای برنامه‌ریزی لجستیکی کالا و مصدومان ارائه نمودند که در آن بعضی از پارامترها به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته شدند و از رویکرد بهینه‌سازی استوار بـرای مدل کـردن و برخورد با عدم قطعیت استفاده شده است. حمل‌ونقل کالا نیز فقط در دو سطح از مراکز تأمین دائم به نقاط آسیب‌دیده انجام می‌شود. نجفی و همکاران [۲۰] در سال ۲۰۱۴ یک مدل دوهدفه‌ی پویا برای برنامه‌ریزی لجستیک همزمان کالا و مصدومان ارائه نمودند. این مدل دو هدف کمینه کـردن میزان تقاضای بـرآورده نشده و کمینه کـردن تعداد افـراد آسیب‌دیده را دنبال می‌کند. محمدی و همکارانش [۲۱] یک مدل چند هدفه و چند دوره‌ای برای برنامه‌ریزی لجستیکی کالا و مصدومان پس از زلزله با در نظر گرفتن مراکز درمانی موقت و مراکز توزیع موقت ارائـه نمودند. با توجه به ماهیت غیرقطعی پارامترهایی همچون میزان تقاضا، مقدار منابع موجود، تعداد افراد آسیب‌دیده و ظرفیت درمانی منطقه از رویکرد بهینه‌سازی استوار برای مدل کردن و برخورد با عدم قطعیت استفاده شده است. مدل ارائه شده به دنبال کمینه کردن تعداد افراد سرویس داده نشده،

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: مدل‌های تک‌هدفه در حوزه‌ی لجستیک امداد

نویسنده	سال	دوره		جریان			نوع تابع هدف	نوع محدودیت	روش حل	
		تک‌دوره	چنددوره‌ای	تک‌کالایی	چندکالایی	مصدومان			دقیق	ابتکاری و فرا ابتکاری
روگرنات	۱۹۸۸	*		*			حداقل‌سازی زمان	تعداد و ظرفیت تسهیلات	*	
حقانی	۱۹۹۶		*		*		حداقل‌سازی هزینه‌ی وسایل نقلیه، حمل کالاها و جریمه تأخیر در ارسال کالا	جریان کالا و وسیله‌ی نقلیه، پنجره‌ی زمانی و ظرفیت		*
ازدامار	۲۰۰۰		*		*		حداقل‌سازی مجموع تقاضاهای برآورده‌نشده	جریان کالا، تعداد و ظرفیت وسایل نقلیه		*
فدریچ و همکاران	۲۰۰۰		*			*	حداقل‌سازی تعداد تسهیلات امداد و نجات	ظرفیت تسهیلات	*	*
تی‌زنگ و همکاران	۲۰۰۷		*		*		حداقل‌سازی هزینه‌ها و زمان طی شده و بیشینه کردن میزان سطح رضایت	ظرفیت عرضه		*
یی و ازدامار	۲۰۰۷		*		*	*	حداقل‌سازی تقاضاهای پاسخ داده نشده (کالاها و افراد آسیب‌دیده)	ظرفیت وسیله‌ی نقلیه، تعادل جریان، تعداد وسایل نقلیه	*	
یی و کومر	۲۰۰۷		*		*	*	حداقل‌سازی مجموع تقاضاهای پاسخ داده‌نشده و افراد آسیب‌دیده سرویس داده نشده	ظرفیت تسهیلات و وسیله‌ی نقلیه		*
مت و زابینسکی	۲۰۱۰	*			*		حداقل‌سازی هزینه‌ی عملیاتی انبار، حداقل‌سازی کل زمان حمل و نقل و حداقل‌سازی جریمه‌ی تقاضاهای برآورده نشده	ظرفیت عرضه، محدودیت ظرفیت انبار، بالانس جریان	*	
ازدمار	۲۰۱۱	*			*	*	حداقل‌سازی زمان مأموریت تحویل کالا	ظرفیت بیمارستان و هلی‌کوپتر، تعادل	*	
افشار و حقانی	۲۰۱۲	*			*	*	حداقل‌سازی مجموع تقاضاهای پاسخ داده نشده	جریان کالا، ظرفیت تسهیلات امدادی موقت و سیستم حمل و نقل	*	

میزان تقاضای برآورده نشده و نیز تعداد کل وسیله‌ی نقلیه‌ی استفاده شده است. برای حل مدل نیز با توجه به متفاوت بودن اهمیت اهداف از رویکرد سلسله‌مراتبی استفاده شده است. بزرگی و فتاحی [۲۲] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی چندهدفه و چند مدل حمل تحت عدم قطعیت پارامترهای ورودی ارائه نمودند. مدل شامل اهداف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های لجستیکی شامل هزینه‌های راه‌اندازی، حمل‌ونقل و هزینه‌های کمبود اقلام امدادی و بیشینه‌سازی تعداد مجروحان منتقل شده است.

خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی لجستیک امداد در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. در جدول ۱ تحقیقاتی دسته‌بندی شده است که تنها یکی از اهداف کاهش هزینه، حداقل‌سازی تعداد مصدومان پوشش داده نشده را مورد بررسی قرار داده‌اند. از آنجایی که در نظر گرفتن تنها یک هدف نمی‌تواند مسئله‌ی لجستیک امداد را به خوبی توصیف کند، تعدادی از محققان مسئله‌ی لجستیک امداد را به‌صورت برنامه‌ریزی چندهدفه در نظر گرفتند که در جدول ۲ آورده شده است. تحقیقات مذکور بر اساس معیارهایی از قبیل دوره (تک‌دوره‌ای- چنددوره‌ای)، نوع جریان بین تسهیلات (تک محصول، چندمحصول و مصدومان)، نوع تابع هدف، نوع محدودیت‌ها و روش حل مسئله طبقه‌بندی شده‌اند. با بررسی مطالعات انجام شده در حوزه‌ی لجستیک امداد می‌توان دریافت که بسیاری از تحقیقات، مسائل مرتبط با عملیات امداد مانند مکان‌یابی تسهیلات امدادی، جریان در شبکه، مدیریت موجودی، حمل و نقل و مسیریابی را به صورت جدا در نظر گرفتند، درحالی‌که یک طرح یکپارچه از این تصمیمات می‌تواند به‌طور مؤثری تأخیرات در امدادرسانی را کاهش داده و منابع محدود را به‌طور بهینه به کل سیستم تخصیص دهد.

همچنین در بیشتر تحقیقات لجستیک کالا و مجروحان به صورت جداگانه در نظر گرفته شده و تحقیقات در زمینه‌ی لجستیک همزمان کالا و مجروحان اندک است. این در حالی است که توزیع کالاهای امدادی در شرایط بحران و نجات جان افراد آسیب‌دیده و رساندن آن‌ها به مراکز درمانی از موضوعات مهم و اساسی در لجستیک امداد بلایا است و با هم در نظر گرفتن این دو موضوع، موجب می‌شود تا کیفیت خدمت به مناطق آسیب‌دیده افزایش یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲: مدل‌های چندهدفه در حوزه‌ی لجستیک امداد

نویسنده	سال	دوره		جریان			نوع تابع هدف	نوع محدودیت	روش حل		روش حل چند هدفه
		تک‌دوره‌ای	چنددوره‌ای	تک‌کالایی	چندکالایی	مصدومان			دقیق	ابتکاری و فرا ابتکاری	
ژان و لیو	۲۰۱۱				*		حداقل‌سازی میانگین زمان انتظار و نسبت تقاضای برآورده نشده		*		برنامه‌ریزی آرمانی
نجفی و همکاران	۲۰۱۳		*		*	*	حداقل‌سازی تقاضاهای پاسخ داده‌نشده، تعداد مصدومان درمان‌نشده و تعداد وسایل نقلیه	تعادل جریان کالا، ظرفیت بیمارستان و وسیله‌ی نقلیه	*		لکسیکوگرافیک
نجفی و همکاران	۲۰۱۴		*		*	*	حداقل‌سازی مجموع زمان انتظار مصدومان و زمان پاسخ‌گویی به تقاضای کالاهای امدادی	ظرفیت عرضه، تعادل جریان کالای امدادی و مصدومان	*		لکسیکوگرافیک
محمدی و همکاران	۲۰۱۶		*		*	*	حداقل‌سازی تعداد افراد سرویس داده نشده، میزان تقاضای برآورده نشده و نیز تعداد کل وسیله‌ی نقلیه‌ی استفاده شده	ظرفیت عرضه، مرکز توزیع، بیمارستان و وسیله‌ی نقلیه و محدودیت تعادل جریان	*		لکسیکوگرافیک
بزرگی و فتاحی	۲۰۱۶	*		*		*	حداقل‌سازی هزینه‌ها و بیشینه‌سازی رضایت‌مندی نقاط آسیب‌دیده	ظرفیت تسهیلات و تعداد وسایل نقلیه	*		اپسیلون محدودیت
مدل پیشنهادی	۲۰۱۸	*			*	*	حداقل‌سازی هزینه‌ی راه‌اندازی مرکز درمانی، خرید و تأمین کالا، حمل کالا و مصدومان و کمبود کالاها + حداقل‌سازی مجموع مصدومان درمان‌نشده	ظرفیت مرکز درمانی، بیمارستان و انبار، محدودیت تعادل جریان کالا و جریان مصدومان	*		Lp-Metric

در این تحقیق، با توجه به مسئله‌ی بیان شده در مطالعات نجفی و همکاران [۱۹، ۲۰] و بزرگی و فتاحی [۲۲] و عملیات امداد پس از بحران، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه چندکالایی ارائه خواهد شد. مدل پیشنهادی شامل پنج سطح مناطق حادثه‌دیده، مراکز درمانی موقت، بیمارستان‌ها، انبار هلال‌احمر و تأمین‌کنندگان است. همچنین، لجستیک همزمان کالا و مصدومان همراه با تصمیمات مرتبط با مکان‌یابی مراکز درمانی موقت، تخلیه‌ی مصدومان از مناطق حادثه‌دیده به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی و ارسال کالاهای امدادی به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت به صورت یکپارچه در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در بررسی‌های بالا بیان شد، در سال ۲۰۱۳ نجفی و همکاران [۱۹] یک مدل چندهدفه‌ی تصادفی برای برنامه‌ریزی لجستیکی کالا و مصدومان ارائه کردند که در این مدل، حمل و نقل کالا فقط از مراکز تأمین دائم به نقاط آسیب‌دیده در نظر گرفته شده است. در مدل ارائه شده در نوشتار حاضر، حمل و نقل کالاها از تأمین‌کننده‌ها به انبار هلال احمر و سپس ارسال به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت در نظر گرفته شده است.

همچنین، در مدل ارائه شده در این تحقیق، با توجه به میزان آسیب‌دیدگی مصدومان، چند نوع مصدوم با اولویت‌های متفاوت برای دریافت خدمت و مداوا شدن در نظر گرفته شده است که در مدل ارائه شده توسط بزرگی و همکاران در سال ۲۰۱۶ [۲۲] لحاظ نشده است. در تحقیق اشاره شده، ارسال تنها یک کالا برنامه‌ریزی شده است، درصورتی‌که در شرایط بحران با کالاهای متعددی مانند آب، غذا، دارو و پوشاک مواجه هستیم؛ لذا در نظر گرفتن کالاهای مختلف مورد نیاز مصدومان مدل ارائه شده را به شرایط واقعی نزدیک‌تر می‌کند.

اهداف در نظر گرفته شده در این مدل شامل کمینه‌سازی مجموع هزینه‌ها (شامل هزینه‌ی خرید و دریافت کالاهای امدادی، هزینه‌ی راه‌اندازی مراکز درمانی موقت، هزینه‌های ارسال کالاهای امدادی و افراد آسیب‌دیده و هزینه‌ی کمبود کالاهای امدادی) و هدف بشردوستانه تحت عنوان کمینه‌سازی تعداد مصدومان سرویس داده نشده در مناطق آسیب‌دیده است. برای حل این مدل چندهدفه از روش Lp-metric استفاده شده که در تحقیقات گذشته مورد مطالعه قرار نگرفته است.

www.SID.ir

Archive of SID

بیان مسئله

عملیات تخلیه‌ی مصدومان و عملیات توزیع کالاهای امدادی از مهم‌ترین اقدامات در فاز پاسخ مدیریت بحران محسوب می‌شود. برنامه‌ریزی درست و کارای فعالیت‌های لجستیک در فاز پاسخ‌گویی، با توجه به محدودیت منابع و امکانات، تأثیر بسزایی در کاهش خسارات جانی و مالی و افزایش کارایی و اثربخشی پاسخ‌گویی دارد.

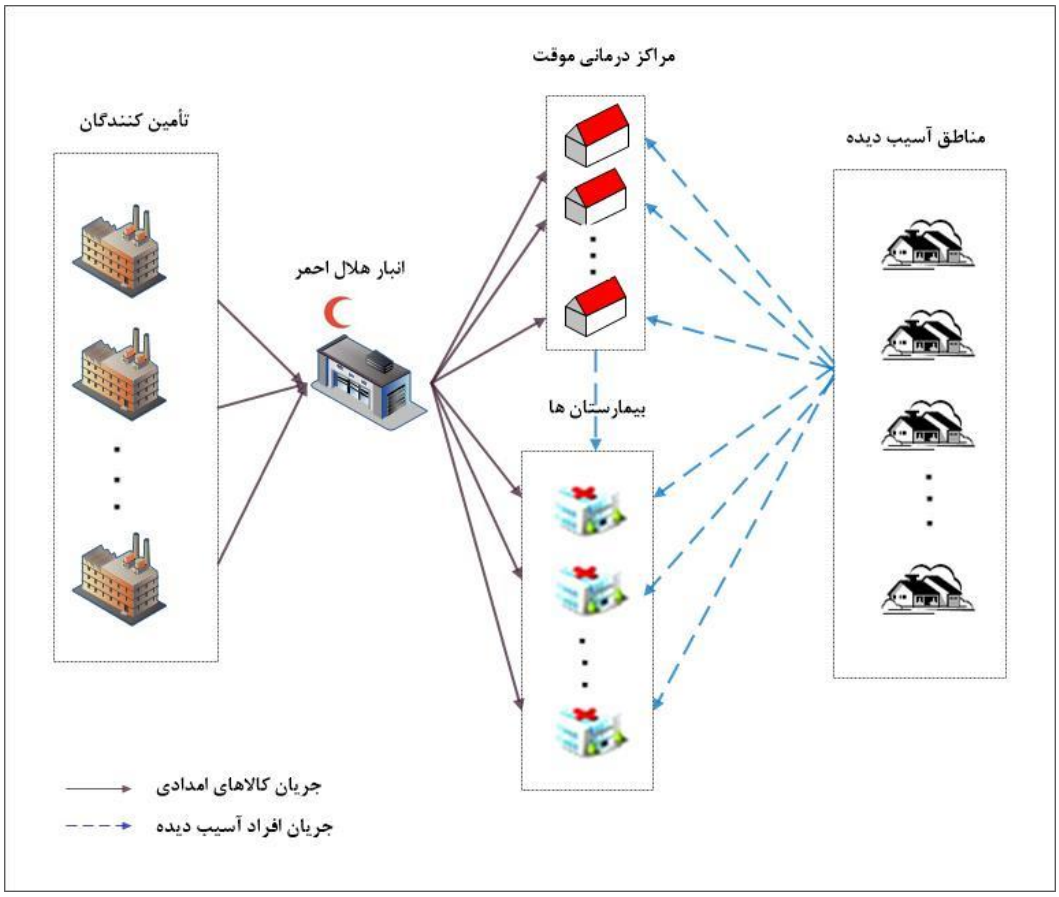
در فاز پاسخ، افراد آسیب‌دیده باید از مناطق حادثه به بیمارستان‌ها و یا مراکز درمانی که به صورت موقت به شکل چادرهای بادی، چادرهای معمولی و یا کانکس راه‌اندازی شده‌اند، منتقل و در آنجا مورد رسیدگی و مداوا قرار گیرند و همچنین کالاهای ضروری مورد نیاز مصدومان در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت مانند اقلام دارویی، تجهیزات پزشکی، آب، غذا شناسایی شده و از طریق انتقال کالاها از انبارها به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت تأمین شود.

شبکه‌ی لجستیک امداد مورد مطالعه در این تحقیق، از مرحله‌ی تأمین تا توزیع کالا و انتقال مجروحان، مطابق تصویر ۱ شامل تعدادی نقاط تأمین کالاهای امدادی، انبار هلال احمر، بیمارستان‌ها، مجموعه‌ای از نقاط بالقوه برای مکان‌یابی مراکز درمانی موقت و در نهایت مکان‌های آسیب‌دیده است. کالاهای امدادی در نظر گرفته شده در این مسئله از تأمین‌کننده‌های مشخص، از اماکن مختلف تأمین می‌شود و سپس به انبار هلال‌احمر که کالاهای امدادی در آن‌ها نگهداری می‌گردند انتقال می‌یابند. در هنگام حادثه کالاهای امدادی تأمین‌شده برای پاسخ‌گویی، متناسب با تقاضای به وجود آمده به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت فرستاده می‌شود.

مکان‌یابی یکی از تصمیمات استراتژیکی است که اگر به‌درستی صورت نگیرد، نه‌تنها کارایی مناسب نخواهد داشت بلکه هزینه ایجاد می‌کند. لذا در این مسئله مراکز درمانی موقت در صورت نیاز، باید در مکان‌های بالقوه‌ی موجود مانند پارک‌ها، زمین‌های خالی، محوطه‌ی مدارس که دارای استانداردهای لازم است، به‌گونه‌ای راه‌اندازی شوند که هزینه‌ی راه‌اندازی و حمل‌ونقل کمینه و تعداد مصدومینی که درمان می‌شوند، بیشینه شود.

هدف مدل پیشنهادی عبارت است از بررسی نقاط کاندیدا مراکز درمانی موقت و انتخاب مراکز درمانی موقت مناسب، توزیع مناسب کالاهای امدادی به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت، تخصیص و انتقال مصدومان به مراکز درمانی موقت و بیمارستان‌ها به گونه‌ای که کارایی و اثربخشی تا حد ممکن افزایش یابد. فرضیات اصلی مسئله عبارت است از:

- تعداد و مکان نقاط تأمین اقلام امدادی، انبار هلال‌احمر، بیمارستان‌ها و مناطق حادثه دیده ثابت و مشخص است.
- مکان‌های کاندیدا برای احداث مراکز درمانی موقت مشخص است.



تصویر ۱: شبکه‌ی لجستیک امداد از تأمین تا توزیع کالا و انتقال مجروحان

www.SID.ir

Archive of SID

- فاصله‌ی بین مناطق حادثه‌دیده، بیمارستان‌ها، مراکز درمانی موقت، انبار و نقاط تأمین مشخص است.
- در مدل چند نوع مصدوم با اولویت‌های متفاوت برای دریافت خدمت، در نظر گرفته شده است.
- مدل به صورت چندکالایی در نظر گرفته شده است.
- ظرفیت بیمارستان‌ها، مراکز درمانی موقت و انبار محدود است. محدود بودن ظرفیت مدل را پیچیده‌تر می‌کند و آن را به دنیای واقعی نزدیک‌تر می‌سازد.

توسعه‌ی مدل مسئله

در این بخش مجموعه‌ها، پارامترها، و متغیرهای تصمیم و مدل برنامه‌ریزی ریاضی مسئله آورده شده است.

اندیس‌ها و مجموعه‌ها

I, i	مجموعه‌ی تأمین‌کننده‌ها
L, l	مجموعه انبار هلال‌احمر
J, j	مجموعه مکان‌های کاندیدا برای احداث مراکز درمانی موقت
K, k	مجموعه مناطق حادثه‌دیده
H, h	مجموعه‌ی بیمارستان‌ها
C, c	مجموعه کالاهای امدادی
M, m	مجموعه نوع مصدومیت

پارامترها

D_{mk}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع m در منطقه‌ی آسیب‌دیده k
g_{cm}	ضریب مصرف کالای c برای فرد آسیب‌دیده‌ی نوع m
Cap_{jm}	ظرفیت مرکز درمانی موقت j برای درمان افراد آسیب‌دیده‌ی نوع m
$CapH_{hm}$	ظرفیت بیمارستان h برای درمان افراد آسیب‌دیده‌ی نوع m
$CapW_{lc}$	ظرفیت انبار l برای ذخیره‌سازی کالای c
$CapS_{ic}$	ظرفیت تأمین‌کننده‌ی i برای تأمین کالای c
$InvH_{hc}$	کالای نوع c موجود در بیمارستان h
$InvL_{lc}$	کالای نوع c موجود در انبار l
F_j	هزینه‌ی راه‌اندازی مرکز درمانی موقت j
CKJ_{mkj}	هزینه‌ی انتقال فرد آسیب‌دیده‌ی نوع m از منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی k به مرکز درمانی موقت j
CKH_{mkh}	هزینه‌ی انتقال فرد آسیب‌دیده‌ی نوع m از منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی k به بیمارستان h
CJH_{mjh}	هزینه‌ی انتقال فرد آسیب‌دیده‌ی نوع m از مرکز درمانی موقت j به بیمارستان h
TCJ_{ljc}	هزینه‌ی ارسال کالای c از انبار هلال‌احمر l به مرکز درمانی موقت j
TCH_{lhc}	هزینه‌ی ارسال کالای c از انبار هلال‌احمر l به بیمارستان h
$\cos t_{ic}$	هزینه‌ی خرید، دریافت کالای c از تأمین‌کننده‌ی i
π_c	هزینه‌ی کمبود هر واحد کالای نوع c
P_m	جریمه‌ی عدم ارائه‌ی خدمت به فرد آسیب‌دیده‌ی نوع m
γ_j	درصدی از افراد آسیب‌دیده‌ی مرکز درمانی موقت j که به بیمارستان منتقل می‌شوند
M	یک عدد مثبت بزرگ

متغیرهای تصمیم

FW_{mkj}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع m منتقل شده از منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی k به مرکز درمانی موقت j
FV_{mkh}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع m منتقل شده از منطقه‌ی آسیب‌دیده k به بیمارستان h
FZ_{mjh}	تعداد افراد آسیب‌دیده نوع m منتقل شده از مرکز درمانی موقت j به بیمارستان h
XW_{ljc}	تعداد کالای نوع c ارسال شده از انبار هلال‌احمر l به مرکز درمانی موقت j
YW_{lhc}	تعداد کالای نوع c ارسال شده از انبار هلال‌احمر l به بیمارستان h
XS_{ilc}	جریان کالای c از تأمین‌کننده‌ی i به انبار هلال‌احمر l
B_{mk}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی درمان نشده‌ی نوع m در منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی k
UD_{jc}	مقدار تقاضای برآورده نشده‌ی کالای نوع c در مرکز درمانی موقت j
UB_{hc}	مقدار تقاضای برآورده نشده‌ی کالای نوع c در بیمارستان h
loc_j	اگر مرکز درمان موقت j راه‌اندازی گردد ۱، در غیر این صورت ۰

مدل پیشنهاد شده شامل دو هدف است. تابع هدف اول به دنبال کمینه کردن مجموع وزنی مصدومان سرویس داده نشده است. تابع هدف دوم به دنبال کمینه کردن مجموع هزینه‌های لجستیکی است.

رابطه ۱:
$$\min z_1 = \sum_m \sum_k P_m . B_{mk}$$

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه ۲: $\min Z_2 = Y_1 + Y_2 + Y_2 + Y_3 + Y_4$

در رابطه‌ی ۲، بخش اول شامل هزینه‌ی خرید و دریافت کالاهای امدادی از تأمین‌کنندگان، هزینه‌ی کمبود کالاهای امدادی در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت مطابق رابطه‌ی ۳ است.

رابطه ۳: $Y_1 = \sum_i \sum_l \sum_c \text{cost}_{ic} XS_{ilc} + + \sum_h \sum_c \pi_c UB_{hc}$

بخش دوم رابطه‌ی ۲، هزینه‌ی انتقال مجروحان از مناطق آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت، هزینه‌ی انتقال مجروحان از مراکز درمانی موقت به بیمارستان‌ها مطابق رابطه‌ی ۴ است.

رابطه ۴: $Y_2 = \sum_m \sum_k \sum_j CKJ_{mkj} FW_{mkj} +$

هزینه‌های ارسال کالاهای امدادی از انبار هلال‌احمر به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت، در رابطه‌ی ۲، مطابق رابطه‌ی ۵ است.

رابطه ۵: $Y_3 = \sum_l \sum_j \sum_c TCJ_{ljc} XW_{ljc} + \sum_l \sum_h \sum_c TCH_{lhc} YW_{lhc}$

بخش چهارم در رابطه‌ی ۲، هزینه‌ی راه‌اندازی مراکز درمانی

$$\sum_m \sum_k \sum_h CKH_{mkh} FV_{mkh} + \sum_m \sum_j \sum_h CJH_{mjh} FZ_{mjh}$$

موقت است و مطابق رابطه‌ی ۶ است.

رابطه ۶: $Y_4 = \sum_j F_j loc_j$

رابطه‌ی ۷ تعداد افراد آسیب‌دیده سرویس داده‌نشده در مناطق حادثه را تعیین می‌کند. رابطه‌ی ۸ مربوط به ظرفیت مرکز درمانی موقت است و از انتقال مصدومان به مراکز درمانی موقت که راه‌اندازی نشده‌اند، جلوگیری می‌کند. رابطه‌ی ۹ تضمین می‌کند که تعداد مجروحان منتقل شده به هر بیمارستان از ظرفیت آن بیشتر نباشد. رابطه‌ی ۱۰ بیان می‌کند مجموع کالاهایی که از طرف تأمین‌کننده‌ها وارد انبار هلال‌احمر می‌شود، به‌علاوه‌ی موجودی در دسترس آن انبار، از ظرفیت انبار بیشتر نیست. رابطه‌ی ۱۱ نشان می‌دهد مجموع کالاهای ارسالی از انبار هلال‌احمر به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت از مجموع کالاهای وارد شده به انبار به‌علاوه‌ی موجودی آن بیشتر نیست. رابطه‌ی ۱۲ بیان می‌کند درصدی از مصدومان منتقل شده به مراکز درمانی موقت، می‌توانند به بیمارستان منتقل شوند.

رابطه‌ی ۱۳ نشان‌دهنده‌ی آن است که در صورتی کالا از انبار هلال‌احمر به مرکز درمانی موقت ارسال می‌گردد که آن مرکز راه‌اندازی شده باشد. طبق رابطه‌ی ۱۴ زمانی مصدومان می‌توانند از مرکز درمانی به بیمارستان ارسال شوند که آن مرکز درمانی راه‌اندازی شده باشد. رابطه‌ی ۱۵ مقدار تقاضای برآورده نشده‌ی کالای نوع c را در مرکز درمانی موقت تعیین می‌کند. رابطه‌ی ۱۶ مقدار تقاضای برآورده نشده‌ی کالای نوع c در هر بیمارستان را تعیین می‌کند. رابطه‌ی ۱۷ نشان‌دهنده‌ی این است که تعداد کالایی که از مراکز تأمین تهیه می‌شود، حداکثر به‌اندازه‌ی ظرفیت آن تأمین‌کننده است. رابطه‌ی ۱۸ به صفر و یک بودن متغیر مکان‌یابی اشاره دارد. رابطه‌ی ۱۹ به صحیح و غیرمنفی بودن متغیرها اشاره دارد.

رابطه۷: $\sum_j FW_{mkj} + \sum_h FV_{mkh} + B_{mk} = D_{mk} \quad \forall m, k$

رابطه ۸: $\sum_k FW_{mkj} \le Cap_{jm} . loc_j \quad \forall j, m$

رابطه ۹: $\sum_k FV_{mkh} + \sum_j FZ_{mjh} \le CapH_{hm} \quad \forall h, m$

رابطه ۱۰: $\sum_i XS_{ilc} + InvL_{lc} \le CapW_{lc} \quad \forall l, c$

رابطه ۱۱: $\sum_j XW_{ljc} + \sum_h YW_{lhc} \le \sum_i XS_{ilc} + InvL_{lc} \quad \forall l, c$

رابطه ۱۲: $\sum_h \sum_m FZ_{mjh} \le \sum_k \sum_m \gamma_j \times FW_{mkj} \quad \forall j$

رابطه ۱۳: $\sum_l \sum_c XW_{ljc} \le M \times loc_j \quad \forall j$

رابطه۱۴: $\sum_m \sum_h FZ_{mjh} \le M \times loc_j \quad \forall j$

رابطه ۱۵: $\sum_l XW_{ljc} + UD_{jc} = \sum_k \sum_m FW_{mkj} \cdot g_{cm} \quad \forall j$

رابطه ۱۶: $\sum_l YW_{lhc} + InvH_{hc} + UB_{hc} = \quad \forall h, c$

رابطه ۱۷: $\sum_l XS_{ilc} \le CapS_{ic} \quad \forall i, c$

رابطه ۱۸: $loc_j \in \{0,1\} \quad \forall k, j$

رابطه ۱۹: $FW_{mkj}, FV_{mkh}, FZ_{mjh}, B_{mk}, XW_{ljc}$

$, YW_{lhc}, XS_{ilc}, UD_{jc}, UB_{hc} \ge 0, \text{int} \quad \forall i, j, c, k, h$

$\sum_k \sum_m FV_{mkh} \cdot g_{cm} + \sum_j \sum_m FZ_{mjh} \cdot g_{cm}$

www.SID.ir

Archive of SID

رویکرد حل

از آنجایی که در نظر گرفتن تنها یک هدف نمی‌تواند مسئله‌ی لجستیک امداد را به‌خوبی توصیف کند، مدل پیشنهاد شده یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه است. در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه مقیاس سنجش برای هر هدف ممکن است با مقیاس سنجش برای بقیه‌ی اهداف متفاوت باشد و یا اهداف در تعارض با یکدیگر باشند. روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه را بسته به چگونگی ترکیب فرایندهای بهینه‌سازی و تصمیم‌گیری می‌توان به سه دسته تصمیم‌گیری پیش از جستجو، جستجو پیش از تصمیم‌گیری و تصمیم‌گیری در حین جستجو تقسیم کرد [۲۳]. ازجمله رویکردهای تصمیم‌گیری پیش از جستجو می‌توان به روش‌های جمع وزنی، برنامه‌ریزی توافقی، برنامه‌ریزی آرمانی و Lp-Metric اشاره کرد.

مدل پیشنهادی مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی دوهدفه است که توابع هدف آن ناسازگارند، زیرا هدفی که مربوط به هزینه است در راستای هدف بشردوستانه و کمینه کردن تعداد مصدومان سرویس داده نشده نیست و با افزایش پاسخ‌گویی و کاهش تعداد مصدومان سرویس داده نشده هزینه افزایش می‌یابد که این مخالف هدف مسئله است. در چنین شرایطی باید راه‌حلی را اتخاذ نماییم که به بهترین نتیجه منجر شود. برای حل این مدل، از روش LP-Metric که یکی از روش‌های شناخته شده در حل مسائل چندهدفه است، استفاده شده است. این روش، به دنبال کمینه کردن انحراف توابع هدف نسبت به یک راه‌حل ایدئال است. در روش Lp-Metric به‌منظور سنجش نزدیکی یک راه‌حل موجود نسبت به راه‌حل ایدئال، فاصله‌ی متریک مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۴]. این معیار، به‌صورت یک تابع سازگار تعریف می‌شود. تابع سازگار برای مسائل «هر چه کمتر بهتر» و «هر چه بیشتر بهتر» به‌ترتیب به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

رابطه‌ی ۲۰:

$$Lp=\left\{\sum_{i=1}^{n}W_i\left[\frac{f_i(X_i)-f_i(X_i^{\min})}{f_i(\bar{X}_i^{\max})-f_i(X_i^{\min})}\right]^p\right\}^{\frac{1}{p}}$$

رابطه‌ی ۲۱:

$$Lp=\left\{\sum_{i=1}^{n}W_i\left[\frac{f_i(X_i^{\max})-f_i(X_i)}{f_i(X_i^{\max})-f_i(\bar{X}_i^{\min})}\right]^p\right\}^{\frac{1}{p}}$$

$X_i^{\min}$ و $X_i^{\max}$ نشان‌دهنده‌ی راه‌حل ایدئال در بهینه‌سازی هدف i ام و X_i نشان‌دهنده‌ی راه‌حل مفروض است و w_i بیانگر درجه‌ی اهمیت برای هدف i ام است که توسط تصمیم‌گیرنده برای اهداف در نظر گرفته می‌شود. همچنین $\bar{X}_i^{\max}$ و $\bar{X}_i^{\min}$ نشان‌دهنده‌ی راه‌حل ضد ایدئال است. تابع سازگار LP به‌منظور کمینه کردن انحرافات از راه‌حل ایدئال باید کمینه گردد. مقدار p بستگی به ذهنیت تصمیم‌گیرنده دارد و ما در این‌جا p=1 در نظر می‌گیریم.

مدل پیشنهادی ما، همزمان دو تابع هدف کمینه کردن تعداد مجروحان سرویس داده نشده و کمینه کردن هزینه (هزینه‌ی راه‌اندازی، هزینه‌ی خرید، هزینه‌ی حمل‌ونقل و هزینه‌ی کمبود) را شامل می‌شود. همان‌طور که بیان شد برای حل مدل چندهدفه، از روش Lp-Metric برای یکپارچه‌سازی توابع هدف بهره گرفته می‌شود. مدل به‌دست‌آمده از این روش به شرح ذیل است که z ها در اینجا همان توابع هدف و d ها مقدار انحراف از مقدار بهینه است.

رابطه ۲۲:

$$Min\ \mathrm{LP}=w\left(\frac{d_1}{f_{1.\max}{}^{*}-f_{1.\min}}\right)+(1-w)\left(\frac{d_2}{f_{2.\max}{}^{*}-f_{2.\min}}\right)$$

رابطه ۲۳:

$$Z_1-f_{1.\min}=d_1$$

رابطه ۲۴:

$$Z_2-f_{2.\min}=d_2$$

مطالعه‌ی موردی

زلزله یکی از ده‌ها سوانح طبیعی است که همواره جان و مال انسان‌ها را در سراسر تاریخ مورد تهدید قرار داده است. ایران یکی از کشورهای زلزله‌خیز جهان است که روی یکی از دو کمربند بزرگ لرزه‌خیز قرار گرفته است و هر از گاهی زمین‌لرزه‌های بزرگی در آن به وقوع می‌پیوندد. وقوع این بلایا اغلب با صدمه به جان و مال انسان‌ها همراه بوده است. برای مثال زلزله‌ی رودبار- منجیل که در سال ۱۳۶۹برروز نموده، تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری از مرکز زمین، موجب خسارات جانی و مالی گردید و حدود ۳۵،۰۰۰۰ نفر بر اثر این رویداد جان خود را از دست دادند و بیش از ۲۰۰ هزار واحد مسکونی تخریب شدند. زلزله‌ی بم که در سال ۱۳۸۳ شهر بم و حوالی کرمان را تحت تأثیر قرار داد، طبق آمار بیش از ۴۰۰۰۰ قربانی، ۳۰ هزار مجروح و بیش از صدهزار نفر بی‌خانمان به جای گذاشت [۲۵].

در این بخش مطالعه‌ی موردی برای نشان دادن کارایی و اثربخشی مدل و راه حل پیشنهادی ارائه شده است. مطالعه‌ی موردی صورت گرفته، برنامه‌ریزی لجستیک کالا و مصدومان برای وقوع زلزله در شهر آمل در استان مازندران را شامل می‌شود. برای کسب اطلاعات مورد نیاز از نظرات کارشناسان، داده‌های تاریخی و از سایت‌های سازمان مدیریت بحران، هلال‌احمر، شهرداری‌ها، اداره‌ی آمار استفاده شده است.

مازندران، یکی از استان‌های شمالی کشور است که در مجاورت رشته‌کوه البرز قرار دارد و موقعیت مکانی ویژه‌ای را به دلیل قرار گرفتن روی گسل شمال البرز دارا است. به همین لحاظ استان مازندران، از نواحی زلزله‌خیز کشور محسوب می‌گردد [۲۶]. مازندران به سه ناحیه‌ی شرقی، غربی و مرکزی تقسیم گردیده است. از مطالعات انجام‌شده استنتاج می‌گردد که ناحیه‌ی مرکزی دارای گسل‌های جنبان‌تر نسبت به دو ناحیه‌ی مجاور خود است.

در این مطالعه به بررسی شهر آمل در حین وقوع زلزله می‌پردازیم. شهر آمل در مرکز استان مازندران قرار دارد و از شمال

www.SID.ir

Archive of SID

به شهرستان محمودآباد، از شرق به شهرستان بابل، از غرب به شهرستان نور و از جنوب به استان تهران محدود می‌شود. مختصات محدوده‌ی مورد مطالعه در تصویر ۲ داده شده است. مختصات جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه طول جغرافیایی ۳۶,۴۶۷۶۲۶۰ و عرض جغرافیایی ۵۲,۳۵۰۶۹۴۰ است. به دلیل همسایگی این شهر با قله‌ی دماوند (بلندترین کوه ایران و خاورمیانه و بلندترین قله‌ی آتش‌فشانی آسیا) همواره در معرض خطر زمین‌لرزه‌های کوچک و بزرگ قرار دارد. آخرین زلزله‌ی مرگبار در این شهر مربوط به روستای سنگچال است که در سال ۱۳۳۶ زلزله‌ای به بزرگی ۶,۷ ریشتر رخ داده است [۲۷]. محدوده‌ی بافت قدیم شهر آمل که در مرکزیت شهر واقع شده است، به دلیل داشتن ساختمان‌های قدیمی، شبکه‌ی معابر نفوذناپذیر، تراکم بالای جمعیت و جنس خاک در هنگام زلزله آسیب‌پذیر بوده و نیازمند توجه ویژه‌ای است. به همین دلیل سه ناحیه در محدوده‌ی بافت قدیم آمل در این مطالعه مورد نظر قرار گرفته است. فرض شده در صورت وقوع زلزله، حدود ۲۰ درصد جمعیت این نواحی تحت تأثیر قرار می‌گیرند [۲۸]. جمعیت تحت تأثیر در هر منطقه در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: جمعیت تحت تأثیر برآوردشده

ناحیه‌ی حادثه‌دیده	جمعیت ناحیه	جمعیت تحت تأثیر
۱	۴۶۰۰	۹۲۰
۲	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰
۳	۶۲۰۰	۱۲۴۰

بر اساس تصویر ۲، در محدوده‌ی مورد مطالعه از یک انبار به منظور ذخیره‌سازی کالاها استفاده می‌شود. همچنین کالاهای امدادی در هنگام حادثه از طرف سه تأمین‌کننده در شهر ساری، استان‌های گلستان و سمنان که استان‌های معین شهر آمل هستند تأمین می‌شود.

مجروحان حاصل از زلزله باید به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی مناسب منتقل شوند. مجروحان را با توجه به میزان آسیب‌دیدگی در دو دسته‌ی مجروحان وخیم و مجروحان سرپایی قرار می‌دهیم. دسته‌ی اول افرادی هستند که دچار جراحات شدید و تهدیدکننده‌ی حیات هستند و نیاز به درمان فوری دارند و باید به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی منتقل و بستری شوند. دسته‌ی دوم، افرادی که دچار آسیب‌دیدگی جزئی هستند و برای درمان به بیمارستان یا مراکز درمانی موقت مراجعه می‌کنند اما نیاز به بستری شدن ندارند. اولویت درمان برای مجروحان وخیم و سرپایی به‌ترتیب ۰,۶۵ و ۰,۳۵ در نظر گرفته شده است. بنابراین مجروحان وخیم برای درمان در اولویت‌اند.

بر اساس شدت زلزله و تراکم جمعیت پیش‌بینی شده که ۵۰ درصد از جمعیت تحت تأثیر دچار آسیب‌دیدگی جسمی شدند؛ به طوری که ۳۰ درصد آن‌ها مجروحان سرپایی و ۲۰ درصد باقی مجروحان وخیم هستند. بدین ترتیب جمعیت مجروحان سرپایی و وخیم در هر منطقه برآورد شده و در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: تعداد افراد آسیب‌دیده در منطقه‌ی حادثه‌دیده

ناحیه‌ی حادثه‌دیده	مجروحان وخیم	مجروحان سرپایی
۱	۱۸۴	۲۷۶
۲	۴۰۰	۶۰۰
۳	۲۴۸	۳۷۲

پس از انجام عملیات امداد و نجات، مجروحان باید به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت منتقل شوند که این بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت دارای ظرفیت محدودی برای پذیرش هر نوع مجروح هستند. سه مکان برای راه‌اندازی مراکز درمانی موقت که به صورت چادرهای امدادی ۲۴ نفره است، در نظر گرفته شده که پارک بنفشه، پارک بانوان و مدرسه‌ی لاری به این امر اختصاص یافته‌اند که این نقاط به کمک نظرات کارشناسان حادثه و با توجه به معیارهایی همچون نزدیکی به نقاط تقاضا، شدت بحران، استحکام منطقه و غیره انتخاب شده‌اند. سه بیمارستان ۱۷ شهریور، امام علی و امام خمینی در شهر آمل به دلیل نزدیکی به نواحی حادثه‌دیده و همچنین دو بیمارستان در شهرهای قائم‌شهر و بابل، به‌دلیل ارائه‌ی خدمات عمومی و تخصصی مناسب در نظر گرفته شده‌اند. ظرفیت پذیرش

تصویر ۲: موقعیت جغرافیایی و نقشه‌ی محدوده‌ی مورد مطالعه در این تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

هر بیمارستان و هر مرکز درمانی برای پذیرش مجروحان از انواع مختلف پس از حادثه در جدول ۵ و ۶ آورده شده است.

جدول ۵: ظرفیت پذیرش مجروحان در هر بیمارستان

بیمارستان	ظرفیت پذیرش مجروحان	
	مجروحان وخیم	مجروحان سرپایی
۱۷ شهریور	۱۰۰	۱۲۵
امام علی	۱۳۰	۱۶۵
امام خمینی	۱۴۵	۱۷۰
قائمشهر	۱۸۰	۲۰۰
بابل	۱۵۰	۱۹۰

در این مطالعه، دو کالای امدادی دارو و مواد غذایی به‌منزله‌ی کالاهای امدادی که باید از انبارها به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت ارسال شوند، در نظر گرفته شدند. همچنین، ضریب مصرف مواد غذایی برای هر یک از مجروحان دو واحد و ضریب مصرف دارو برای مجروح وخیم دو واحد و برای مجروح سرپایی یک واحد در نظر گرفته شده است. بنابراین مقدار تقاضای هر یک از بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت برای کالاهای امدادی، تابعی از تعداد مجروحان منتقل شده به این مراکز است.

جدول ۶: ظرفیت پذیرش مجروحان در مراکز درمانی موقت

مرکز درمانی موقت	ظرفیت پذیرش مجروحین	
	مجروحان وخیم	مجروحان سرپایی
۱	۷۲	۱۹۲
۲	۴۸	۱۶۸
۳	۲۴	۷۲

در انبارهای ذخیره‌سازی به اندازه‌ی ۲٪ جمعیت آن شهر کالاهای امدادی نگهداری می‌شود. فرض شده که در ابتدای افق برنامه‌ریزی عملیات واکنش، از هرکدام از اقلام امدادی مواد غذایی و دارو به ترتیب به اندازه‌ی ۲۵۰۰ و ۱۵۰۰ واحد در انبار هلال‌احمر در دسترس است و مابقی کالاهای مورد نیاز توسط تأمین‌کنندگان، پس از زلزله تأمین می‌شود.

جدول ۷ ظرفیت تأمین‌کننده‌های مختلف برای تأمین اقلام امدادی و جدول ۸ ظرفیت ذخیره‌سازی انبار برای کالاهای امدادی مختلف را نشان می‌دهد. مقداری از کالاهای امدادی و دارویی همواره در انبار بیمارستان‌ها نگهداری می‌شود که میزان موجودی در دسترس در بیمارستان‌ها در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۷: ظرفیت تأمین‌کنندگان برای هر کالا

تأمین‌کنندگان	کالاهای امدادی	
	مواد غذایی	دارو
ساری	۹۰۰۰	۸۰۰۰
گلستان	۸۰۰۰	۷۵۰۰
سمنان	۷۰۰۰	۶۰۰۰

برای احداث و راه‌اندازی مراکز درمانی موقت در هر یک از مناطق کاندیدا، هزینه‌ی راه‌اندازی مطابق جدول ۹ در نظر گرفته شده است. این هزینه‌ها شامل هزینه‌ی احداث و تهیه‌ی امکانات اولیه است.

جدول ۸: ظرفیت انبارهلال احمر برای ذخیره‌سازی کالاهای مختلف

انبار	کالاهای امدادی	
	مواد غذایی	دارو
	۹۰۰۰	۸۰۰۰

جدول ۹: میزان موجودی در دسترس در بیمارستان‌ها

بیمارستان	کالاهای امدادی	
	مواد غذایی	دارو
۱۷شهریور	۸۰	۱۰۰
امام علی	۱۰۰	۱۵۰
امام خمینی	۸۰	۲۲۰
قائم‌شهر	۱۵۰	۳۰۰
بابل	۱۰۰	۲۰۰

جدول ۱۰: هزینه‌ی راه‌اندازی مراکز درمانی (تومان)

مکان کاندید	هزینه‌ی احداث
۱	۶۰۰۰۰۰۰۰
۲	۵۰۰۰۰۰۰۰
۳	۳۵۰۰۰۰۰۰

هزینه‌ی حمل‌ونقل یک واحد کالای امدادی c از گره i به گره j به‌صورت رابطه‌ی $TC_{ij} = u_c \cdot d_{ij}$ محاسبه می‌شود؛ که در آن d_{ij} فاصله (کیلومتر) بین گره i تا j است و u_c واحد هزینه‌ی حمل‌ونقل کالای امدادی c (تومان به ازای یک واحد کالا و یک کیلومتر) است. همچنین برای محاسبه‌ی هزینه‌ی حمل‌ونقل یک فرد مجروح نیز می‌توان از رابطه‌ی بالا استفاده نمود، با این تفاوت که در آن u_c به صورت واحد هزینه‌ی حمل‌ونقل فرد مجروح c (تومان به ازای یک فرد مجروح و یک کیلومتر) تعریف می‌شود. بر این اساس بر طبق رابطه‌ی بالا، در جداول ۱۱-۱۳ هزینه‌های حمل‌ونقل برای یک واحد کالای امدادی و یک فرد مجروح بین نقاط شبکه آورده شده است که مبتنی بر فاصله‌ی بین این نقاط است.

جدول ۱۱: هزینه‌ی حمل بین انبار هلال‌احمر و بیمارستان‌ها (تومان)

بیمارستان	کالاهای امدادی	
	مواد غذایی	دارو
۱۷شهریور	۳۴	۵۱
امام علی	۸۰	۱۲۰
امام خمینی	۱۳۰	۱۹۵
قائمشهر	۵۵۰	۸۲۵
بابل	۳۱۶	۴۷۴

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۲: هزینه‌ی حمل بین انبار هلال احمر و مراکز درمانی (تومان)

مرکز درمانی موقت	کالاهای امدادی	
	مواد غذایی	دارو
۱	۵۸	۸۷
۲	۶۴	۹۶
۳	۶۰	۹۰

جدول ۱۳: هزینه‌ی حمل بین مناطق حادثه‌دیده و مراکز درمانی

نوع مجروحان	مناطق حادثه‌دیده	مراکز درمانی موقت		
		۱	۲	۳
وخیم	۱	۳۵۴۰	۱۱۴۰	۳۲۴۰
	۲	۱۴۴۰	۱۲۰۰	۲۰۴۰
	۳	۱۰۵۰۰	۱۲۰۰۰	۴۰۰۰
سرپایی	۱	۸۸۵	۲۸۵	۸۱۰
	۲	۳۶۰	۳۰۰	۵۱۰
	۳	۶۳۰	۷۲۰	۲۴۰

در جدول ۱۴ هزینه‌ی اکتساب هر واحد کالای امدادی از هرکدام از تأمین‌کنندگان آمده است. هزینه‌ی کمبود کالای امدادی c در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی ۱۰ برابر هزینه‌ی اکتساب کالا تخمین زده می‌شود.

جدول ۱۴: هزینه‌ی اکتساب کالای امدادی از تأمین‌کنندگان

تأمین‌کنندگان	کالاهای امدادی	
	مواد غذایی	دارو
ساری	۸۰۰	۲۰۰
گلستان	۱۱۰۰	۲۳۰
سمنان	۱۲۰۰	۲۵۰

نتایج حل و یافته‌ها

در این بخش، نتایج محاسباتی و تحلیل رفتار مدل را ارائه خواهیم کرد. مدل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی Lingo ۱۵ بر روی کامپیوتری با مشخصات RAM: 6GB و CPU: Core i5- 2.7GHz اجرا شد. این نرم‌افزار از روش شاخه و کران برای حل مدل استفاده کرده و جواب دقیق و بهینه برای مدل پیشنهادی در اختیار ما قرار می‌دهد. از آنجا که برای حل مدل چندهدفه با این روش نیاز به مقادیر بیشینه و کمینه‌ی هر تابع هدف داریم، با حل مدل به ازای هر هدف به‌صورت جداگانه به این مقادیر دست می‌یابیم که مقادیر آن در جدول ۱۵ آمده است. گفتنی است که با توجه به نظر برنامه‌ریزان و خبرگان، ماهیت مسئله و اهمیت بیشتر تابع هدف بشردوستانه‌ای نسبت به تابع هدف هزینه‌ای در لجستیک امداد، ضریب اهمیت ۰/۷ و ۰/۳ به ترتیب برای توابع هدف اول و دوم لحاظ شده است.

جدول ۱۵: مقادیر حد پایین و حد بالای هر تابع هدف

توابع هدف	$f_{\min}$	$f_{\max}$
Z_1	۰	۶۶۲،۳۵
Z_2	۵۰۳۱۱۴۰	۲۰۴۲۳۷۲۰۰

در جدول ۱۵، $f_{\min}$ برای تابع هدف اول و دوم مقدار حد پایین (ایدئال) و $f_{\max}$ برای این توابع هدف که به‌صورت کمینه‌سازی هستند، ضد ایدئال است. نتیجه‌ی حل مسئله‌ی Lp-Metric برای این مطالعه مطابق با جدول ۱۶ است.

جدول ۱۶: نتایج به‌دست‌آمده از حل مسئله‌ی Lp-Metric

توابع هدف	$Value^*$	D	GAP%
Z_1	۲۱/۱	۲۱/۱	۳/۱۸
Z_2	۱۲۴،۸۱۹،۹۰۰	۱۱۹،۷۸۸،۷۶۰	۶۱/۱

میزان انحراف هر یک از توابع هدف از مقادیر ایدئال d است. آخرین ستون جدول ۱۶ فاصله میان جواب ایدئال هر تابع هدف و مقدار به‌دست‌آمده از حل مسئله‌ی Lp-Metric را نشان می‌دهد. براساس نتایج ذکرشده در جدول ۱۶ مقادیر به‌دست آمده برای توابع در محدوده‌ی مجاز بین حد بالا و حد پایین قرار دارند. همان‌طور که از شکاف‌ها پیداست تابع هدف هزینه فاصله‌ی زیادی با مقدار ایدئال خود دارد و علت آن بالا بودن هزینه‌ی راه‌اندازی مراکز درمانی موقت است. نتایج حل مدل در جدول‌های ۱۷ به بعد آورده شده است.

جدول ۱۷ تعداد مجروحان منتقل شده از مناطق حادثه‌دیده به بیمارستان‌ها را نشان می‌دهد. افراد آسیب‌دیده به نزدیک‌ترین بیمارستان و مراکز درمانی فرستاده می‌شوند. برای مثال ۱۰۰ مجروح وخیم از منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی ۲ به بیمارستان ۱۷ شهریور فرستاده می‌شوند. به دلیل زیاد بودن مجروحان و ظرفیت پایین بیمارستان‌های شهر آمل، از بیمارستان شهر قائم‌شهر و بابل نیز استفاده می‌شود. فاکتور اصلی در انتخاب مکان مراکز درمانی موقت هزینه‌ی راه‌اندازی، ظرفیت و هزینه‌ی حمل به نواحی مختلف است. نتایجی که از متغیرهای مسئله به دست می‌آید، نشان می‌دهد که از میان ۳ مکان کاندیدا برای راه‌اندازی مراکز درمانی موقت مکان‌های ۱ و ۲ (پارک بنفشه و پارک بانوان) انتخاب می‌شوند.

جدول ۱۸ تعداد مجروحان انتقالی از مناطق حادثه‌دیده به مراکز درمانی موقت را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تنها مجروحان منطقه‌ی حادثه‌دیده‌ی ۲ (بازار قدیم آمل) به مراکز درمانی موقت منتقل می‌شوند که شاید یکی از دلایل آن تعداد زیاد مجروحان در این منطقه باشد. در اینجا از حداکثر ظرفیت مراکز درمانی برای امدادرسانی به مجروحان استفاده شده است.

در جدول ۱۹ تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی سرویس داده نشده در هر منطقه نمایش داده شده است که درواقع هدف اصلی ما کم کردن تعداد این افراد است. همان‌طور که مشخص است تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی سرویس داده نشده در منطقه‌ی ۳ از مناطق دیگر بیشتر است که شاید یکی از دلایل آن دور بودن بیمارستان‌ها و نبود مرکز درمانی موقت در این منطقه باشد و همچنین به علت اولویت مجروحان وخیم برای درمان تعداد مجروحان وخیم سرویس داده نشده از مجروحان سرپایی کمتر است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۷: تعداد افراد آسیب دیده منتقل شده از مناطق حادثه به بیمارستان

نوع مجروحان	مناطق حادثه‌دیده	بیمارستان				
		۱۷شهریور	امام علی	امام خمینی	قائم‌شهر	بابل
وخیم	۱	–	–	–	۱۷۵	۹
	۲	۱۰۰	–	۳۹	–	۱۴۱
	۳	–	۱۳۰	۱۰۶	–	–
سرپایی	۱	–	–	–	۸۶	۱۹۰
	۲	۱۲۵	–	–	۱۱۴	–
	۳	–	۱۶۵	۱۷۰	–	–

جدول ۱۸: تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی منتقل‌شده از مناطق حادثه به مراکز درمانی

نوع مجروحان	مناطق حادثه‌دیده	مراکز درمانی موقت		
		۱	۲	۳
وخیم	۱	–	–	–
	۲	۷۲	۴۸	–
	۳	–	–	–
سرپایی	۱	–	–	–
	۲	۱۹۲	۱۶۸	–
	۳	–	–	–

جدول ۱۹: تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی سرویس داده‌نشده در هر منطقه

ناحیه‌ی حادثه‌دیده	مجروحان وخیم	مجروحان سرپایی
۱	۰	۰
۲	۰	۱
۳	۱۲	۳۷

جدول ۲۰ میزان کالای خریداری شده از تأمین‌کنندگان را با توجه به مسافت و هزینه‌ی اکتساب نشان می‌دهد. همان‌طور که از این جدول مشخص است، تنها از تأمین‌کننده‌ی شهرساری برای تأمین کالاهای امدادی استفاده شده است و این به‌خاطر فاصله‌ی کمتر این تأمین‌کننده از انبار هلال‌احمر شهر آمل است که منجر می‌شود تا کالاها با هزینه‌ی کمتر در زمانی کوتاه‌تر به انبار برسند.

جدول ۲۰: مقدار کالای تأمین شده از تأمین‌کنندگان در جواب بهینه

تأمین‌کنندگان	کالاهای امدادی	
	مواد غذایی	دارو
ساری	۱۰۵۰	۳۸۰
گلستان	۰	۰
سمنان	۰	۰

جدول ۲۱ و ۲۲ مقدار کالاهای حمل شده از انبار هلال‌احمر به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت را نشان می‌دهند، به‌طور مثال ۳۷۰ واحد مواد غذایی و ۲۲۵ واحد دارو از انبار هلال‌احمر به بیمارستان ۱۷ شهریور ارسال می‌شود.

جدول ۲۱: مقدار کالای ارسال شده از انبار هلال‌احمر به هر بیمارستان

بیمارستان	کالاهای امدادی	
	مواد غذایی	دارو
۱۷شهریور	۳۷۰	۲۲۵
امام علی	۴۹۰	۲۷۵
امام خمینی	۵۵۰	۲۴۰
قائم‌شهر	۶۰۰	۲۵۰
بابل	۵۸۰	۲۹۰

در ادامه تحلیل حساسیت در مورد ضریب Lp-Metric انجام شده است. مدل برای $p=1$ و w_i های مختلف حل می‌شود. از طریق حل این مسئله، رابطه‌ی بین هزینه‌ی کل و میانگین وزنی تعداد مجروحان سرویس داده نشده به دست می‌آید. با افزایش مقدار w، مقدار تابع هدف حداقل‌سازی تعداد افراد آسیب‌دیده سرویس داده نشده به مقدار بهینه‌ی خود نزدیک می‌شود و تابع هدف هزینه از بهینه‌ی خود فاصله می‌گیرد.

جدول ۲۲: مقدار کالاهای ارسال شده از انبار هلال‌احمر به مراکز درمانی موقت

مرکز درمانی موقت	کالاهای امدادی	
	مواد غذایی	دارو
۱	۵۲۸	۳۳۶
۲	۴۳۲	۲۶۴
۳	۰	۰

www.SID.ir

Archive of SID

مطابق تصویر ۳ کاهش مقدار w و افزایش وزن تابع هدف هزینه، سبب می‌شود تا از تعداد مراکز درمانی موقت راه‌اندازی شده کاسته شود که آن هم به دلیل بالا بودن هزینه‌های راه‌اندازی مراکز درمانی است که حداقل کردن هزینه‌ها، حداقل شدن تعداد مراکز درمانی و افزایش تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی سرویس داده نشده را نتیجه می‌دهد.

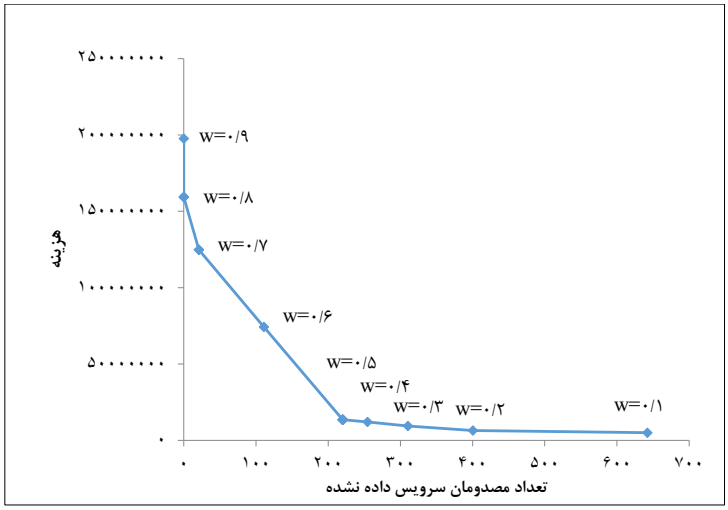
نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک مدل جدید چندهدفه برای طراحی شبکه‌ی لجستیک امداد بلایا ارائه شد. در این مسئله لجستیک همزمان کالا و مصدومان در واکنش به زلزله در نظر گرفته شد. به ساختار شبکه‌ی لجستیک امداد پیشنهادی، علاوه بر نقاط تأمین، انبار هلال‌احمر و نقاط آسیب‌دیده، بحث انتقال افراد آسیب‌دیده از مناطق حادثه‌دیده به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت نیز اضافه شد. برای مداوای افراد آسیب‌دیده علاوه بر بیمارستان‌ها، مراکز درمانی موقت نیز در نظر گرفته شده است. وجود مراکز درمانی موقت که پس از زلزله در مکان‌های از پیش تعیین شده راه‌اندازی می‌شوند، سبب تسریع لجستیک افراد آسیب‌دیده و درنتیجه تسریع درمان آن‌ها می‌شود. مکان‌یابی این مراکز نیز در مدل مورد بررسی قرار گرفت. مدل چندهدفه‌ی پیشنهادی شامل کمینه کردن تعداد افراد آسیب‌دیده سرویس داده نشده و کمینه کردن هزینه‌های لجستیکی است. برای حل مدل چندهدفه، از روش LP-Metric تبدیل مسئله به‌صورت تک‌هدفه استفاده شده است. با استفاده از مدل ارائه شده برنامه‌ریزی لجستیک برای واکنش به زلزله در شهر آمل در استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت.

در نظر گرفتن بعد زمان و مدل‌سازی مسئله در حالت پویای تعداد مجروحان و تقاضای کالاهای امدادی، ملاحظه‌ی وسایل نقلیه و مسیریابی آن‌ها و همچنین مدل‌سازی مسئله تحت شرایط عدم قطعیت از جمله مواردی است که می‌توان در تحقیقات آتی مورد نظر قرار داد. در زمان بحران برخی از پارامترها مانند میزان عرضه و تقاضای کالاها، میزان تلفات، هزینه‌ها و ... به‌صورت دقیق مشخص نیستند و برای جبران این اشکال می‌توان از بهینه‌سازی استوار تحت سناریوهای مختلف استفاده نمود.

منابع

1. Duran, S., M.A. Gutierrez, and P. Keskinocak (2011). Pre-positioning of emergency items for CARE international. *Interfaces*, 41(3), 223-237.
2. Kobe and Hyogo (2005-january). *national report of Iran on word conference on disaster reduction*. Available from: www.unisdr.org.
3. Ma'hood, M. and H. Hamzehloo (2009). Estimation of coda wave attenuation in East Central Iran. *Journal of Seismology*, 13(1), 125-139.
4. Altay, N. and W.G. Green Iii (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475-493.
5. Caunhye, A.M., X. Nie, and S. Pokharel (2012). Optimization models in emergency logistics: A literature review. *Socio-economic planning sciences*, 46(1), 4-13.
6. Knott, R. (1988). Vehicle Scheduling for Emergency Relief Management: A Knowledge-Based Approach. *Disasters*, 12(4), 285-293.
7. Haghani, A. and S.-C. Oh (1996). Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* 30(3), 231-250.
8. Özdamar, L., E. Ekinci, and B. Küçükyazici (2004). Emergency logistics planning in natural disasters. *Annals of operations research,* 129(1-4), 217-245.
9. Tzeng, G.-H., H.-J. Cheng, and T.D. Huang (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief



تصویر ۳: نتایج آنالیز حساسیت ضرایب LP-Metric

www.SID.ir

Archive of SID

delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 673-686.

10. Mete, H.O. and Z.B. Zabinsky (2010). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 76-84.

11. Zhan, S.-l. and N. Liu. (2011). A multi-objective stochastic programming model for emergency logistics based on goal programming. in *Computational Sciences and Optimization (CSO), Fourth International Joint Conference on*. IEEE.

12. Afshar, A. and A. Haghani (2012). *Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations.* Socio-Economic Planning Sciences, 46(4), 327-338.

13. Sheu, J.-B. (2010). Dynamic relief-demand management for emergency logistics operations under large-scale disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(1), 1-17.

14. Bozorgi-Amiri, A., et al. (2012). *A modified particle swarm optimization for disaster relief logistics under uncertain environment.* The *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60(1-4), 357-371.

15. Fiedrich, F., F. Gehbauer, and U. Rickers (2000). *Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. Safety science,* 35(1), 41-57.

16. Yi, W. and L. Özdamar (2007). A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. Eur*opean Journal of Operational Research,* 179(3), 1177-1193.

17. Yi, W. and A. Kumar (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* 43(6), 660-672.

18. Ozdamar, L.(2011). Planning helicopter logistics in disaster relief. *OR spectrum*, 33(3), 655-672.

19. Najafi, M., K. Eshghi, and W. Dullaert (2013). A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* 49(1), 217-249.

20. Najafi, M., K. Eshghi, and S. de Leeuw (2014). A dynamic dispatching and routing model to plan/ re-plan logistics activities in response to an earthquake. *OR Spectrum*, 36(2), 323-356.

۲۱. محمدی، رضا؛ فاطمی قمی، محمدتقی؛ جولای، فریبرز (۲۰۱۶). ارائه‌ی مدل چندهدفه‌ی بهینه‌سازی استوار برای برنامه‌ریزی لجستیکی در واکنش به زلزله با در نظر گرفتن مراکز توزیع و درمان موقت. *مهندسی صنایع و مدیریت*. دوره‌ی ۱(۳۱)،۹۳-۱۰۵.

۲۲. بزرگی امیری، علی؛ فتاحی، آرمین (۲۰۱۶). ارائه‌ی یک مدل لجستیک چندهدفه‌ی فازی برای توزیع اقلام امدادی و تخلیه‌ی مصدومین در زمان بحران. *مهندسی صنایع و مدیریت*. دوره‌ی ۱(۳۱)، ۱۵-۲۳.

23. Mavrotas, G. (2009). *Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems.* Applied mathematics and computation, 213(2), 455-465.

24. Deb, K. (2001). Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. Chicheter, John-Wiley.

25. Montazeri, A., et al. (2005). Psychological distress among Bam earthquake survivors in Iran: a population-based study. *BMC public health*, 5(1), 4.

۲۶. رضاپور، مهدی (۱۳۸۵). ارزیابی بزرگی برآورد شده برای زمین‌لرزه‌ی کجور-بلده. *مجله‌ی فیزیک زمین و فضا*، دوره‌ی ۳۲(۲)، ۱-۱۱.

۲۷. خادمی، حسین؛ جوکار سرهنگی، عیسی (۱۳۹۱)؛ ارزیابی کیفیت زندگی شهری (مطالعه‌ی موردی: بافت فرسوده شهر آمل). *جغرافیا و مطالعات محیطی*، دوره‌ی اول (۴)، ۱۰۰-۱۱۱.

۲۸. عسگری زاده، زهرا؛ رفیعیان، مجتبی؛ داداش پور، هاشم (۱۳۹۶). بررسی نقش ادراک ریسک مردم بر رفتارهای کاهش ریسک زلزله در شهر تهران. *دوفصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، دوره‌ی ۶، شماره‌ی ۲، ۵۷-۶۸.

www.SID.ir