چارچوبی برای بهینه‌سازی تدارکات امدادرسانی و تخلیه‌ی مجروحان

مطالعه‌ی موردی: نقش نیروهای مسلح

مهرداد نیازی شش‌نرمی*: کارشناس ارشد، مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، Nyazi.mehrdad@ut.ac.ir
رسول کریمی طاهر: دانشجوی دکتری تخصصی مدیریت دولتی، مدرس و عضو هیئت علمی دانشگاه هوایی شهید ستاری، تهران، ایران
مسعود ربانی: استاد دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش:۹۵/۴/۶
تاریخ پذیرش:۹۶/۱۲/۱۶

چکیده

هرساله در سراسر جهان حدود ۷۰ هزار نفر از مردم کشته می‌شوند و نزدیک به ۲۰۰ میلیون نفر تحت تأثیر بلایای طبیعی و انسانی قرار می‌گیرند. ازاین‌رو، مدیریت بحران و به‌طور ویژه مدیریت کارا و مؤثر فعالیت‌های لجستیک امدادرسانی و تخلیه‌ی مجروحان از مناطق آسیب‌دیده ضروری است. از مهم‌ترین فعالیت‌ها در هنگام وقوع یک بحران، فعالیت‌های لجستیک اقلام امدادی و رساندن این اقلام به آسیب‌دیدگان و انتقال افراد آسیب‌دیده به مراکز درمانی است. نیروهای نظامی به علت توانمندی‌های بالقوه و ذاتی به‌منزله‌ی یک نیروی کمک‌کننده‌ی عملیاتی نقش کلیدی در پاسخ‌گویی به بحران‌ها دارند. در سال‌های اخیر نقش نیروهای مسلح در واکنش به بلایای طبیعی افزایش یافته است، که دلایل این امر افزایش مقیاس و بروز بلایای طبیعی، افزایش تمایل واکنش‌های بشردوستانه به سمت نظامی شدن و افزایش علاقه‌ی نیروهای مسلح در واکنش به بحران‌ها است. در این مقاله رویکردی دومرحله‌ای برای بهینه‌سازی انتقال کالاهای امدادی به مناطق آسیب‌دیده و تخلیه‌ی افراد آسیب‌دیده ارائه می‌کنیم که نقش نیروهای مسلح را در نظر می‌گیریم. ابتدا یک مدل عدد ریاضی برای تعیین مقدار کالا و افراد منتقل‌شده توسعه داده می‌شود که وسایل نقلیه را به‌جای متغیر صفر و یک به‌صورت عدد صحیح در نظر می‌گیرد. پس از آن با استفاده از یک سیستم معادلات خطی دستورالعمل‌های دقیق برای وسایل نقلیه تعیین می‌شود. در مدل ارائه‌شده، شدت آسیب قربانیان و احتمال زنده ماندن آن‌ها در نظر گرفته شده است. همچنین در مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه‌شده، مکان مراکز امدادی موقت و مراکز توزیع محلی در نزدیکی مناطق آسیب‌دیده مشخص می‌شود. امکانات در دسترس نیروهای مسلح ازجمله کارکنان و وسایل نقلیه که می‌تواند در امدادرسانی بهینه مؤثر باشد، در نظر گرفته شده است. تابع هدف در نظر گرفته‌شده، سعی در به حداکثر رساندن تعداد بازماندگان دارد. رویکرد ارائه‌شده را بر زلزله‌ی آذربایجان شرقی در سال ۱۳۹۱ اعمال می‌کنیم، اما قابلیت پیاده‌سازی برای هر شرایط مشابه دیگری را دارا است.

واژه‌های کلیدی: *مدیریت بحران، امدادرسانی، نیروهای مسلح، بلایای طبیعی، تخلیه‌ی مجروحان*

A Framework for Optimizing Disaster Relief Logistics and Evacuation Considering Armed Forces Role

Case Study of Islamic Republic of Iran Army

Mehrdad Niyazi Sheshnarmi[1*], Rasoul Karimi-Taher[2], Masoud Rabbani[3]

Abstract

Annually 70000 people are being killed all around the world and around 200 million encounter natural and human-made disasters. Thus crisis management and especially the effective management of relief logistic activities and evacuation of the injured from incident areas seems vital. Some important activities when a disaster occurs include relief logistic activities and delivering these items to the injured people and moving them to medical centers. Military forces due to their potential and intrinsic capabilities as an aiding force play a key role in disaster response activities. In recent years the role of armed forces in response to crises has increased due to: the growth in the frequency and scale of natural disasters, increasing interest of the armed forces to take part in crises response, increasing tendency of humanitarian responses towards the militarization. In this paper a two-stage approach is used to optimize the transferring of relief goods to incident areas and evacuating the injured people therefrom, considering the role of armed forces. First, a numerical model is developed in which vehicles are accounted for by integer rather than binary variable. This model is used to determine the number of goods and transferred people. Then by using a linear equations system, the exact instruction for vehicles is determined. In the proposed model the degree of injury of victims and the possibility of their survival is considered. Also in mixed integer model, the location of temporary medical centers and Local Distribution Centers (LDCs) near the incident areas are determined. Armed forces available facilities, including personnel and vehicles that can be effective in relief logistics, are considered. The ultimate objective function tries to maximize the number of survivors. The proposed optimization approach is applied to East Azarbaijan earthquake in 2012, however, it is capable of being applied to any other similar situation.

Keywords: *Disaster Management, Relief logistics, Evacuation, Armed forces, Natural Disasters*

1 M.S. Graduate, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran; Email: Nyazi.mehrdad@ut.ac.ir
2 Ph.D. Student of Governmental Management, Shahid Satari Aeronautical University, Tehran, Iran.
3 Professor, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

مقدمه

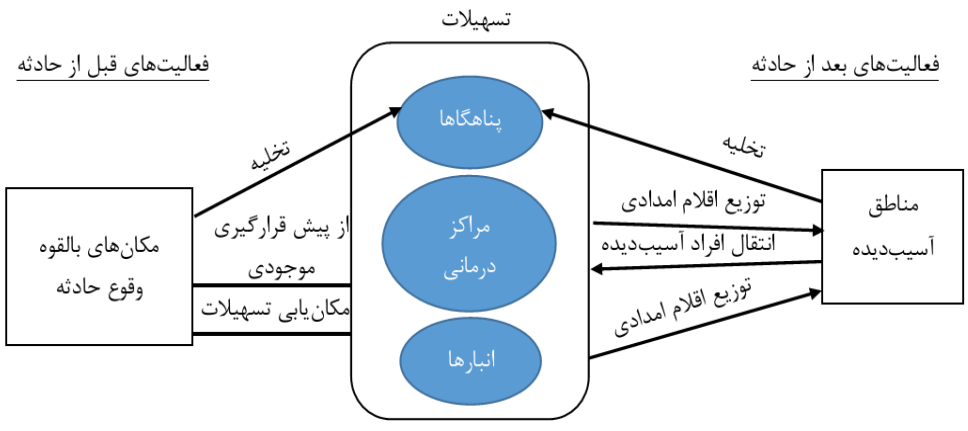
اصطلاح «بحران[1]» معمولاً به اختلال در عملکرد طبیعی یک جامعه اطلاق می‌شود که تأثیر نامطلوب قابل توجهی بر مردم، کار آن‌ها و محیط‌زیست دارد. این وضعیت ممکن است در نتیجه‌ی یک حادثه‌ی طبیعی مانند زلزله، سونامی، طوفان، شیوع بیماری‌های مسری، خشک‌سالی، قحطی و یا درنتیجه‌ی فعالیت‌های انسانی مانند جنگ و حملات تروریستی باشد [۱]. در سال‌های اخیر، خسارات و تلفات ناشی از بحران‌های طبیعی و انسانی به‌طور چشمگیری افزایش یافته است، به‌طوری‌که هرساله در سراسر جهان حدود ۷۰ هزار نفر از مردم کشته می‌شوند و نزدیک به ۲۰۰ میلیون نفر تحت تأثیر این بلایا قرار می‌گیرند [۲]. جدا از علت وقوع یک بحران، واکنش و پاسخ سریع به نیازهای فوری امدادی در مناطق آسیب‌دیده دقیقاً پس از وقوع حادثه یک مسئله‌ی حیاتی است. لجستیک عبارت است از «فرایند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل کارای جریان و انبارش کالاها، مواد و همچنین اطلاعات مربوطه از نقطه‌ی مبدأ تا نقطه‌ی مصرف با هدف ارتباط با خواسته‌های ذینفع نهایی» [۳]. در لجستیک واکنش به بلایای طبیعی، توزیع کمک‌های امدادی و تخلیه‌ی افراد آسیب‌دیده دو فعالیت مهم هستند. در درجه‌ی اول تخلیه‌ی مجروحان انجام می‌گیرد، درحالی‌که توزیع اقلام امدادی برای مدت‌زمان بیشتری ادامه خواهد داشت. برنامه‌ریزی لجستیکی امدادرسانی برای اثربخشی و تسریع پاسخ در برنامه‌ی توزیع کمک‌ها، ازجمله غذا، لباس، دارو، تجهیزات پزشکی، ماشین‌آلات و کارکنان، بسیار مهم است. هنگام وقوع یک بحران، سازمان‌های امدادی مختلف، اغلب با مشکلات قابل توجهی برای انتقال حجم زیادی از کالاهای مختلف از چندین نقطه‌ی مبدأ به مناطق آسیب‌دیده روبه‌رو هستند. در هنگام وقوع یک بحران اغلب کمک‌های ارسالی به مناطق آسیب‌دیده توسط کمک‌های مردمی و سازمان‌های غیردولتی انجام می‌شود که پیچیدگی مسئله را بیشتر می‌کند، زیرا زنجیره‌های تأمین و لجستیک بشردوستانه[2] با زنجیره‌های تأمین تجاری کاملاً متفاوت است. زنجیره‌ها و لجستیک تجاری سعی در حداکثرسازی سود دارند، درحالی‌که لجستیک بشردوستانه سعی در به حداکثر رساندن رضایت ذی‌نفعان دارند [۴]. برای مثال هنگام وقوع یک زلزله در یک کشور، کمک‌های مردمی از اقصی‌نقاط کشور برای ارسال به منطقه‌ی آسیب‌دیده آماده می‌شود و مدیریت این کمک‌ها کار پیچیده‌ای است که اگر به‌صورت مؤثر انجام نشود باعث تأخیر و یا حتی نرسیدن کمک‌ها به مناطق آسیب‌دیده می‌شود.

کاونهیه و همکاران [۵] یک چارچوب کلی برای فعالیت‌های لجستیک اضطراری و جریانات و تسهیلات مرتبط با آن‌ها ارائه داده‌اند (تصویر ۱).

از ارگان‌هایی که می‌توانند نقش به‌سزایی در هنگام وقوع بحران‌ها داشته باشند، نیروهای نظامی هستند که به علت توانمندی‌های بالقوه و ذاتی به‌منزله‌ی یک نیروی کمک‌کننده‌ی عملیاتی نقش کلیدی در پاسخ‌گویی به بحران‌ها دارند. این سازمان‌ها به لحاظ داشتن نیروهای متخصص و همچنین امکانات و تسهیلات مناسب، می‌توانند در تمام مراحل پاسخ و بازیابی کمک بسیار زیادی به آسیب‌دیدگان داشته باشند. از موارد دیگر در اختیار داشتن فضای کافی و مناسب است که در اختیار نیروهای نظامی است که در فجایع می‌تواند برای احداث نقاهتگاه، مورد استفاده قرار گیرد. در ضمن تأمین امنیت این نقاهتگاه یک مسئله‌ی مهم است که به‌وسیله‌ی نیروهای نظامی انجام‌پذیر است. همچنین استفاده از نیروهای موجود در محل، یکی از راه‌حل‌های مناسب برای انتقال کمک‌های امدادی و افراد آسیب‌دیده است.

نقش نیروهای مسلح در ارائه‌ی کمک‌های انسان‌دوستانه یک پدیده‌ی جدید نیست [۶، ۷]. نقش نیروهای نظامی در اقدامات انسان‌دوستانه دارای سابقه‌ای طولانی است؛ برای مثال می‌توان به بحران مربوط به کشور حبشه در سال ۳۶-۱۹۳۵ و خطوط هوایی برلین در سال ۱۹۴۸ اشاره کرد [۸، ۹]. افزایش به‌کارگیری منابع و قابلیت‌های نیروهای مسلح در پاسخ به بحران‌ها به دلیل افزایش وقوع بلایای طبیعی است [۱۰].

گسترش نیروهای نظامی در مناطق کشور، امکان استفاده‌ی فوری و منطقه‌ای از این نیروها را برای کمک‌رسانی در فجایع فراهم می‌کند. نیروهای نظامی توانایی گسترده‌ای برای منتقل کردن مقادیر زیاد منابع و نیروهای انسانی به منطقه‌ی آسیب‌دیده و جابه‌جایی این منابع در داخل منطقه دارند. نیروهای نظامی



تصویر ۱: چارچوب کلی برای فعالیت‌های اصلی لجستیک اضطراری [۵]

علاوه بر اینکه در زمینه‌ی حمل‌ونقل متکی‌به‌خود هستند می‌توانند برای کمک به انجام نقل و انتقالات سایر سازمان‌های امدادرسان کمک مؤثری کنند [۱۱]. بر این اساس محوریت و موضوع اصلی این پژوهش ارائه‌ی چارچوبی برای بهینه‌سازی تدارکات امدادرسانی و تخلیه‌ی مجروحان با در نظر گرفتن نقش نیروی زمینی ارتش است.

ادامه‌ی این مقاله به‌صورت زیر است: در بخش بعدی به‌مرور کارهای مرتبط انجام‌شده می‌پردازیم، سپس روش اجرای پژوهش را بیان می‌کنیم و بعد از آن رویکرد دومرحله‌ای برای حل مسئله ارائه داده می‌شود. سپس به تشریح مطالعه‌ی موردی می‌پردازیم و رویکرد ارائه داده‌شده را بر روی آن اعمال می‌کنیم. نتایج محاسباتی و یافته‌ها نیز بخش بعدی است و درنهایت، نتیجه‌گیری از انجام تحقیق را بیان می‌کنیم.

پیشینه‌ی پژوهش

در پی سونامی‌های سال ۲۰۰۴ در آسیا، لجستیک بشردوستانه هم ازلحاظ علمی و هم ازلحاظ عملی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. تا سال ۲۰۰۵ تنها تعداد انگشت‌شماری از مقالات در لجستیک بشردوستانه وجود داشت [۱]. کوَکس و اسپَنس [۱] و همچنین آلتای و گرین [۱۲] مروری بر کارهای انجام‌شده ارائه کردند. ازدامار و همکاران [۱۳] بیان می‌کنند که برنامه‌ریزی لجستیک اضطراری شامل اعزام کالاها (مواد پزشکی، تجهیزات تخصصی نجات، گروه‌های نجات، و غیره) به مراکز توزیع در مناطق آسیب‌دیده در اسرع وقت برای سرعت بخشیدن به عملیات امدادی است. حقانی و اُه [۱۴]، مسئله‌ی جریان شبکه‌ی چند کالایی و چندحالته با پنجره‌ی زمانی را به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی تک هدفه ارائه کردند. در مدل آن‌ها مسیریابی دقیق و زمان‌بندی[۳] حالت‌های موجود حمل‌ونقل، زمان‌بندی تحویل کالاهای مختلف و برنامه‌ی بارگیری برای هر یک از حالت‌های حمل‌ونقل تعیین می‌شود. هدف، به حداقل رساندن مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های تحویل کالا و هزینه‌های انتقال در تمام دوره‌های زمانی است. نات [۱۵] یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای مسئله‌ی حمل‌ونقل مواد غذایی فله پیشنهاد داد که در آن با استفاده‌ی بهینه از ناوگان وسایل نقلیه‌ی سنگین، هزینه‌ی حمل‌ونقل را به حداقل می‌رساند و میزان کالای تحویل داده‌شده را حداکثر می‌کند. فیدریچ و همکاران [۱۶] یک مدل بهینه‌سازی ترکیبی پویا و یک روش ابتکاری برای تعیین برنامه‌ریزی منابع بهینه برای تخصیص منابع به مناطق آسیب‌دیده پس از زلزله‌های قوی پیشنهاد دادند، که در آن تابع هدف، در طول دوره‌ی امداد و نجات است. تسیاکیس و همکاران [۱۷] یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای زنجیره‌ی تأمین چند محصولی، چند سطحی[۴] تحت عدم اطمینان تقاضا را در نظر گرفتند. کمپبل و همکاران [۱۸] خصوصیات مسائل مسیریابی وسایل نقلیه که متوسط آخرین زمان ورود کالا به مناطق آسیب‌دیده را به حداقل می‌رساند، بررسی کردند. مِته و زابینسکی [۱۹] حداقل کردن هزینه‌های کل تحویل به انبارها همراه با مجموع مدت‌زمان تحویل را در نظر گرفتند. نولز و همکاران [۲۰] و ون هنتنریک و همکاران [۲۱]، آخرین زمان ورود و مقدار کل تقاضای برآورده نشده را بررسی کردند. کلارک و کالکین [۲۲] و همچنین دی آنجلیس و همکاران [۲۳] حداقل کردن تقاضای کل برآورده نشده را در نظر گرفتند، اما این محدودیت را در نظر می‌گیرند که همه‌ی ذی‌نفعان حداقل مقدار کالا را دریافت خواهند کرد. یی و کومار [۲۴] از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان[۵] برای حل مسئله‌ی لجستیک امدادرسانی استفاده کردند. تزنگ و همکاران [۲۵] مسئله‌ی مربوط به توزیع کمک‌های امدادی را با استفاده از روش برنامه‌ریزی چند هدفه‌ی فازی فرموله کردند. شو [۲۶] یک مدل مدیریت امداد - تقاضا[۶] برای پاسخ پویا به نیازهای امدادی افراد آسیب‌دیده در شرایط اضطراری در یک فاجعه در مقیاس بزرگ پیشنهاد داد. یی و ازدامار [۲۷] یک مدل مسیریابی - مکان‌یابی[۷] یکپارچه برای لجستیک و عملیات تخلیه در پاسخ به موارد اضطراری و حوادث طبیعی ارائه داده‌اند. تابع هدف، حداکثر کردن سطح خدمت با امکان دسترسی سریع به مناطق آسیب‌دیده و مکان‌یابی مراکز درمانی موقت در سایت‌های مناسب است.

علی و کاندهرو [۲۸] به بررسی انواع بلایایی که کشور پاکستان با آن روبه‌رو است پرداخته‌اند و نقش ارتش پاکستان در مقابله با انواع بلایا را برجسته کرده‌اند. آن‌ها توصیه‌هایی برای ایجاد یک هماهنگی مؤثر بین سازمان‌های مرتبط در مقابله با بلایا، ازجمله ارتش، فراهم کرده‌اند. سینگ و تاندون [۲۹] نیز بیان می‌کنند که نقش اساسی نیروهای مسلح در مدیریت بحران انجام عملیات امداد و نجات و تخلیه‌ی مردم است. همچنین اشاره می‌کنند که نیاز به همکاری بهتر بین نیروهای مسلح و سازمان‌های دیگر درگیر در مدیریت بحران، برای انجام بهتر و مؤثرتر عملیات مربوط به امدادرسانی است.

در جدول ۱ نیز تفاوت تحقیق حاضر با سایر تحقیقات نشان داده شده است.

با بررسی پیشینه مشخص شد که یک رویکرد یکپارچه که بتوان به کمک آن مسئله‌ی امدادرسانی و تخلیه را انجام داد و نقش مهم نیروهای مسلح را نیز در نظر گرفت وجود ندارد که ما در این مسئله سعی در انجام این امر داریم.

روش اجرای پژوهش

همان‌طور که گفته شد، مکان‌یابی مراکز توزیع، سیستم توزیع کالاهای امدادی، مسیریابی وسایط نقلیه، تخصیص منابع و همچنین انتقال افراد آسیب‌دیده از موضوعات مهم امدادرسانی در هنگام وقوع بحران‌ها هستند. این تحقیق ازلحاظ هدف یک پژوهش کاربردی است، چراکه هدف از انجام آن، ارائه‌ی رویکردی است که بتوان به کمک آن تدارکات امدادرسانی و تخلیه‌ی مجروحان را به‌صورت بهینه انجام داد و نقش نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، علی‌الخصوص نیروی زمینی ارتش، را نشان داد. همچنین در این تحقیق از داده‌ها و آمارهای موجود در رابطه با زلزله‌ی آذربایجان شرقی در ۲۱ مرداد ۱۳۹۱ استفاده می‌کنیم. بعد از جمع‌آوری داده‌ها یک رویکرد دومرحله‌ای برای

جدول ۱: مقایسه‌ی تحقیق حاضر با تحقیقات پیشین

نویسنده	فاکتورهای در نظر گرفته‌شده									تابع هدف
	دومرحله‌ای	شدت جراحت افراد آسیب‌دیده	مکان‌یابی هاLCD	مکان‌یابی مراکز امدادی	تخلیه‌ی مجروحان	دستورالعمل دقیق وسایط نقلیه	تعیین مقدار کالای منتقل‌شده	تعیین تعداد افراد آسیب‌دیده منتقل‌شده	نقش نیروهای مسلح	
کمپبل و همکاران [۱۸]						✓	✓			حداقل کردن زمان حمل‌ونقل
فیدریچ و همکاران [۱۶]			✓				✓			حداقل کردن تعداد تسهیلات
جین و همکاران [۳۰]		✓			✓			✓		حداکثر کردن تعداد بازماندگان
حقانی و اُه [۱۴]						✓	✓			حداقل کردن هزینه‌های حمل‌ونقل و تحویل کالا
نات [۱۵]						✓	✓			حداقل کردن هزینه حمل‌ونقل
یی و کومار [۲۴]			✓			✓	✓			حداقل کردن تقاضای برآورده نشده
تزنگ و همکاران [۲۵]			✓			✓				حداقل کردن زمان و هزینه
یی و ازداماز [۲۷]	✓		✓			✓	✓			حداقل کردن تقاضای برآورده نشده
تحقیق حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	حداکثر کردن تعداد بازماندگان

بهینه‌سازی انتقال کالاهای امـدادی به مناطق آسیب‌دیده و تخلیه‌ی افراد آسیب‌دیده ارائه می‌کنیم که نقش نیروهای مسلح را، به‌منزله‌ی یک ارگان که نقش به‌سزایی در هنگام وقوع بحران‌ها دارد، در نظر می‌گیریم. ابتدا یک مدل عدد صحیح مختلط برای تعیین مقدار کالا و افراد منتقل‌شده توسعه داده می‌شود که وسایل نقلیه را به‌جای متغیر صفر و یک به‌صورت عدد صحیح در نظر می‌گیرد. پس از آن با استفاده از یک دستگاه معادلات خطی، دستورالعمل‌های دقیق برای وسایل نقلیه تعیین می‌شود. در مدل ارائه‌شده، شدت آسیب قربانیان و احتمال زنده ماندن آن‌ها، که با گذشت زمان کاهش می‌یابد، در نظر گرفته شده است. همچنین در مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه‌شده، مکان مراکز امـدادی موقت بـرای کمک‌های اولیه و مراکز توزیع محلی در نزدیکی مناطق آسیب‌دیده مشخص می‌شود.

تعداد وسایل نقلیه و همچنین تسهیلاتی که نیروی زمینی ارتـش جمهوری اسلامی ایـران در هنگام زلزله بـرای کمک به آسیب‌دیدگان در اختیار قرار داده است در این تحقیق مورد توجه قرار داده شده است. با حل مدل، نقش به‌سزای نیروی زمینی ارتش جمهوری اسلامی ایران در کمک به آسیب‌دیدگان و مدیریت بحران به‌خوبی نشان داده می‌شود.

رویکـرد دومرحلـه‌ای بـرای مسئله‌ی لجستیک واکنـش به بلایای طبیعی و انتقال افراد آسیب‌دیده در این مقاله یک مدل بهینه‌سازی برای تدارکات اضطراری و تخصیص منابع در شرایط بحـران با پنج لایـه (مراکز عرضه، مراکز توزیع محلی، مناطق آسیب‌دیده، مراکز درمانی موقت و بیمارستان‌ها) که در تصویر ۲ نشان داده شده است، ارائه می‌دهیم. شبکه شامل مراکز عرضه با محدودیت ظرفیت، مراکز توزیع محلی با محدودیت ظرفیت، مناطق آسیب‌دیده، مراکز درمانی موقت برای کمک‌های اولیه با منابع محدود پزشکی و محدودیت ظرفیت و بیمارستان‌ها است. فرض می‌کنیم که انواع مختلفی از افراد آسیب‌دیده با P_s مختلف در طول مدت‌زمان اولیه بعد از حادثه در مناطق آسیب‌دیده وجود

دارند. علاوه بر این، زمانی که افراد منتظر برای دریافت خدمات و درمان در ۱. مراکز درمانی موقت و ۲. بیمارستان‌ها هستند را در نظر می‌گیریم. موارد زیر نیز برای جریان افراد آسیب‌دیده در نظر گرفته می‌شود: ۱. انتقال از مناطق آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها از طریق مراکز درمانی موقت و ۲. انتقال به بیمارستان‌ها به‌طور مستقیم از مناطق آسیب‌دیده.

مرحله‌ی ۱: مدل‌سازی ریاضی

هدف مدل ارائه‌شده، هماهنگی حمل‌ونقل کالاها از مراکز عرضه به LDCها و حمل‌ونقل افراد آسیب‌دیده از مناطق آسیب‌دیده به مراکز درمانی است. همچنین یک گره‌ی مجازی، (گره‌ی θ)، برای مواجهه با در دسترس بودن وسایل نقلیه در افق برنامه‌ریزی، به شبکه اضافه می‌شود. این گره با هر گره‌ی عرضه که در آن وسایل نقلیه در آغاز افق برنامه‌ریزی و یا در طول عملیات در دسترس هستند، یک یال (با زمان پیمایش صفر) دارد.

اندیس‌ها و پارامترها

N مجموعه‌ی گره‌ها؛

T طول افق برنامه‌ریزی، $t= 1, 2, \ldots, T$

W مجموعه‌ی افراد آسیب‌دیده؛

E مجموعه‌ی انواع تقاضا $E = \{1, 2\}$

C مجموعه‌ی کالاهای امدادی؛

i مجموعه‌ی مکان‌های بالقوه برای احداث مراکز توزیع موقت در منطقه‌ی آسیب‌دیده؛ به‌منظور دریافت و ارسال کالا در میان مردم $i \subset N$

j مجموعه‌ی نقاط آسیب‌دیده، $j \subset N$

k مجموعه‌ی مراکز درمانی موقت که می‌توانند در نزدیکی مناطق آسیب‌دیده ایجاد شوند؛

m مجموعه‌ی بیمارستان‌های در دسترس؛

q مجموعه‌ی نقاط عرضه، $q \subset N$

V مجموعه‌ی انواع مختلف وسایل نقلیه و یا حالت‌های حمل‌ونقل؛

M یک عدد بسیار بزرگ؛

cap_v ظرفیت بارگیری وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع v

P_w اولویت درمان فرد آسیب‌دیده‌ی نوع w

$$P_w = \frac{k_w}{\sum_t \sum_j D^t{}_{wj}}$$

که k_w یک پارامتر انتزاعی مثبت است؛

W_c وزن واحد کالای نوع c

W_w میانگین وزن یک فرد آسیب‌دیده؛

D مورد حرکت مستقیم از مناطق آسیب‌دیده به بیمارستان؛

ID مورد حرکت از مناطق آسیب‌دیده به بیمارستان از طریق مراکز درمانی موقت؛

SO_{cq} ظرفیت کالای نوع c در مرکز عرضه q

CC_k ظرفیت مرکز درمانی موقت k

CH_m ظرفیت بیمارستان m

CV ظرفیت کل وسایل نقلیه؛

TC_w زمانی که یک فرد آسیب‌دیده‌ی نوع w در یک مرکز درمانی موقت منتظر دریافت کمک‌های اولیه است؛

TO_w زمانی که یک فرد آسیب‌دیده‌ی نوع w در یک بیمارستان تحت درمان قرار می‌گیرد؛

P^t_{wj} تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در زمان t در منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j پیدا شده‌اند؛

D^t_{wj} تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در زمان t در منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j منتظر انتقال هستند؛

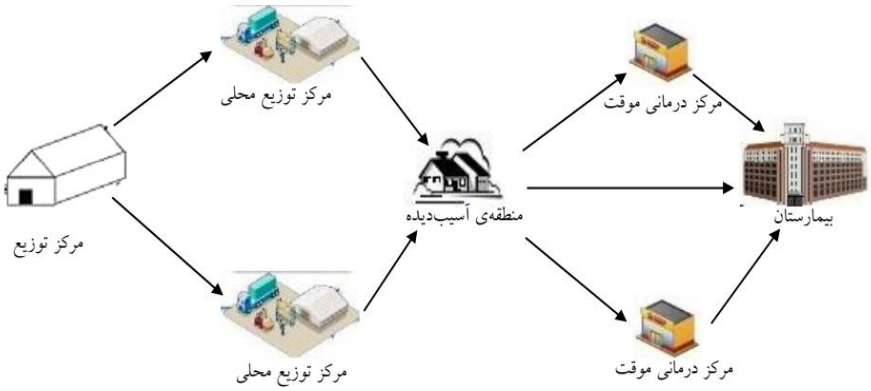
TM_{jmv} زمان حمل‌ونقل بین منطقه‌ی آسیب‌دیده j و بیمارستان m توسط وسیله نقلیه‌ی v

TM_{jkv} زمان حمل‌ونقل بین منطقه‌ی آسیب‌دیده j و مرکز درمانی موقت k توسط وسیله نقلیه‌ی v

TM_{kmv} زمان حمل‌ونقل بین منطقه‌ی مرکز درمانی موقت k و بیمارستان m توسط وسیله نقلیه‌ی v

$f_D(w,t)$ احتمال زنده ماندن افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w در زمان t در حالت D $(0 \le f_D(w,t) \le 1)$

$f_{ID}(w,t)$ احتمال زنده ماندن افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w در زمان دوره t در حالت ID $(0 \le f_{ID}(w,t) \le 1)$.



تصویر ۲: چارچوب شبکه‌ی در نظر گرفته‌شده

متغیرهای تصمیم

IC^t_{wk}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w در مرکز درمانی موقت k در پایان زمان t
ICC^t_{wk}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در حال درمان در مرکز درمانی موقت k در زمان t هستند.
IDS^t_{wj}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w در منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j در پایان زمان t
IH^t_{wm}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w در بیمارستان m در پایان زمان t
IM^t_{wjk}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در حال انتقال از منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j به مرکز درمانی موقت k هستند، در پایان زمان t
IM^t_{wjm}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در حال انتقال از منطقه‌ی آسیب‌دیده j به بیمارستان m هستند، در پایان زمان t
IM^t_{wkm}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در حال انتقال از مرکز درمانی موقت k به بیمارستان m هستند، در پایان زمان t
IOH^t_{wm}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در حال درمان در بیمارستان m در زمان t هستند.
WC^t_{wk}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در انتظار دریافت درمان در مرکز درمانی موقت k هستند، در پایان زمان t
$WH^t_{D,wm}$	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در انتظار دریافت درمان در بیمارستان m هستند (در حالت D)، در پایان زمان t
$WH^t_{ID,wm}$	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در انتظار دریافت درمان در بیمارستان m هستند (در حالت ID)، در پایان زمان t
PCC^t_{wk}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که شروع به دریافت درمان در مرکز درمانی موقت k می‌کنند، در پایان زمان t
$POH^t_{D,wm}$	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که شروع به دریافت درمان در بیمارستان m می‌کنند (در حالت D)، در پایان زمان t
$POH^t_{ID,wm}$	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که شروع به دریافت درمان در بیمارستان m می‌کنند (در حالت D)، در پایان زمان t
Q^t_{cqi}	مقدار کالای نوع c که در زمان t از مرکز عرضه q به مرکز توزیع i منتقل می‌شود.
A^t_{cij}	مقدار کالای نوع c که در زمان t از مرکز توزیع i به منطقه‌ی آسیب‌دیده j منتقل می‌شود.
x^t_{wjm}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در زمان t از منطقه‌ی آسیب‌دیده j به بیمارستان m منتقل می‌شوند.
x^t_{wjk}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در زمان t از منطقه‌ی آسیب‌دیده j به مرکز درمانی موقت k منتقل می‌شوند.
x^t_{wkm}	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در زمان t از مرکز درمانی موقت k به بیمارستان m منتقل می‌شوند.
V^t_{qiv}	تعداد وسایل نقلیه‌ی نوع v که در زمان t مسیر مرکز عرضه‌ی q به مرکز توزیع i را طی می‌کنند.
V^t_{ijv}	تعداد وسایل نقلیه‌ی نوع v که در زمان t مسیر مرکز توزیع i به منطقه‌ی آسیب‌دیده j را طی می‌کنند.
V^t_{jkv}	تعداد وسایل نقلیه‌ی نوع v که در زمان t مسیر منطقه‌ی آسیب‌دیده j به مرکز درمانی موقت k را طی می‌کنند.
V^t_{jmv}	تعداد وسایل نقلیه‌ی نوع v که در زمان t مسیر منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j به بیمارستان m را طی می‌کنند.
V^t_{kmv}	تعداد وسایل نقلیه‌ی نوع v که در زمان t مسیر مرکز درمانی موقت k به بیمارستان m را طی می‌کنند.
Z_i	برابر است با 1 اگر مرکز توزیع i احداث شود.

مدل ریاضی (مدل *P*)

رابطه‌ی ۱:

$$maximize \frac{\sum_{t=1}^{T}\sum_{w=1}^{W}\sum_{m=1}^{M} P_w\left(POH^t_{D,wm}\cdot f_D(\mathrm{w,t}) + POH^t_{ID,wm}\cdot f_{ID}(w,t)\right)}{\sum_{t=1}^{T}\sum_{w=1}^{W}\sum_{j=1}^{J} P^t_{wj}}$$

s.t

رابطه‌ی ۲:

$$IDS^t_{wj} = IDS^{t-1}_{wj} + P^t_{wj} - \left(\sum_m x^t_{wjm} + \sum_k x^t_{wjk}\right) \quad \forall w, j, t$$

رابطه‌ی ۳:

$$IC^t_{wk} = IC^{t-1}_{wk} + \sum_j x^{t-TM_{jk}}_{wjk} - \sum_m x^t_{wkm} \quad \forall w, k, t$$

رابطه‌ی ۴:

$$IH^t_{wm} = IH^{t-1}_{wm} + \sum_j\sum_k x^{t-TM_{jm}}_{wjm} - \sum_k x^{t-TM_{km}}_{wkm} - \left(POH^{t-TO_w}_{D,wm} + POH^{t-TO_w}_{ID,wm}\right) \quad \forall w, m, t$$

رابطه‌ی ۵:

$$IM^t_{wjm} = IM^{t-1}_{wjm} + x^t_{wjm} - x^{t-TM_{jm}}_{wjm} \quad \forall w, j, m, t$$

رابطه‌ی۶: $$IM^{t}_{wjk} = IM^{t-1}_{wjk} + x^{t}_{wjk} - x^{t-TM_{jk}}_{wjk} \quad \forall w, j, k, t$$

رابطه‌ی ۷: $$IM^{t}_{wkm} = IM^{t-1}_{wkm} + x^{t}_{wkm} - x^{t-TM_{km}}_{wkm} \quad \forall w, k, m, t$$

رابطه‌ی ۸: $$WC^{t}_{wk} = WC^{t-1}_{wk} + \sum_{j} x^{t-TM_{jk}}_{wjk} - PCC^{t}_{wk} \quad \forall w, k, t$$

رابطه‌ی ۹: $$WH^{t}_{D,wm} = WH^{t-1}_{D,wm} + \sum_{j} x^{t-TM_{jm}}_{wjm} - POH^{t}_{D,wm} \quad \forall w, m, t$$

رابطه‌ی۱۰: $$WH^{t}_{ID,wm} = WH^{t-1}_{ID,wm} + \sum_{k} x^{t-TM_{km}}_{wkm} - POH^{t}_{ID,wm} \quad \forall w, m, t$$

رابطه‌ی ۱۱: $$PCC^{t}_{wk} \le WC^{t-1}_{wk} + \sum_{j} x^{t-TM_{jk}}_{wjk} \quad \forall w, k, t$$

رابطه‌ی۱۲: $$POH^{t}_{D,wm} \le WH^{t-1}_{D,wm} + \sum_{j} x^{t-TM_{jm}}_{wjm} \quad \forall w, m, t$$

رابطه‌ی۱۳: $$POH^{t}_{ID,wm} \le WH^{t-1}_{ID,wm} + \sum_{j}\sum_{k} x^{t-TM_{op}}_{wjom} \quad \forall w, m, t$$

رابطه‌ی ۱۴: $$ICC^{t}_{wk} = ICC^{t-1}_{wk} + PCC^{t}_{wk} - PCC^{t-TC_{w}}_{wk} \quad \forall w, k, t$$

رابطه‌ی ۱۵: $$IOH^{t}_{wm} = IOH^{t-1}_{wm} + (POH^{t}_{D,wm} + POH^{t}_{ID,wm}) - (POH^{t-TO_{w}}_{D,wm} + POH^{t-TO_{w}}_{ID,wm}) \quad \forall w, m, t$$

رابطه‌ی ۱۶: $$\sum_{w} IC^{t}_{wk} \le CC_{k} \quad \forall t, k$$

رابطه‌ی ۱۷: $$\sum_{w} IH^{t}_{wm} \le CC_{m} \quad \forall t, m$$

رابطه‌ی ۱۸: $$x^{t}_{wjm} + x^{t}_{wjk} + x^{t}_{wkm} \le CV \quad \forall w, j, k, m, t$$

رابطه‌ی ۱۹: $$\sum_{q} Q^{t}_{cqi} = \sum_{j} A^{t}_{cij} \quad \forall i, c, t$$

رابطه‌ی۲۰: $$\sum_{i} Q^{t}_{cqi} \le SO_{cq} \quad \forall c, q, t$$

رابطه‌ی ۲۱: $$\sum_{q} Q^{t}_{cqi} \le Cap_{i} \quad \forall c, i, t$$

رابطه‌ی۲۲: $$Q^{t}_{cqi} \le B.Z_{i} \quad \forall c, q, i, t$$

رابطه‌ی۲۳: $$A^{t}_{cij} \le B.Z_{i} \quad \forall c, q, i, t$$

رابطه‌ی۲۴: $$V^{t}_{jkv} \le M.TM_{jk} \quad \forall j, k, v$$

رابطه‌ی۲۵: $$V^{t}_{jmv} \le M.TM_{jm} \quad \forall j, m, v$$

رابطه‌ی۲۶: $$V^{t}_{kmv} \le M.TM_{km} \quad \forall k, m, v$$

رابطه‌ی۲۷: $$\sum_{v} V^{t}_{qiv}.cap_{v} \ge \sum_{c} w_{c}.Q^{t}_{cqi} \quad \forall q, i, t$$

رابطه‌ی۲۸: $$\sum_{v} V^{t}_{ijv}.cap_{v} \ge \sum_{c} w_{c}.A^{t}_{cij} \quad \forall i, j, t$$

رابطه‌ی۲۹: $$\sum_{v} V^{t}_{jkv}.cap_{v} \ge \sum_{w} w_{w}.x^{t}_{wjk} \quad \forall j, k, t$$

رابطه‌ی۳۰: $$\sum_{v} V^{t}_{jmv}.cap_{v} \ge \sum_{w} w_{w}.x^{t}_{wjm} \quad \forall j, m, t$$

رابطه‌ی۳۱: $$\sum_{v} V^{t}_{kmv}.cap_{v} \ge \sum_{w} w_{w}.x^{t}_{wkm} \quad \forall k, m, t$$

تابع هدف در رابطه‌ی ۱ سعی در به حداکثر رساندن تعداد بازماندگان در میان افراد آسیب‌دیده دارد. فرض می‌کنیم که تمام افراد آسیب‌دیده در زمان صفر پیدا می‌شوند. تابع هدف تحت این فرض است که تمام افراد آسیب‌دیده دارای P_s مشابه هستند.

رابطه‌ی ۲ تعداد افراد آسیب‌دیده که منتظر انتقال از مناطق آسیب‌دیده هستند را نشان می‌دهد. معادلات ۳ و ۴ نیز به ترتیب تعداد افراد آسیب‌دیده که در انتظار برای دریافت درمان در مراکز درمانی موقت و بیمارستان‌ها هستند را توصیف می‌کند. معادلات ۵ تا ۷ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی معادلات تعادل برای تغییر در تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی در حال حرکت از مناطق آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها، از مناطق آسیب‌دیده به مراکز درمانی موقت و از مراکز درمانی موقت به بیمارستان‌ها است. تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی در حال انتظار برای درمان در مراکز درمانی موقت و بیمارستان‌ها به ترتیب در رابطه‌ی ۸ و ۹ توصیف شده است. رابطه‌ی ۱۰ نیز یک

رابطه‌ی تعادل برای تغییر در تعداد افراد آسیب‌دیده‌ای است که در حال انتظار برای درمان در بیمارستان‌ها هستند.

رابطه‌ی ۱۱ محدودیت تعداد افراد آسیب‌دیده‌ای است که می‌توانند در مراکز درمانی موقت درمان شوند. معادلات ۱۲ و ۱۳ نیز به ترتیب محدودیت در تعداد افراد آسیب‌دیده‌ای است که می‌توانند در موارد D و ID تحت درمان قرار گیرند. محدودیت ۱۴ یک رابطه‌ی تعادل برای تغییر در تعداد افراد آسیب‌دیده‌ای است که در حال دریافت درمان هستند. محدودیت ۱۵ نیز رابطه‌ی تعادل برای تغییرات در تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی تحت درمان در بیمارستان‌ها است.

محدودیت‌های ۱۶ و ۱۷ نیز به ترتیب ظرفیت‌های مراکز درمانی موقت و بیمارستان‌ها را نشان می‌دهد.

محدودیت ۱۸ بدان معنی است که تعداد کل افراد آسیب‌دیده که می‌توانند در زمان t انتقال یابند، نمی‌تواند از ظرفیت کل وسایل نقلیه‌ی در دسترس تجاوز کند.

محدودیت ۱۹ نشان می‌دهد که تمام کالاهایی که به یک مرکز توزیع امدادی فرستاده می‌شوند، باید آن مرکز را ترک کنند. رابطه‌ی ۲۰ نیز بیان می‌کند که تمام کالاهای امدادی که از یک گره‌ی عرضه به مراکز توزیع ارسال می‌شود، نمی‌تواند از ظرفیت گره‌ی عرضه بیشتر باشد. محدودیت ۲۱، محدودیت ظرفیت مراکز توزیع محلی را نشان می‌دهد.

معادلات ۲۲ و ۲۳ بیان می‌کنند که انتقال اقلام در صورتی امکان‌پذیر است که مرکز توزیع i وجود داشته باشد.

محدودیت‌های ۲۴ تا ۲۶ برنامه‌ی سفر هر نوع وسیله‌ی نقلیه برای انتقال افراد آسیب‌دیده را به مسیرهای موجود محدود می‌کند.

محدودیت‌های ۲۷ تا ۳۱ نیز مقادیر حمل‌ونقل را محدود به ظرفیت وسایل نقلیه می‌کند.

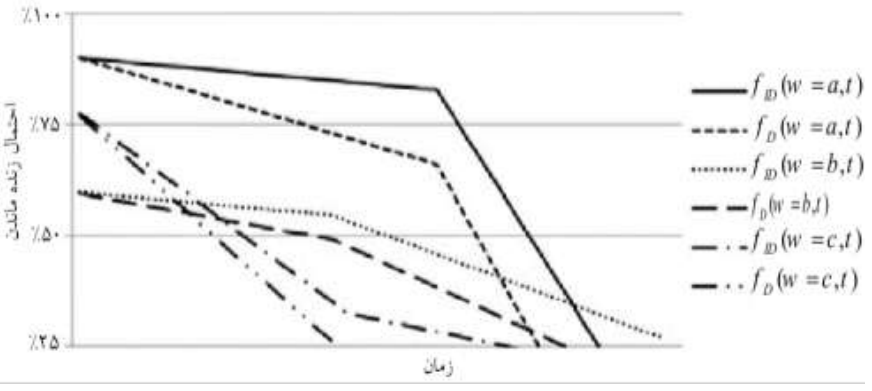
همچنین با توجه به مفاهیم شدت جراحت و احتمال زنده ماندن، ما سطح حاشیه را ٪۲۵ تعریف می‌کنیم. تصویر ۳ توزیع P_s را بر اساس نوع افراد آسیب‌دیده و اینکه آیا افراد به مراکز درمانی موقت انتقال داده شده‌اند یا خیر نشان می‌دهد. با این فرض که P_s افرادی که به مرکز درمانی موقت انتقال می‌یابند، تا حدودی کاهش می‌یابد، $f_{ID}(w=a,t)$ $f_D(w=a,t)$ به ترتیب متناظر با توابع P_s برای حالتی که به مراکز درمانی موقت انتقال داده شده‌اند و نشده‌اند است.

مرحله‌ی ۲: تولید مسیرهای وسایل نقلیه و دستورالعمل‌های بارگیری/تخلیه برای جواب‌های مرحله‌ی ۲

در مدل ارائه‌شده در مرحله‌ی دوم، وسایل نقلیه به‌عنوان کالا در نظر گرفته شده‌اند. جزئیات دستورات اعزام[8] برای وسایل نقلیه، با اجرای یک الگوریتم به نام «مسیر[9]» به دست می‌آید که جواب بهینه‌ی مرحله‌ی قبل را به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند و برنامه‌ی برداشت/ تحویل را برای هر وسیله‌ی نقلیه بدون تعیین مقدار بار، ایجاد می‌کند [۲۷]. پس از اجرای الگوریتم، مقادیر بارگیری/تخلیه توسط حل دستگاه معادلات خطی محاسبه می‌شود. اگرچه این سیستم معادلات شامل متغیرهای عدد صحیح برای افراد آسیب‌دیده است، حل آن در مقایسه با مدل P ساده‌تر است، به دلیل آن‌که یک ساختار خاص دارد و شامل هیچ‌گونه تصمیم‌گیری مسیریابی نیست. در نظر گرفتن جریان وسایل نقلیه به‌صورت جریان کالا کارایی مدل P را افزایش می‌دهد و این مسئله بسیار مهم است، چراکه در هنگام حوادث و بحران‌ها تعداد وسایل نقلیه‌ی مورد استفاده بسیار زیاد و افق برنامه‌ریزی کوتاه است.

ایجاد دستورالعمل‌های بارگیری/ تخلیه‌ی وسایل نقلیه برای هر برنامه‌ی سفر

این روش از مسیرهای هر وسیله‌ی نقلیه‌ی برچسب خورده برای تعیین مقادیر برداشت و تحویل در هر مسیر استفاده می‌کند. یک ماتریس به نام R تعریف می‌کنیم که عناصر صفر و یک آن S[v,o,t] نشان می‌دهد که یک وسیله‌ی نقلیه‌ی v در زمان t در گره o است یا خیر. نشان دادن زمان ضروری است، زیرا یک گره می‌تواند بیش از یک‌بار توسط وسیله‌ی نقلیه‌ی v در مسیرش در طول افق برنامه‌ریزی پیموده شود. در زیر، سیستم معادلات P_1 ارائه می‌شود که توسط حل آن، تعداد افراد و مقدار کالایی که توسط هر وسیله‌ی نقلیه در هر گره در مسیر وسیله‌ی نقلیه، بارگیری و تخلیه می‌شود.



تصویر ۳: تغییر در احتمال زنده ماندن بر اساس نوع آسیب‌دیدگی با توجه به زمان سپری‌شده

متغیرهای تصمیم

QP^t_{cov}: مقدار کالای نوع c که توسط وسیله‌ی نقلیه‌ی v در گره‌ی o در زمان t بارگیری شده است. $(o \subset q, i)$؛

QD^t_{cov}: مقدار کالای نوع c که توسط وسیله‌ی نقلیه‌ی v در گره‌ی o در زمان t تخلیه شده است. $(o \subset i, j)$؛

xp^t_{wov}: تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که توسط وسیله‌ی نقلیه‌ی v در گره‌ی o در زمان t بارگیری شده است. $(o \subset j, k)$؛

xd^t_{wov}: تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که توسط وسیله نقلیه‌ی v در گره‌ی o در زمان t تخلیه شده است. $(o \subset k, m)$؛

سیستم معادلات P_1

محدودیت ۳۲ بیان می‌کند که در هر دوره، تعداد تجمعی افراد آسیب‌دیده (نوع w) که توسط تمام وسایل نقلیه از گره‌ی o بارگیری می‌شوند باید با مقدار بهینه‌ی یافت شده در مدل P برابر باشد. محدودیت‌های ۳۳ نیز محدودیت‌های مشابه را برای کالاها نشان می‌دهد.

رابطه‌ی ۳۲:

$$\sum_{v}\sum_{t=1}^{T-1}[xp^t_{wov} - xd^t_{wov}] = \sum_{j}\sum_{m}\sum_{t=1}^{T-1}[x^t_{wjk} - x^t_{wkm}] \qquad \forall o, w, k$$

رابطه‌ی ۳۳:

$$\sum_{v}\sum_{t=1}^{T-1}[QP^t_{cov} - QD^t_{cov}] = \sum_{q}\sum_{j}\sum_{t=1}^{T-1}[Q^t_{cqi} - A^t_{cij}] \qquad \forall c$$

محدودیت‌های ۳۴ و ۳۵ شرایط خاتمه را نشان می‌دهند و تضمین می‌کنند که مقادیر بارگیری شده توسط هر وسیله‌ی نقلیه، برابر است با مقادیر تخلیه‌شده در پایان افق برنامه‌ریزی.

رابطه‌ی ۳۴:

$$\sum_{o}\sum_{t=1}^{T}[xp^t_{wov} - xd^t_{wov}] = 0 \qquad \forall v, w$$

رابطه‌ی ۳۵:

$$\sum_{o}\sum_{t=1}^{T}[QP^t_{cov} - QD^t_{cov}] = 0 \qquad \forall c, v, i$$

محدودیت ۳۶ بیانگر آن است که یک وسیله‌ی نقلیه می‌تواند از/ به یک گره بارگیری/ تخلیه کند، اگر و تنها اگر در آن زمان در آن گره باشد.

رابطه‌ی ۳۶:

$$\sum_{w}[xp^t_{wov} + xd^t_{wov}] + \sum_{c} QP^t_{cov} + QD^t_{cov} \le S[v, o, t].B \qquad \forall o, v, t$$

مجموعه محدودیت‌های ۳۷ نیز محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه را نشان می‌دهد.

رابطه‌ی ۳۷:

$$\sum_{w}\sum_{o}\sum_{t=1}^{T}W_w[xp^t_{wov} - xd^t_{wov}] + \sum_{c}\sum_{o}\sum_{t=1}^{T}W_c[QP^t_{cov} - QD^t_{cov}] \le cap_v \qquad \forall v$$

رابطه‌ی ۳۸:

$$XP^t_{woi}, XD^t_{woi} \ge 0 \quad \text{and} \quad \text{integer};$$
$$QP^t_{Eoi}, QD^t_{Eoi} \ge 0$$

مقادیر بهینه‌ی بارگیری و تخلیه‌ی هر وسیله‌ی نقلیه با حل P_1 تعیین می‌شود. P_1 یک سیستم معادلات عدد صحیح مختلط نسبتاً آسان است که فضای شدنی آن محدود به پارامترهای X^{t*}_{wop} و Q^{t*}_{cop} به‌دست‌آمده از مدل P است.

اعمال رویکرد دومرحله‌ای ارائه‌شده بر روی یک مطالعه‌ی موردی زلزله

برای نشان دادن کارایی رویکرد ارائه‌شده، یک مطالعه‌ی موردی از زلزله‌ی آذربایجان شرقی در سال ۱۳۹۱ ارائه می‌کنیم.

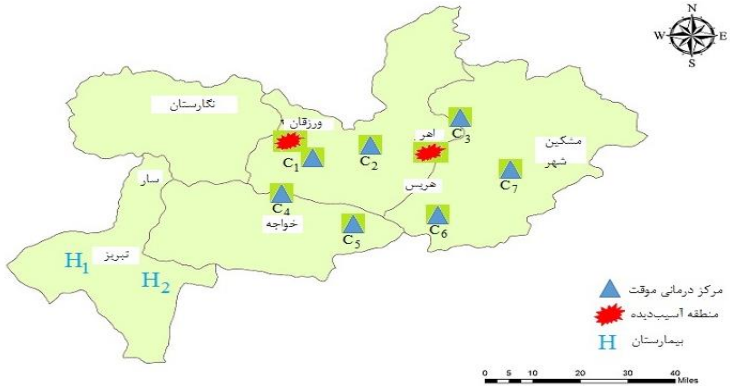
تشریح مطالعه‌ی موردی

در این زلزله که در ۲۱ مرداد ۱۳۹۱ رخ داد، حداقل ۳۰۰ نفر جان خود را از دست دادند و بیش از ۳۰۰۰ نفر دچار آسیب‌دیدگی شدند [۳۰] که به درمان اضطراری احتیاج داشتند و با انواع آسیب‌دیدگی طبقه‌بندی شدند. در آن زمان، هفت مرکز درمانی موقت، دو بیمارستان، سه مرکز عرضه و ده LDC قابل تأسیس وجود داشت (تصویرهای ۴ و ۵). از اهالی منطقه‌ی زلزله‌زده‌ی شهرهای اهر، ورزقان و هریس نیز به کرات شنیدیم که نیروهای نظامی اعم از ارتش، سپاه و نیروی انتظامی آن شب پر وحشت و اضطراب شنبه ۲۱ مرداد، مردانه مردم را تنها نگذاشتند [۳۱].

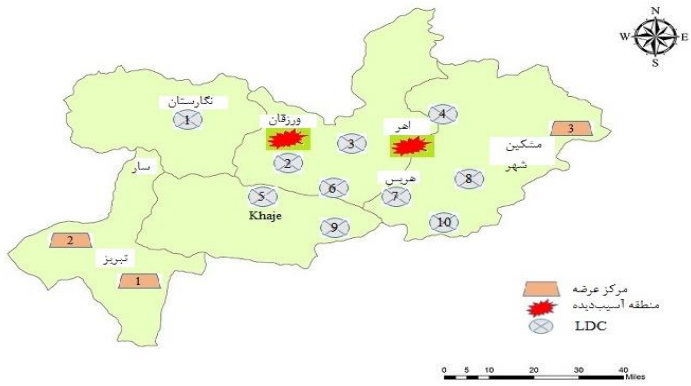
دو روز نخست پس از زلزله بسیار مهم است و به همین علت ما افق برنامه‌ریزی را دو روز و دوره‌های زمانی را هر ۸ ساعت انتخاب می‌کنیم و درنتیجه ۶ دوره‌ی زمانی خواهیم داشت. تمام داده‌های مورد استفاده در این مطالعه در جدول‌های ۲ تا ۱۳ نشان داده شده است.

با توجه به شدت جراحات وارده بر افراد، ۴ نوع آسیب‌دیدگی تعریف می‌کنیم. فرض می‌کنیم که افراد آسیب‌دیده‌ی نوع ۱ می‌توانند در منطقه‌ی آسیب‌دیده درمان شوند و افراد آسیب‌دیده‌ی نوع ۲ و ۳ می‌توانند هم در مراکز درمانی موقت و هم در بیمارستان‌ها درمان شوند و افراد آسیب‌دیده‌ی نوع ۴ باید به بیمارستان منتقل شوند.

در جدول‌های ۳ تا ۵ زمان حمل‌ونقل بین مناطق آسیب‌دیده و مراکز درمانی موقت و بیمارستان‌ها توسط وسایل نقلیه‌ی متفاوت نشان داده شده است. سه نوع وسیله‌ی نقلیه وجود دارد: بالگرد که می‌تواند افراد آسیب‌دیده و دارو را حمل‌ونقل کند، کامیون که مواد غذایی را حمل‌ونقل می‌کند و آمبولانس که برای انتقال افراد آسیب‌دیده است.



تصویر ۴: مکان مراکز امدادی موقت و بیمارستان‌ها



تصویر ۵: مکان مراکز عرضه و LDCهای ممکن

جدول ۲: تعداد افراد پیداشده در هر دوره‌ی زمانی در مناطق آسیب‌دیده

			نوع آسیب‌دیدگی			
			W_1	W_2	W_3	W_4
		۱	۷۰	۱۱۶	۱۲۳	۱۴۰
		۲	۳۴	۸۰	۷۵	۱۳۵
اهر	زمان	۳	۲۱	۶۷	۸۲	۹۴
		۴	۴۰	۷۱	۶۷	۱۰۸
		۵	۱۲	۴۰	۴۶	۳۹
		۶	۱۸	۴۱	۳۸	۶۳
		۱	۴۳	۱۱۰	۷۹	۱۳۸
		۲	۳۱	۶۸	۳۹	۱۱۷
ورزقان	زمان	۳	۱۴	۶۳	۶۴	۸۲
		۴	۴۵	۵۸	۴۶	۱۰۴
		۵	۱۱	۳۸	۴۶	۳۰
		۶	۱۶	۲۹	۴۰	۴۹

جدول ۳: زمان حمل‌ونقل (دقیقه) بین مناطق آسیب‌دیده و مراکز درمانی موقت و بیمارستان‌ها

		بیمارستان		مراکز امداد موقت						
	وسیله‌ی نقلیه	H_1	H_2	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
اهر	آمبولانس	۶۳	۵۷	۳۸	۲۷	۱۴	۵۰	۴۵	۴۱	۳۱
	بالگرد	۳۵	۳۶	۱۸	۱۲	۷	۲۸	۲۰	۱۸	۱۵
ورزقان	آمبولانس	۵۰	۵۴	۱۵	۲۸	۴۲	۳۵	۴۴	۵۶	۵۲
	بالگرد	۲۸	۳۱	۸	۱۳	۲۰	۱۶	۱۹	۳۵	۲۹

جدول ۴: زمان حمل‌ونقل بین مراکز درمانی موقت و بیمارستان‌ها توسط بالگرد

مرکز درمانی موقت	بیمارستان	
	H_1	H_2
C_1	۲۰	۲۳
C_2	۳۱	۲۸
C_3	۴۲	۴۳
C_4	۱۷	۱۴
C_5	۲۰	۱۵
C_6	۳۴	۳۷
C_7	۳۹	۴۰

جدول ۵: زمان حمل‌ونقل بین مراکز درمانی موقت و بیمارستان‌ها توسط آمبولانس

مراکز درمانی موقت	بیمارستان	
	H_1	H_2
C_1	۳۵	۳۹
C_2	۴۶	۳۹
C_3	۵۰	۴۳
C_4	۲۴	۳۱
C_5	۲۹	۲۵
C_6	۳۶	۳۱
C_7	۶۹	۵۲

جدول ۶: حداکثر ظرفیت مراکز درمانی موقت (نفر)

	مراکز درمانی موقت						
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
حداکثر ظرفیت	۱۸	۱۵	۲۶	۲۰	۱۷	۱۴	۲۲

جدول ۷: حداکثر ظرفیت بیمارستان‌ها (نفر)

	بیمارستان	
	H_1	H_2
حداکثر ظرفیت	۹۰	۸۵

جدول ۸: زمان درمان در مراکز درمانی موقت و بیمارستان برحسب نوع آسیب‌دیدگی (دقیقه)

	نوع آسیب‌دیدگی			
	w_1	w_2	w_3	w_4
مراکز درمانی موقت	۴	۱۵	۱۷	–
بیمارستان	–	–	–	۳۴

حداکثر ظرفیت مراکز درمانی موقت و بیمارستان‌ها در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده است. زمان درمان در مراکز درمانی موقت و بیمارستان‌ها نیز برحسب نوع آسیب‌دیدگی در جدول ۸ نشان داده شده است.

همچنین تقاضا و عرضه برای اقلام امدادی به ترتیب در جداول ۹ تا ۱۲ نشان داده شده است. همچنین در جدول ۱۳، ظرفیت حمل‌ونقل وسایل نقلیه برای هر نوع وسیله‌ی نقلیه نشان داده شده است. در ابتدا مجموعاً ۱۱۲۵ وسیله‌ی نقلیه وجود دارد که اکثر آن‌ها کامیون است.

از تعداد ۸۷۰ کامیون موجود، تعداد ۲۳۵ کامیون مربوط به نیروی زمینی ارتش است. همچنین تعداد ۳۰ بالگرد از ۱۴۰ بالگرد موجود و تعداد ۲۴ آمبولانس از ۱۱۵ آمبولانس موجود نیز متعلق به نیروی زمینی ارتش جمهوری اسلامی ایران است. این تعداد از امکانات و تسهیلاتی که نیروی زمینی برای کمک به امدادرسانی در اختیار افراد آسیب‌دیده گذاشته است بسیار مهم است و نشان‌دهنده‌ی نقش نیروها در هنگام وقوع بلایا است.

ما دو کالای امدادی اصلی (E_1 و E_2)، و اقلام پزشکی را در نظر می‌گیریم و برای راحتی، میزان تقاضا و عرضه آن‌ها را در واحد معادل مردم[10] ارائه می‌کنیم. توجه داشته باشید که کالاهای امدادی را به دو گروه اصلی دسته‌بندی می‌کنیم: تقاضای نوع ۱ (E_1) که یک‌بار و در آغاز افق برنامه‌ریزی رخ می‌دهد مانند چادر،

جدول ۹: تقاضا برای اقلام امدادی (معادل مردم)

گره	t=1			t=2			t=3			t=4			t=5			t=6		
	E_1	E_2	اقلام پزشکی	E_1	E_2	اقلام پزشکی	E_1	E_2	اقلام پزشکی	E_1	E_2	اقلام پزشکی	E_1	E_2	اقلام پزشکی	E_1	E_2	اقلام پزشکی
اهر	۴۵۰	۲۸۴۰۰	۷۳۰	۳۳۵	۲۱۶۰۰	۳۷۰	۲۷۳	۲۰۲۸۰	۲۴۰	۲۹۵	۱۳۰۰۰	۴۳۰	۱۴۵	۱۰۴۵۰	۱۵۰	۱۶۸	۹۷۲۰	۲۱۰
ورزقان	۳۷۵	۱۳۹۰۰	۴۶۰	۲۶۰	۱۲۶۸۰	۳۴۰	۲۱۴	۱۰۲۳۰	۱۷۰	۲۴۴	۹۲۶۰	۴۸۰	۱۱۷	۸۳۲۰	۱۴۰	۱۲۶	۷۱۴۰	۱۹۰
C_1	–	۱۳۰۰	۲۵۰	–	۱۱۰۰	۲۴۰	–	۸۵۰	۲۰۰	–	۷۷۰	۲۲۰	–	۶۹۰	۱۵۰	–	۵۹۰	۱۷۰
C_2	–	۱۲۳۰	۲۶۰	–	۱۱۲۰	۲۱۰	–	۹۳۰	۱۹۰	–	۸۴۰	۲۳۰	–	۷۹۰	۲۰۰	–	۶۲۰	۱۳۰
C_3	–	۱۱۵۰	۲۵۰	–	۱۰۷۰	۲۲۰	–	۸۷۰	۲۰۰	–	۷۲۰	۲۲۰	–	۶۳۰	۱۸۰	–	۵۳۰	۱۴۰
C_4	–	۱۲۲۰	۲۲۰	–	۱۱۳۵	۲۰۰	–	۹۰۰	۱۸۰	–	۷۹۰	۲۱۰	–	۶۸۰	۱۷۰	–	۵۴۰	۱۵۰
C_5	–	۱۲۰۰	۲۰۰	–	۱۱۲۵	۱۸۰	–	۱۰۱۰	۱۵۰	–	۸۹۰	۲۰۰	–	۸۵۰	۱۸۰	–	۷۶۰	۱۲۰
C_6	–	۵۷۰	۱۹۰	–	۴۹۰	۱۶۰	–	۴۱۰	۱۳۰	–	۳۳۰	۱۶۰	–	۲۹۰	۱۴۰	–	۱۷۰	۱۰۰
C_7	–	۱۱۳۰	۲۴۰	–	۱۱۰۰	۱۱۰	–	۸۷۰	۹۰	–	۶۷۰	۱۱۰	–	۶۲۰	۹۰	–	۵۰۰	۷۰
H_1	–	–	۱۴۲۰	–	–	۱۳۸۰	–	–	۱۳۰۰	–	–	۱۳۶۵	–	–	۹۳۰	–	–	۹۱۰
H_2	–	–	۱۳۵۰	–	–	۱۲۳۰	–	–	۱۲۷۵	–	–	۱۳۵۰	–	–	۸۹۰	–	–	۸۷۵

جدول ۱۰: مقادیر عرضه‌ی کالای E_1 (معادل مردم)

زمان	مرکز عرضه		
	۱	۲	۳
۱	۲۹۰	۲۵۰	۲۳۰
۲	۱۸۵	۱۵۰	۲۰۰
۳	۱۹۳	۹۷	۱۳۰
۴	۲۱۳	۱۳۰	۱۱۷
۵	۹۵	۶۳	۷۶
۶	۸۷	۱۰۲	۷۳
کل عرضه	۱۰۶۳	۷۹۲	۸۲۶

جدول ۱۱: مقادیر عرضه‌ی کالای E_2 (معادل مردم)

زمان	مرکز عرضه		
	۱	۲	۳
۱	۱۷۵۰۰	۱۵۸۰۰	۱۳۳۰۰
۲	۱۴۶۳۰	۱۲۶۸۰	۱۰۰۲۰
۳	۱۲۱۲۰	۱۱۵۰۰	۷۵۸۰
۴	۸۷۰۰	۷۸۷۰	۷۶۳۰
۵	۸۰۵۰	۶۹۷۰	۴۸۸۰
۶	۶۲۳۰	۵۶۵۰	۳۳۲۰
کل عرضه	۶۷۲۳۰	۶۰۴۷۰	۴۶۷۳۰

جدول ۱۲: مقادیر عرضه‌ی اقلام پزشکی (معادل مردم)

زمان	مرکز عرضه		
	۱	۲	۳
۱	۱۸۲۰	۱۶۷۵	۱۵۵۵
۲	۱۶۱۰	۱۳۵۰	۱۰۸۰
۳	۱۲۹۵	۱۲۵۰	۱۱۵۵
۴	۲۱۰۰	۱۴۷۰	۹۴۰
۵	۱۰۲۵	۹۷۰	۸۴۵
۶	۹۱۵	۷۶۰	۹۹۵
کل عرضه	۸۷۶۵	۷۴۷۵	۶۵۷۰

جدول ۱۳: ظرفیت وسایل نقلیه‌ی حمل‌ونقل

در دسترس بودن وسیله‌ی نقلیه (٪)	ظرفیت کل				
	W_3+W_2	W_1	E_1	E_2	اقلام پزشکی
بالگرد (۱۰/۲۳)	۷۴۰	۳۰۵	به‌ندرت	به‌ندرت	فراوان
کامیون (۷۷/۳۷)	–	–	فراوان	فراوان	به‌ندرت
آمبولانس (۱۲/۴۰)	۱۲۰۰	۲۳۰	–	–	–

پتو و ... . تقاضای نوع ۲ (E_2) که به‌طور منظم مصرف می‌شوند و در طول افق برنامه‌ریزی رخ می‌دهند (برای مثال مواد غذایی).

مجموع تقاضای کالای E_1 به ترتیب برابر با ۸۲۵، ۵۹۵، ۴۸۷، ۵۰۹، ۲۶۲ و ۲۹۴ در دوره‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ است. مقادیر تقاضای E_2 نیز در دوره‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب برابر با ۵۰۱۰۰، ۴۱۴۲۰، ۳۶۳۵۰، ۲۷۲۷۰، ۲۳۳۲۰ و ۲۰۵۷۰ است.

همچنین مجموع تقاضای اقلام پزشکی به ترتیب برابر با ۵۶۰۰، ۴۶۴۰، ۴۱۲۵، ۴۹۷۵، ۳۲۲۰، و ۳۰۶۵ در دوره‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، و ۶ است.

تقاضای کل E_1، E_2 و اقلام پزشکی به ترتیب برابر با ۲۹۷۲، ۱۹۹۰۳۰ و ۲۵۶۲۵ است.

جدول ۱۴: تعداد وسایل نقلیه‌ی مورد استفاده در هر زمان

زمان	بالگرد	آمبولانس	کامیون
۱	۱۰۶	۱۲۵	۷۰۰
۲	۷۴	۹۸	۷۵۰
۳	۱۱۰	۱۱۵	۶۵۰
۴	۱۰۳	۱۳۰	۷۲۰
۵	۱۰۲	۱۰۰	۶۰۰
۶	۶۵	۷۵	۵۵۰

جدول ۱۵: تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی منتقل‌شده به مراکز درمانی از منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی اهر

	زمان	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	H_1	H_2
	۱	–	۱۸۹	۱۹	–	–	–	۱۷	۵۶	۷۰
	۲	–	۱۱۴	۱۵	–	–	–	۱۴	۵۸	۶۵
از اهر به	۳	–	۱۰۸	۱۶	–	–	–	۱۱	۳۰	۵۰
	۴	–	۱۰۳	۱۳	–	–	–	۱۰	۴۳	۵۳
	۵	–	۵۸	۱۰	–	–	–	۸	۱۳	۱۶
	۶	–	۶۵	۸	–	–	–	۶	۲۵	۳۰

جدول ۱۶: تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی منتقل‌شده به مراکز درمانی از منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی اهر

	زمان	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	H_1	H_2
	۱	۱۵۳	۱۷	–	۵	–	–	–	۶۰	۶۱
	۲	۷۰	۱۳	–	۱۲	–	–	–	۵۴	۵۱
از ورزقان به	۳	۸۳	۱۸	–	۱۲	–	–	–	۳۶	۳۲
	۴	۶۷	۱۴	–	۱۱	–	–	–	۴۶	۴۶
	۵	۵۳	۱۲	–	۹	–	–	–	۱۰	۱۰
	۶	۴۳	۱۰	–	۸	–	–	–	۲۱	۲۰

عرضه‌ی کل E_1، E_2 و اقلام پزشکی نیز به ترتیب برابر با ۲۶۸۱، ۱۷۴۴۳۰ و ۲۲۸۱۰ است.

نتایج محاسباتی و یافته‌ها

نتایج حاصل از مراحل ۲ و ۳ در جداول ۱۴-۲۰ خلاصه شده است. مدل در یک لپ‌تاپ با پردازنده‌ی Core i7 1.66 گیگاهرتز و ۴ گیگابایت حافظه اجرا و از طریق نرم‌افزار GAMS و حل‌کننده‌ی Cplex حل شده است.

در جدول ۱۴، تعداد وسایل نقلیه‌ی مورد استفاده در طول افق برنامه‌ریزی نشان داده شده است. به دلیل محدودیت عرضه و این واقعیت که ظرفیت کامیون‌ها بسیار بیشتر از نیاز حمل‌ونقل اقلام امدادی موجود است، نسبت استفاده از کامیون‌ها کمتر از بالگردها و آمبولانس‌ها است. تعداد افراد آسیب‌دیده که در هر زمان از مناطق آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها و مراکز امدادی موقت منتقل شده‌اند در جداول ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که حمل‌ونقل از مناطق آسیب‌دیده به مراکز امدادی موقت و بیمارستان‌ها به ترتیب توسط آمبولانس و بالگرد انجام می‌شود. همان‌طور که از جداول ۱۵ و ۱۶ مشاهده می‌شود، مراکز امدادی موقت C_5 و C_6 مورد استفاده قرار نگرفته‌اند که به دلیل فاصله‌ی زیاد این تسهیلات از مناطق فاجعه است.

برای منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی اهر، مراکز امدادی موقت C_2، C_3 و C_7 با توجه به فاصله‌ی کوتاه این تسهیلات از منطقه‌ی فاجعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین به‌طور مشابه برای منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی ورزقان، مراکز امدادی موقت C_1، C_2 و C_4 مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مرکز امدادی موقت C_2 برای هر دو منطقه‌ی آسیب‌دیده استفاده می‌شود، چراکه این مرکز تقریباً بین دو منطقه‌ی آسیب‌دیده است.

توجه داشته باشید که اگر زیرساخت‌های بین مناطق آسیب‌دیده و سایر مراکز امدادی موقت مختل شود می‌توان از مراکز امدادی موقت C_5 و C_6 استفاده کرد.

تعداد افراد در حال انتظار (طول صف) در بیمارستان‌ها و مراکز امدادی موقت در جدول ۱۷ نشان داده شده است. در مقایسه با تعداد کل افراد آسیب‌دیده‌ی منتقل‌شده از مناطق فاجعه (جداول ۱۵-۱۶) به مراکز درمانی، طول صف قابل اغماض است. در جدول ۱۷ کاهش در طول صف بعد از دوره‌ی سوم دیده می‌شود، که نشان‌دهنده‌ی آن است که سیستم به حالت پایدار[11] رسیده است.

مقدار کالای E_2 که در هر زمان از مراکز عرضه به LDCها انتقال یافته است نیز در جداول ۱۸-۲۰ ارائه شده است. همان‌طور که در جداول ۱۸-۲۰ نشان داده شده است، LDCهای شماره‌ی ۱، ۵، ۹ و ۱۰ به دلیل فاصله‌ی آن‌ها با مناطق آسیب‌دیده انتخاب

جدول ۱۷: تعداد افراد در حال انتظار (طول صف) در مراکز درمانی در زمان‌های مختلف

زمان	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	H_1	H_2
۱	۱۴	۱۵	۱۳	–	–	–	۱۳	۱۶	۱۵
۲	۱۱	۱۲	۱۰	–	–	–	۱۱	۱۳	۱۲
۳	۱۲	۱۳	۱۲	–	–	–	۱۲	۱۴	۱۳
۴	۸	۱۰	۸	–	–	–	۹	۱۱	۱۰
۵	۶	۸	۵	–	–	–	۷	۸	۷
۶	۴	۵	۳	–	–	–	–	۵	۴

جدول ۱۸: مقدار کالای منتقل‌شده‌ی E_2 از مرکز عرضه‌ی ۱ به LDCها

						LDC					
	زمان	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
	۱	–	۷۵۰۰	۱۵۰۰	۶۰۰۰	–	۱۰۰۰	۸۰۰	۷۰۰	–	–
	۲	–	۵۷۰۰	۱۳۰۰	۵۲۰۰	–	۹۵۰	۸۰۰	۶۴۰	–	–
از مرکز عرضه به	۳	–	۵۰۰۰	۱۰۷۰	۴۷۰۰	–	۵۰۰	۵۰۰	۳۵۰	–	–
	۴	–	۳۷۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	–	۹۰۰	۶۰۰	۵۰۰	–	–
	۵	–	۳۷۵۰	۹۵۰	۱۹۵۰	–	۸۰۰	۴۰۰	۲۰۰	–	–
	۶	–	۳۰۰۰	۸۵۰	۱۷۰۰	–	۳۰۰	۲۰۰	۱۸۰	–	–

جدول ۱۹: مقدار کالای منتقل‌شده‌ی E_2 از مرکز عرضه‌ی ۲ به LDCها

						LDC					
	زمان	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
	۱	–	۶۸۰۰	۱۷۰۰	۵۶۰۰	–	۸۰۰	۵۰۰	۴۰۰	–	–
	۲	–	۵۱۰۰	۱۳۰۰	۴۰۵۰	–	۹۵۰	۷۰۰	۵۸۰	–	–
از مرکز عرضه به	۳	–	۴۵۵۰	۱۱۲۰	۳۱۰۰	–	۹۷۰	۹۰۰	۸۶۰	–	–
	۴	–	۳۷۰۰	۹۷۰	۲۰۵۰	–	۵۰۰	۳۵۰	۳۰۰	–	–
	۵	–	۳۱۰۰	۹۱۰	۱۷۶۰	–	۵۰۰	۴۰۰	۳۰۰	–	–
	۶	–	۲۳۲۰	۸۳۰	۱۲۰۰	–	۴۷۰	۴۳۰	۴۰۰	–	–

جدول ۲۰: مقدار کالای منتقل‌شده‌ی E_2 از مرکز عرضه‌ی ۳ به LDCها

						LDC					
	زمان	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
	۱	–	۴۴۰۰	۱۵۰۰	۵۷۰۰	–	۸۰۰	۴۰۰	۵۰۰	–	–
	۲	–	۳۳۵۰	۹۰۰	۴۸۰۰	–	۴۰۰	۳۰۰	۲۷۰	–	–
از مرکز عرضه به	۳	–	۲۲۵۰	۹۵۰	۳۳۲۰	–	۵۰۰	۴۳۰	۴۰۰	–	–
	۴	–	۲۲۶۰	۹۷۰	۳۳۳۰	–	۵۰۰	۴۴۰	۴۰۰	–	–
	۵	–	۱۱۰۰	۹۱۰	۱۸۹۰	–	۳۰۰	۴۰۰	۲۸۰	–	–
	۶	–	۷۵۰	۶۳۰	۱۱۰۰	–	۲۶۰	۳۰۵	۲۷۵	–	–

نشده‌اند. همچنین مشاهده می‌شود که انتقال عمده‌ی مراکز عرضه به LDCهای ۲ و ۴ است و این به دلیل این واقعیت است که این LDCها فاصله‌ی کوتاه‌تری از مناطق آسیب‌دیده دارند. بسیاری از منابع نیز از مراکز عرضه‌ی ۱ و ۲ به LDC شماره‌ی ۲ منتقل می‌شوند، چراکه این LDC در نزدیکی منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی ورزقان است؛ و به همین ترتیب بسیاری از منابع از مرکز عرضه‌ی ۳ به LDC شماره‌ی ۴ منتقل می‌شوند، چراکه این LDC در نزدیکی منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی اهر است.

نتیجه‌گیری

از مهم‌ترین فعالیت‌ها در هنگام وقوع یک بحران، فعالیت‌های لجستیک اقلام امدادی و رساندن این اقلام به آسیب‌دیدگان و انتقال افراد آسیب‌دیده به مراکز درمانی است. نیروهای نظامی به علت توانمندی‌های بالقوه و ذاتی به‌منزله‌ی یک نیروی کمک‌کننده‌ی عملیاتی نقش کلیدی در پاسخ‌گویی به بحران‌ها دارند. در این تحقیق، یک رویکرد دومرحله‌ای برای حل مسئله‌ی تدارکات امدادرسانی و فعالیت‌های تخلیه در واکنش به بلایای

طبیعی با در نظر گرفتن نقش نیروهای مسلح ارائه شد. در مرحله‌ی اول، یک مدل عدد صحیح مختلط برای تعیین مقدار کالا و افراد منتقل‌شده توسعه داده شد که وسایل نقلیه را به‌جای متغیر صفر و یک به‌صورت عدد صحیح در نظر می‌گیرد. همچنین در مدل ارائه‌شده شدت آسیب قربانیان و احتمال زنده ماندن آن‌ها، که با گذشت زمان کاهش می‌یابد، در نظر گرفته شد. تابع هدف سعی در به حداکثر رساندن تعداد بازماندگان در میان افراد آسیب‌دیده دارد. همچنین در مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه‌شده، مکان مراکز امدادی موقت برای کمک‌های اولیه و مراکز توزیع محلی در نزدیکی مناطق آسیب‌دیده مشخص می‌شود. پس از آن جواب‌ها و خروجی مرحله‌ی اول به مرحله‌ی دوم وارد شدند و با استفاده از یک دستگاه معادلات خطی، دستورالعمل‌های دقیق برای وسایل نقلیه تعیین شد. درنهایت، رویکرد دومرحله‌ای ارائه‌شده را بر روی یک مطالعه‌ی موردی از زلزله‌ی آذربایجان شرقی در سال ۱۳۹۱ اعمال کردیم.

تعداد وسایل نقلیه و همچنین تسهیلاتی که نیروی زمینی ارتش جمهوری اسلامی ایران در هنگام زلزله برای کمک به آسیب‌دیدگان در اختیار قرار داده است در این تحقیق مورد توجه قرار داده شد و نشان داده شد که تعداد قابل توجهی از کامیون‌ها، آمبولانس‌ها و همچنین بالگردهایی که برای عملیات امدادرسانی و تخلیه‌ی افراد آسیب‌دیده مورد استفاده قرار گرفته است متعلق به نیروی زمینی ارتش جمهوری اسلامی ایران است.

نتایج نشان داد که مدل می‌تواند مناسب‌ترین تسهیلات (مراکز درمانی موقت و LDCها) را انتخاب کند؛ تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی حمل شده توسط وسایل نقلیه را تعیین کند؛ تعداد افراد در حال انتظار برای درمان در مراکز پزشکی را تعیین کند؛ میزان کالاهای حمل شده از مراکز عرضه به LDCها و همچنین تعداد وسایل نقلیه‌ی مورد استفاده در هر زمان را تعیین کند. درنتیجه رویکرد ارائه‌شده قابلیت پیاده‌سازی برای هر شرایط مشابه دیگری را دارا است.

در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترها و همچنین ارائه‌ی رویکردی که در آن اختلال در زیرساخت‌ها وجود داشته باشد، حوزه‌های تحقیقی بسیار مناسبی برای تحقیقات آینده است.

پی‌نوشت

1. Disaster
2. Humanitarian Logistics
3. Scheduling
4. Multi-echelon
5. Ant Colony Optimization
6. Relief-demand
7. Location-Routing
8. Dispatch orders
9. Route
10. People equivalent
11. Steady

منابع

1. Kovács,G. and Spens, K. (2009). Identifying challenges in humanitarian logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 39, No. 6, 506–528.
2. Duran, S., Gutierrez, M. A., & Keskinocak, P. (2011). Pre-positioning of emergency items for CARE international. *Interfaces*, 41(3), 223-237.
3. Thomas, A., & Mizushima, M. (2005). Logistics training: necessity or luxury.*Forced Migration Review*, 22(22), 60-61.
4. Balcik, B., Beamon, B. M., & Smilowitz, K. (2008). Last mile distribution in humanitarian relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 51-63.
5. Caunhye, A. M., Nie, X., & Pokharel, S. (2012). Optimization models in emergency logistics: A literature review. *Socio-economic planning sciences*, 46(1), 4-13.
6. Brzoska, M., & Ehrhart, H. G. (2008). Civil-Military Cooperation in Post-Conflict Rehabilitation and Reconstruction. Recommendations for Practical Action. *Development and Peace Foundation, November*.
7. Bessler, M., & Seki, K. (2006). Civil-Military Relations in Armed Conflicts. *A Humanitarian Perspective. Auszug aus: Bessler/Seki (2006): Liaison–A Journal of Civil-Military Humanitarian Relief Collaborations, Heft. III*, (3).
8. Slim, H. (2011). NGO–Military Contact Group: Keynote Address. *Conference on Civil–Military Relations in Natural Disasters: New Developments from the Field*, 12 October.
9. Wheeler, V., & Harmer, A. (Eds.). (2006). *Resetting the rules of engagement: Trends and issues in military-humanitarian relations*. London, UK: Humanitarian Policy Group, Overseas Development Institute.
10. Wiharta, S., Ahmad, H., Haine, J. Y., Löfgren, J., & Randall, T. (2008). *The effectiveness of foreign military assets in natural disaster reponse*. SIPRI.
11. Anderson, W. A. (1970). Military organizations in natural disaster: established and emergent norms. *The American Behavioral Scientist*, 13(3), 415.
12. Altay, N., & Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European journal of operational research*, 175(1), 475-493.
13. Özdamar, L., Ekinci, E., & Küçükyazici, B. (2004). Emergency logistics planning in natural disasters. *Annals of operations research*, 129(1-4), 217-245.
14. Haghani, A., & Oh, S. C. (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.
15. Knott, R. (1987). The logistics of bulk relief supplies. *Disasters*, 11(2), 113-115.
16. Fiedrich, F., Gehbauer, F., & Rickers, U. (2000). Opti-

mized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. *Safety science*, 35(1), 41-57.

17. Tsiakis, P., Shah, N., & Pantelides, C. C. (2001). Design of multi-echelon supply chain networks under demand uncertainty. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40(16), 3585-3604.

18. Campbell, A. M., Vandenbussche, D., & Hermann, W. (2008). Routing for relief efforts. *Transportation Science*, 42(2), 127-145.

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

20. Nolz, P. C., Doerner, K. F., Gutjahr, W. J., & Hartl, R. F. (2010). A bi-objective metaheuristic for disaster relief operation planning. In *Advances in multi-objective nature inspired computing* (pp. 167-187). Springer Berlin Heidelberg.

21. Van Hentenryck, P., Bent, R., & Coffrin, C. (2010, June). Strategic planning for disaster recovery with stochastic last mile distribution. In *International Conference on Integration of Artificial Intelligence (AI) and Operations Research (OR) Techniques in Constraint Programming* (pp. 318-333). Springer Berlin Heidelberg.

22. Clark, A., & Culkin, B. (2013). A network transshipment model for planning humanitarian relief operations after a natural disaster. In *Decision Aid Models for Disaster Management and Emergencies* (pp. 233-257). Atlantis Press.

23. De Angelis, V., Mecoli, M., Nikoi, C., & Storchi, G. (2007). Multiperiod integrated routing and scheduling of World Food Programme cargo planes in Angola. *Computers & Operations Research*, 34(6), 1601-1615.

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

25. Tzeng, G. H., Cheng, H. J., & Huang, T. D. (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 673-686.

26. 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.

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

28. Ali, R. A. Z. A., & Kandhro, S. H. (2015). National Disaster Management Authority in Pakistan: Role of Pakistan Army in Disaster Management. *Journal of Social and Administrative Sciences*, 2(1), 11-17.

29. Singh, M. S., & Tandon, K. (2015). ARMED FORCES IN DISASTER MANAGEMENT: CHALLENGES IN INDIAN PERSPECTIVE.

30. Jin, S., Jeong, S., Kim, J., & Kim, K. (2015). A logistics model for the transport of disaster victims with various injuries and survival probabilities. *Annals of Operations Research*, *230*(1), 17-33.

۳۱. نقاط ضعف و قوت سازمان‌ها در مناطق زلزله زده/۱۵ کاری که وظیفه هلال احمر نبود. خبرگزاری مهر، ۳۱ مرداد ۱۳۹۱، بایگانی‌شده از نسخه‌ی اصلی در ۰۶ مارس ۲۰۱۳. بازبینی‌شده در ۱۲ شهریور ۱۳۹۱.

۳۲. ناگفته‌هایی از زلزله‌ی آذربایجان شرقی، خبرگزاری جمهوری اسامی ایران (ایرنا)، ۳۱ مرداد ۱۳۹۱، کد خبر: ۸۰۲۸۴۶۱۹.