

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. از این رو، 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 امدادی و رساندن این اقلام به آسیب‌دیدگان و انتقال افراد آسیب‌دیده به مراکز درمانی است. نیروهای نظامی به علت توانمندی‌های بالقوه و ذاتی به منزله‌ی 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 دومارحله‌ای برای بهینه‌سازی انتقال کالاها و امدادها 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 منتقل شده توسعه داده می‌شود که وسایل نقلیه را به جای متغیر صفر و یک به صورت عدد صحیح در نظر می‌گیرد. پس از آن با استفاده از یک سیستم معادلات خطی دستورالعمل‌های دقیق برای وسایل نقلیه تعیین می‌شود. در مدل ارائه شده، شدت آسیب قربانیان و احتمال زنده ماندن آن‌ها در نظر گرفته شده است. همچنین در مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه شده، مکان مراکز امدادی موقت و مراکز توزیع محلی در نزدیکی مناطق آسیب‌دیده مشخص می‌شود. امکانات در دسترس نیروهای مسلح از جمله کارکنان و وسایل نقلیه که می‌تواند در امدادرسانی بهینه مؤثر باشد، در نظر گرفته شده است. تابع هدف در نظر گرفته شده، سعی در به حداکثر رساندن تعداد بازماندگان دارد. رویکرد ارائه شده 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-Taher², Masoud Rabbani³

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 Sattari Aeronautical University, Tehran, Iran.

3 Professor, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

۵۷

شماره سیزدهم
بهار و تابستان
۱۳۹۷

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



مجله
چارچوبی برای بهینه‌سازی تدارکات امدادرسانی و تخلیه‌ی
مجروحان

وقوع یک زلزله در یک کشور، کمک‌های مردمی از اقصی نقاط 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.

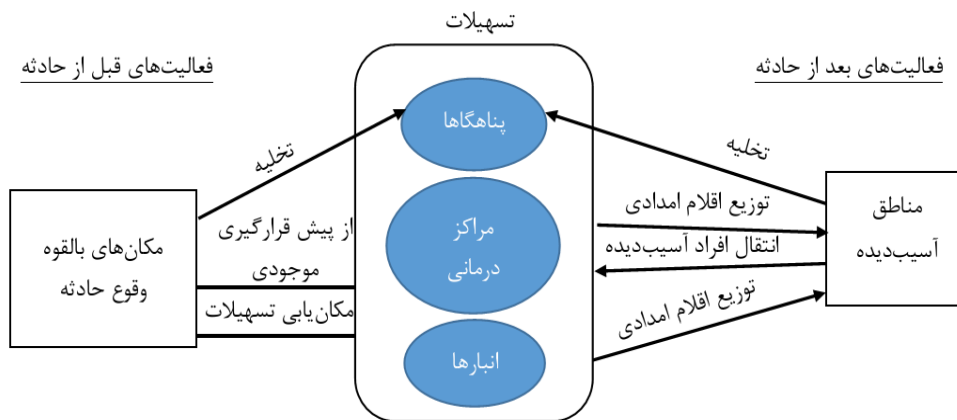
کاونیه و همکاران [۵] یک چارچوب کلی برای فعالیت‌های لجستیک اضطراری و جریان‌ات و تسهیلات مرتبط با آن‌ها ارائه داده‌اند (تصویر ۱).

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 بازبایی 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 فجاج می‌تواند برای احداث نگاهتگاه، مورد استفاده قرار گیرد. در ضمن تأمین امنیت این نگاهتگاه 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 فجاج 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

اصطلاح «بحران» 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 در نتیجه‌ی 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 امدادسانی برای اثربخشی و تسریع پاسخ در برنامه‌ی توزیع کمک‌ها، از جمله 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^۲ با زنجیره‌های تأمین تجاری کاملاً متفاوت است. زنجیره‌ها و لجستیک تجاری سعی در حداکثرسازی سود دارند، درحالی‌که لجستیک بشردوستانه سعی در حداکثر رساندن رضایت ذی‌نفعان دارند [۴]. برای مثال هنگام



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

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

ادامه‌ی این مقاله به صورت زیر است: در بخش بعدی به مرور کارهای مرتبط انجام شده 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 داده شده را بر روی آن اعمال می‌کنیم. نتایج محاسباتی و یافته‌ها نیز بخش بعدی است و در نهایت، نتیجه‌گیری از انجام تحقیق را بیان می‌کنیم.

پیشینه‌ی پژوهش

در پی سونامی‌های سال ۲۰۰۴ در آسیا، لجستیک بشردوستانه هم از لحاظ علمی و هم از لحاظ عملی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. تا سال ۲۰۰۵ تنها تعداد انگشت‌شماری از مقالات در لجستیک بشردوستانه وجود داشت [۱]. کوکس و اسپنس [۱] و همچنین آلتای و گرین [۱۲] مروری بر کارهای انجام شده 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 آسیب دیده در اسرع وقت برای سرعت بخشیدن به عملیات امدادی است. حقانی و اه [۱۴]، مسئله‌ی جریان شبکه‌ی چند کالایی و چندحالتی با پنجره‌ی زمانی را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی تک هدفه ارائه کردند. در مدل آن‌ها مسیریابی دقیق و زمان‌بندی^۲ حالت‌های موجود حمل و نقل، زمان‌بندی تحویل کالاهای مختلف و برنامه‌ی بارگیری برای هر یک از حالت‌های حمل و نقل تعیین می‌شود. هدف، به حداقل رساندن مجموع هزینه‌های حمل و نقل، هزینه‌های تحویل کالا و هزینه‌های انتقال در تمام دوره‌های زمانی است. نات [۱۵] یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای مسئله‌ی حمل و نقل مواد غذایی فله پیشنهاد داد که در آن با استفاده‌ی بهینه از ناوگان وسایل نقلیه‌ی سنگین، هزینه‌ی حمل و نقل را به حداقل می‌رساند و میزان کالایی تحویل داده شده 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 آسیب دیده 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^۳ تحت عدم اطمینان تقاضا را در نظر گرفتند. کمپیل و همکاران [۱۸] خصوصیات مسائل مسیریابی وسایل نقلیه که متوسط آخرین زمان ورود کالا به مناطق آسیب دیده را به حداقل می‌رساند، بررسی کردند. مته و زاینسکی [۱۹] حداقل کردن هزینه‌های کل تحویل به انبارها همراه با مجموع

مدت زمان 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^۴ برای حل مسئله‌ی لجستیک امداد رسانی 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^۵ برای پاسخ پویا به نیازهای امدادی افراد آسیب دیده در شرایط اضطراری در یک فاجعه در مقیاس بزرگ پیشنهاد داد. یی و ازدامار [۲۷] یک مدل مسیریابی - مکان‌یابی^۶ 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 آسیب دیده و مکان‌یابی مراکز درمانی موقت در سایت‌های مناسب است. علی و کاندھرو [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، از جمله 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 امداد رسانی 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 امداد رسانی 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 آسیب دیده از موضوعات مهم امداد رسانی در هنگام وقوع بحران‌ها هستند. این تحقیق از لحاظ هدف یک پژوهش کاربردی است، چراکه هدف از انجام آن، ارائه‌ی رویکردی است که بتوان به کمک آن تدارکات امداد رسانی و تخلیه‌ی مجروحان را به صورت 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 گرفته شده									
	دومرحله‌ای	شدت جراحی افراد آسیب دیده	مکان یابی LCDها	مکان یابی مراکز امدادی	تخلیه‌ی محرومان	دستورالعمل دقیق وسایل نقلیه	تعیین مقدار کالای منتقل شده	تعیین تعداد افراد آسیب دیده منتقل شده	نقش نیروهای مسلح	تابع هدف
کمپیل و همکاران [۱۸]						✓	✓			حداقل کردن زمان حمل و نقل
فیدریچ و همکاران [۱۶]			✓				✓			حداقل کردن تعداد تسهیلات
جین و همکاران [۳۰]		✓			✓			✓		حداکثر کردن تعداد بازماندگان
حقانی و آه [۱۴]						✓	✓			حداقل کردن هزینه‌های حمل و نقل و تحویل کالا
نات [۱۵]						✓	✓			حداقل کردن هزینه حمل و نقل
بی و کومار [۲۴]			✓			✓	✓			حداقل کردن تقاضای برآورده نشده
تزنک و همکاران [۲۵]			✓			✓				حداقل کردن زمان و هزینه
بی و ازدامار [۲۷]	✓		✓			✓	✓			حداقل کردن تقاضای برآورده نشده
تحقیق حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	حداکثر کردن تعداد بازماندگان

آسیب دیدگان 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 آسیب دیدگان و مدیریت بحران به خوبی نشان داده می‌شود.

رویکرد دومرحله‌ای برای مسئله‌ی لجستیک واکنش به بلایای طبیعی و انتقال افراد آسیب دیده در این مقاله یک مدل بهینه‌سازی برای تدارکات اضطراری و تخصیص منابع در شرایط بحران با پنج لایه (مراکز عرضه، مراکز توزیع محلی، مناطق آسیب دیده، 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 آسیب دیده، مراکز درمانی موقت برای کمک‌های اولیه با منابع محدود پزشکی و محدودیت ظرفیت و بیمارستان‌ها است. فرض می‌کنیم که انواع مختلفی از افراد آسیب دیده با P_s مختلف در طول مدت زمان اولیه بعد از حادثه در مناطق آسیب دیده وجود

بهینه‌سازی انتقال کالاهای امدادی به مناطق آسیب دیده و تخلیه‌ی افراد آسیب دیده ارائه می‌کنیم که نقش نیروهای مسلح را، به منزله‌ی 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 منتقل شده توسعه داده می‌شود که وسایل نقلیه را به جای متغیر صفر و یک به صورت عدد صحیح در نظر می‌گیرد. پس از آن با استفاده از یک دستگاه معادلات خطی، دستورالعمل‌های دقیق برای وسایل نقلیه تعیین می‌شود. در مدل ارائه شده، 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 ارائه شده، مکان مراکز امدادی موقت برای کمک‌های اولیه و مراکز توزیع محلی در نزدیکی مناطق آسیب دیده مشخص می‌شود.

تعداد وسایل نقلیه و همچنین تسهیلاتی که نیروی زمینی ارتش جمهوری اسلامی ایران در هنگام زلزله برای کمک به

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

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_{wj}^t تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در زمان t در منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j پیدا شده‌اند؛
- D_{wj}^t 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 ($0 \leq f_D(w, t) \leq 1$)
- $f_{ID}(w, t)$ احتمال زنده ماندن افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w در زمان دوره t در حالت ID ($0 \leq f_{ID}(w, t) \leq 1$)

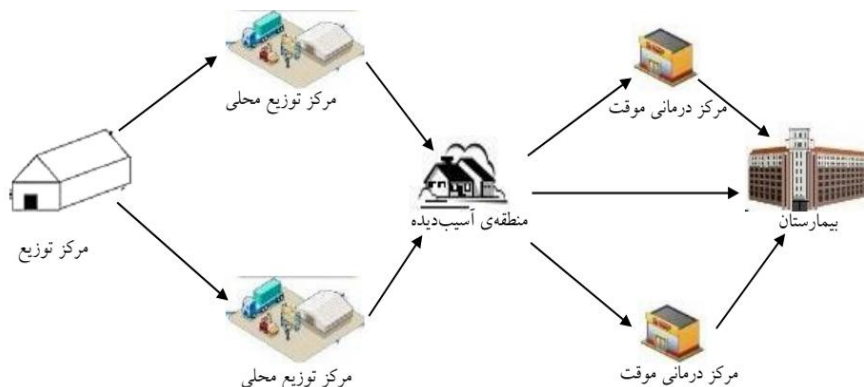
دارند. علاوه بر این، زمانی که افراد منتظر برای دریافت خدمات و درمان در ۱. مراکز درمانی موقت و ۲. بیمارستان‌ها هستند را در نظر می‌گیریم. موارد زیر نیز برای جریان افراد آسیب‌دیده در نظر گرفته می‌شود: ۱. انتقال از مناطق آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها از طریق مراکز درمانی موقت و ۲. انتقال به بیمارستان‌ها به‌طور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

مرحله 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، $t = 1, 2, \dots, T$
- W مجموعه‌ی افراد آسیب‌دیده؛
- E مجموعه‌ی انواع تقاضا $E = \{1, 2\}$
- C مجموعه‌ی کالاها؛ 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



تصویر ۲: چارچوب شبکه‌ی در نظر گرفته‌شده

متغیرهای تصمیم

IC_{wk}^t	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w در مرکز درمانی موقت k در پایان زمان t
ICC_{wk}^t	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در حال درمان در مرکز درمانی موقت k در زمان t هستند.
IDS_{wj}^t	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w در منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j در پایان زمان t
IH_{wm}^t	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w در بیمارستان m در پایان زمان t
IM_{wjk}^t	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در حال انتقال از منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j به مرکز درمانی موقت k هستند، در پایان زمان t
IM_{wjm}^t	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در حال انتقال از منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j به بیمارستان m هستند، در پایان زمان t
IM_{wkm}^t	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در حال انتقال از مرکز درمانی موقت k به بیمارستان m هستند، در پایان زمان t
IOH_{wm}^t	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در حال درمان در بیمارستان m در زمان t هستند.
WC_{wk}^t	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در انتظار دریافت درمان در مرکز درمانی موقت k هستند، در پایان زمان t
$WH_{D,wm}^t$	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در انتظار دریافت درمان در بیمارستان m هستند (در حالت D)، در پایان زمان t
$WH_{ID,wm}^t$	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در انتظار دریافت درمان در بیمارستان m هستند (در حالت ID)، در پایان زمان t
PCC_{wk}^t	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که شروع به دریافت درمان در مرکز درمانی موقت k می‌کنند، در پایان زمان t
$POH_{D,wm}^t$	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که شروع به دریافت درمان در بیمارستان m می‌کنند (در حالت D)، در پایان زمان t
$POH_{ID,wm}^t$	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که شروع به دریافت درمان در بیمارستان m می‌کنند (در حالت ID)، در پایان زمان t
Q_{cqi}^t	مقدار کالای نوع c که در زمان t از مرکز عرضه q به مرکز توزیع i منتقل می‌شود.

A_{cij}^t	مقدار کالای نوع c که در زمان t از مرکز توزیع i به منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j منتقل می‌شود.
x_{wjm}^t	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در زمان t از منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j به بیمارستان m منتقل می‌شوند.
x_{wjk}^t	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در زمان t از منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j به مرکز درمانی موقت k منتقل می‌شوند.
x_{wkm}^t	تعداد افراد آسیب‌دیده‌ی نوع w که در زمان t از مرکز درمانی موقت k به بیمارستان m منتقل می‌شوند.
V_{qiv}^t	تعداد وسایل نقلیه‌ی نوع v که در زمان t مسیر مرکز عرضه‌ی q به مرکز توزیع i را طی می‌کنند.
V_{ijv}^t	تعداد وسایل نقلیه‌ی نوع v که در زمان t مسیر مرکز توزیع i به منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j را طی می‌کنند.
V_{jkv}^t	تعداد وسایل نقلیه‌ی نوع v که در زمان t مسیر منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j به مرکز درمانی موقت k را طی می‌کنند.
V_{jmv}^t	تعداد وسایل نقلیه‌ی نوع v که در زمان t مسیر منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی j به بیمارستان m را طی می‌کنند.
V_{kmv}^t	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 I اگر مرکز توزیع i احداث شود.

مدل ریاضی (مدل P)
رابطه‌ی ۱:

$$\text{maximize } \sum_{t=1}^T \sum_{w=1}^W \sum_{m=1}^M P_w(POH_{D,wm}^t \cdot f_D(w,t) + POH_{ID,wm}^t \cdot f_{ID}(w,t))$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{w=1}^W \sum_{j=1}^J P_{wj}^t$$

s.t

رابطه‌ی ۲: $IDS_{wj}^t = IDS_{wj}^{t-1} + P_{wj}^t -$

$$\left(\sum_m x_{wjm}^t + \sum_k x_{wjk}^t \right) \quad \forall w, j, t$$

رابطه‌ی ۳: $IC_{wk}^t = IC_{wk}^{t-1} + \sum_j x_{wjk}^{t-TM_{jk}}$

$$- \sum_m x_{wkm}^t \quad \forall w, k, t$$

رابطه‌ی ۴: $IH_{wm}^t = IH_{wm}^{t-1} + \sum_j \sum_k x_{wjm}^{t-TM_{jm}}$

$$- \sum_k x_{wkm}^{t-TM_{km}} - (POH_{D,wm}^{t-TO_w} + POH_{ID,wm}^{t-TO_w})$$

$$\forall w, m, t$$

رابطه‌ی ۵: $IM_{wjm}^t = IM_{wjm}^{t-1} + x_{wjm}^t$

$$- x_{wjm}^{t-TM_{jm}} \quad \forall w, j, m, t$$

رابطه‌ی ۶: $IM^t_{wjk} = IM^{t-1}_{wjk} + x^t_{wjk} - x^{t-TM}_{wjk} \quad \forall w, j, k, t$

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

رابطه‌ی ۸: $WC^t_{wk} = WC^{t-1}_{wk} + \sum_j x^{t-TM}_{wjk} - PCC^t_{wk} \quad \forall w, k, t$

رابطه‌ی ۹: $WH^t_{D,wm} = WH^{t-1}_{D,wm} + \sum_j x^{t-TM}_{wjm} - POH^t_{D,wm} \quad \forall w, m, t$

رابطه‌ی ۱۰: $WH^t_{ID,wm} = WH^{t-1}_{ID,wm} + \sum_k x^{t-TM}_{wkm} - POH^t_{ID,wm} \quad \forall w, m, t$

رابطه‌ی ۱۱: $PCC^t_{wk} \leq WC^{t-1}_{wk} + \sum_j x^{t-TM}_{wjk} \quad \forall w, k, t$

رابطه‌ی ۱۲: $POH^t_{D,wm} \leq WH^{t-1}_{D,wm} + \sum_j x^{t-TM}_{wjm} \quad \forall w, m, t$

رابطه‌ی ۱۳: $POH^t_{ID,wm} \leq WH^{t-1}_{ID,wm} + \sum_j \sum_k x^{t-TM}_{wjkm} \quad \forall w, m, t$

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

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

رابطه‌ی ۱۶: $\sum_w IC^t_{wk} \leq CC_k \quad \forall t, k$

رابطه‌ی ۱۷: $\sum_w IH^t_{wm} \leq CC_m \quad \forall t, m$

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

رابطه‌ی ۱۹: $\sum_q Q^t_{cqi} = \sum_j A^t_{cij} \quad \forall i, c, t$

رابطه‌ی ۲۰: $\sum_i Q^t_{cqi} \leq SO_{cq} \quad \forall c, q, t$

رابطه‌ی ۲۱: $\sum_q Q^t_{cqi} \leq Cap_i \quad \forall c, i, t$

رابطه‌ی ۲۲: $Q^t_{cqi} \leq B.Z_i \quad \forall c, q, i, t$

رابطه‌ی ۲۳: $A^t_{cij} \leq B.Z_i \quad \forall c, q, i, t$

رابطه‌ی ۲۴: $V^t_{jkv} \leq M.TM_{jk} \quad \forall j, k, v$

رابطه‌ی ۲۵: $V^t_{jmv} \leq M.TM_{jm} \quad \forall j, m, v$

رابطه‌ی ۲۶: $V^t_{kmv} \leq M.TM_{km} \quad \forall k, m, v$

رابطه‌ی ۲۷: $\sum_v V^t_{qiv} . cap_v \geq \sum_c w_c . Q^t_{cqi} \quad \forall q, i, t$

رابطه‌ی ۲۸: $\sum_v V^t_{ijv} . cap_v \geq \sum_c w_c . A^t_{cij} \quad \forall i, j, t$

رابطه‌ی ۲۹: $\sum_v V^t_{jkv} . cap_v \geq \sum_w w_w . x^t_{wjk} \quad \forall j, k, t$

رابطه‌ی ۳۰: $\sum_v V^t_{jmv} . cap_v \geq \sum_w w_w . x^t_{wjm} \quad \forall j, m, t$

رابطه‌ی ۳۱: $\sum_v V^t_{kmv} . cap_v \geq \sum_w w_w . x^t_{wkm} \quad \forall k, m, t$

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 حمل و نقل 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، $f_{ID}(w=at)$ به ترتیب متناظر با توابع

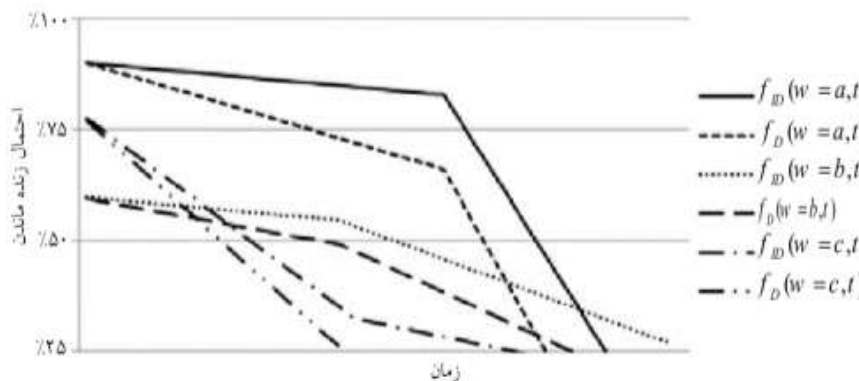
P_s برای حالتی که به مراکز درمانی موقت انتقال داده شده‌اند و نشده‌اند است.

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^۸ برای وسایل نقلیه، با اجرای یک الگوریتم به نام «مسیر»^۹ به دست می‌آید که جواب بهینه‌ی مرحله‌ی قبل را به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند و برنامه‌ی برداشت/تحويل 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 تحويل در هر مسیر استفاده می‌کند. یک ماتریس به نام R تعریف می‌کنیم که عناصر صفر و یک آن $S[v,0,t]$ نشان می‌دهد که یک وسیله‌ی نقلیه‌ی v در زمان t در گره 0 است یا خیر. نشان دادن زمان ضروری است، زیرا یک گره می‌تواند بیش از یک بار 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'_{cov} : مقدار کالای نوع c که توسط وسیله نقلیه v در گره o در زمان t بارگیری شده است. $(o \subset q, i)$
 QD'_{cov} : مقدار کالای نوع c که توسط وسیله نقلیه v در گره o در زمان t تخلیه شده است. $(o \subset i, j)$

xP'_{wov} : تعداد افراد آسیب دیده نوع w که توسط وسیله نقلیه v در گره o در زمان t بارگیری شده است. $(o \subset j, k)$
 xD'_{wov} : تعداد افراد آسیب دیده نوع w که توسط وسیله نقلیه v در گره o در زمان t تخلیه شده است. $(o \subset k, m)$

سیستم معادلات P_1

محدودیت ۳۲ بیان می کند که در هر دوره، تعداد تجمعی افراد آسیب دیده (نوع w) که توسط تمام وسایل نقلیه از گره o بارگیری می شوند باید با مقدار بهینه یافت شده در مدل P برابر باشد. محدودیت های ۳۳ نیز محدودیت های مشابه را برای کالاها نشان می دهد.

$$\sum_v \sum_{t=1}^{T-1} [xp'_{wov} - xd'_{wov}] = \quad \text{رابطه ی ۳۲}$$

$$\sum_j \sum_m \sum_{t=1}^{T-1} [x'_{wj} - x'_{wm}] \quad \forall o, w, k$$

$$\sum_v \sum_{t=1}^{T-1} [QP'_{cov} - QD'_{cov}] = \quad \text{رابطه ی ۳۳}$$

$$\sum_q \sum_j \sum_{t=1}^{T-1} [Q'_{cqi} - A'_{cij}] \quad \forall c$$

محدودیت های ۳۴ و ۳۵ شرایط خاتمه را نشان می دهند و تضمین می کنند که مقادیر بارگیری شده توسط هر وسیله نقلیه، برابر است با مقادیر تخلیه شده در پایان افق برنامه ریزی.

$$\sum_o \sum_{t=1}^T [xp'_{wov} - xd'_{wov}] = 0 \quad \forall v, w \quad \text{رابطه ی ۳۴}$$

$$\sum_o \sum_{t=1}^T [QP'_{cov} - QD'_{cov}] = 0 \quad \text{رابطه ی ۳۵}$$

$$\forall c, v, i$$

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

$$\text{رابطه ی ۳۶}$$

$$\sum_w [xp'_{wov} + xd'_{wov}] + \sum_c QP'_{cov} + QD'_{cov} \leq S[v, o, t]. B \quad \forall o, v, t$$

مجموعه محدودیت های ۳۷ نیز محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه را نشان می دهد.

$$\sum_w \sum_o \sum_{t=1}^T W_w [xp'_{wov} - xd'_{wov}] + \quad \text{رابطه ی ۳۷}$$

$$\sum_c \sum_o \sum_{t=1}^T W_c [QP'_{cov} - QD'_{cov}] \leq cap_v \quad \forall v$$

رابطه ی ۳۸:

$$XP'_{woi}, XD'_{woi} \geq 0 \text{ and integer};$$

$$QP'_{Eoi}, QD'_{Eoi} \geq 0$$

مقادیر بهینه ی بارگیری و تخلیه ی هر وسیله نقلیه با حل P_1 تعیین می شود. P_1 یک سیستم معادلات عدد صحیح مختلط نسبتاً آسان است که فضای شدنی آن محدود به پارامترهای X'_{wov} و Q'_{cov} به دست آمده از مدل P است.

اعمال رویکرد دومرحله ای ارائه شده بر روی یک مطالعه ی موردی زلزله

برای نشان دادن کارایی رویکرد ارائه شده، یک مطالعه ی موردی از زلزله ی آذربایجان شرقی در سال ۱۳۹۱ ارائه می کنیم.

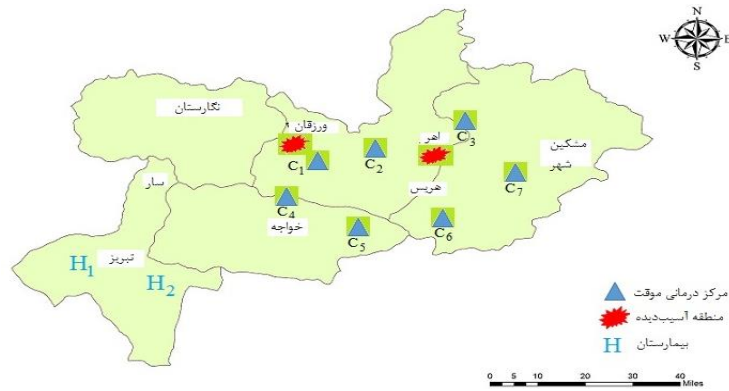
تشریح مطالعه ی موردی

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 آسیب دیدگی شدند [۳۰] که به درمان اضطراری احتیاج داشتند و با انواع آسیب دیدگی طبقه بندی 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 منطقه ی زلزله زده ی 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 گذاشتند [۳۱].

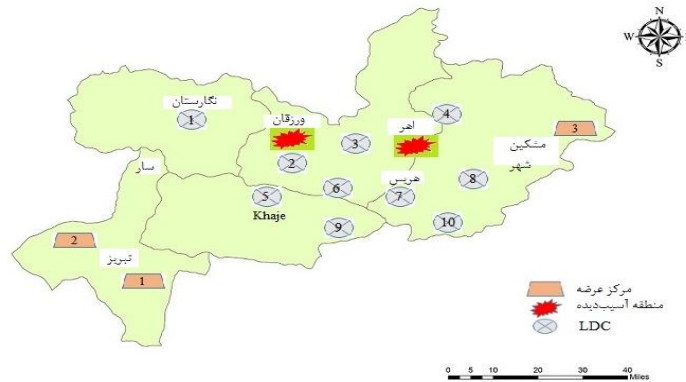
دو روز نخست پس از زلزله بسیار مهم است و به همین علت ما افق برنامه ریزی را دو روز و دوره های زمانی را هر ۸ ساعت انتخاب می کنیم و در نتیجه ۶ دوره ی زمانی خواهیم داشت. تمام داده های مورد استفاده در این مطالعه در جدول های ۲ تا ۱۳ نشان داده شده است.

با توجه به شدت جراحات وارده بر افراد، ۴ نوع آسیب دیدگی تعریف می کنیم. فرض می کنیم که افراد آسیب دیده ی نوع ۱ می توانند در منطقه ی آسیب دیده درمان شوند و افراد آسیب دیده ی نوع ۲ و ۳ می توانند هم در مراکز درمانی موقت و هم در بیمارستان ها درمان شوند و افراد آسیب دیده ی نوع ۴ باید به بیمارستان منتقل شوند.

در جدول های ۳ تا ۵ زمان حمل و نقل بین مناطق آسیب دیده و مراکز درمانی موقت و بیمارستان ها توسط وسایل نقلیه ی متفاوت نشان داده شده است. سه نوع وسیله نقلیه وجود دارد: بالگرد که می تواند افراد آسیب دیده و دارو را حمل و نقل کند، کامیون که مواد غذایی را حمل و نقل می کند و آمبولانس که برای انتقال افراد آسیب دیده 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					زمان	مکان
W_f	W_r	W_t	W_l			
۱۴۰	۱۲۳	۱۱۶	۷۰	۱	اهر	
۱۳۵	۷۵	۸۰	۳۴	۲		
۹۴	۸۲	۶۷	۲۱	۳		
۱۰۸	۶۷	۷۱	۴۰	۴		
۳۹	۴۶	۴۰	۱۲	۵		
۶۳	۳۸	۴۱	۱۸	۶	ورزقان	
۱۳۸	۷۹	۱۱۰	۴۳	۱		
۱۱۷	۳۹	۶۸	۳۱	۲		
۸۲	۶۴	۶۳	۱۴	۳		
۱۰۴	۴۶	۵۸	۴۵	۴		
۳۰	۴۶	۳۸	۱۱	۵		
۴۹	۴۰	۲۹	۱۶	۶		

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

مراکز امداد موقت							بیمارستان		وسیلای نقلیه	مکان
C_v	C_f	C_s	C_r	C_t	C_l	C_1	H_r	H_l		
۳۱	۴۱	۴۵	۵۰	۱۴	۲۷	۳۸	۵۷	۶۳	آمبولانس	اهر
۱۵	۱۸	۲۰	۲۸	۷	۱۲	۱۸	۳۶	۳۵	بالگرد	ورزقان
۵۲	۵۶	۴۴	۳۵	۴۲	۲۸	۱۵	۵۴	۵۰	آمبولانس	
۲۹	۳۵	۱۹	۱۶	۲۰	۱۳	۸	۳۱	۲۸	بالگرد	

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

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

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

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

جدول ۷: حداکثر ظرفیت بیمارستان‌ها (نفر)

بیمارستان		حداکثر ظرفیت
H_1	H_2	
۸۵	۹۰	حداکثر ظرفیت

جدول ۶: حداکثر ظرفیت مراکز درمانی موقت (نفر)

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

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

نوع آسیب دیدگی				مراکز درمانی موقت بیمارستان
w_1	w_2	w_3	w_4	
۴	۱۷	۱۵	-	مراکز درمانی موقت بیمارستان
-	-	-	۳۴	

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 امداد رسانی در اختیار افراد آسیب دیده گذاشته است بسیار مهم است و نشان دهنده‌ی 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^{۱۰} ارائه می‌کنیم. توجه داشته باشید که کالاهای امدادی را به دو گروه اصلی دسته‌بندی می‌کنیم: تقاضای نوع ۱ (E_1) که یک بار و در آغاز افق برنامه‌ریزی رخ می‌دهد مانند چادر،

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 آسیب دیدگی 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 حمل و نقل 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

جدول ۹: تقاضا برای اقلام امدادی (معادل مردم)

گروه	t=1		t=2		t=3		t=4		t=5		t=6	
	اقلام پزشکی	E_r	اقلام پزشکی	E_r	اقلام پزشکی	E_r	اقلام پزشکی	E_r	اقلام پزشکی	E_r	اقلام پزشکی	E_r
اهر	۷۳۰	۲۸۴۰۰	۳۳۵	۲۱۶۰۰	۳۷۰	۲۰۲۸۰	۲۷۳	۲۹۵	۱۳۰۰۰	۱۴۵	۹۷۲۰	۲۱۰
ورزقان	۴۶۰	۱۳۹۰۰	۲۶۰	۱۲۶۸۰	۳۴۰	۱۰۲۳۰	۲۱۴	۲۴۴	۹۲۶۰	۱۱۷	۷۱۴۰	۱۹۰
C_1	-	-	-	-	۲۴۰	۸۵۰	-	۲۰۰	۷۷۰	-	۵۹۰	۱۷۰
C_r	۲۶۰	۱۲۳۰۰	-	-	۲۱۰	۹۳۰	-	۱۹۰	۸۴۰	-	۶۲۰	۱۳۰
C_f	۲۵۰	۱۱۵۰۰	-	-	۲۲۰	۸۷۰	-	۲۰۰	۷۲۰	-	۵۳۰	۱۴۰
C_g	۲۲۰	۱۲۲۰۰	-	-	۲۰۰	۱۱۳۵	-	۲۱۰	۷۹۰	-	۵۴۰	۱۵۰
C_h	۲۰۰	۱۲۰۰۰	-	-	۱۸۰	۱۰۱۰	-	۱۵۰	۸۹۰	-	۷۶۰	۱۲۰
C_p	۱۹۰	۵۷۰۰	-	-	۱۶۰	۴۱۰	-	۱۳۰	۳۳۰	-	۱۷۰	۱۰۰
C_v	۲۴۰	۱۱۳۰۰	-	-	۱۱۰	۸۷۰	-	۹۰	۶۷۰	-	۵۰۰	۷۰
H_1	-	-	-	-	۱۳۸۰	-	-	۱۳۰۰	-	-	-	۹۱۰
H_r	-	-	-	-	۱۳۳۰	-	-	۱۲۷۵	-	-	-	۸۷۵

جدول ۱۱: مقادیر عرضه‌ی کالای E_r (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 ۱۰: مقادیر عرضه‌ی کالای E_r (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 ۱۳: ظرفیت وسایل نقلیه‌ی حمل و نقل

اقلام پزشکی	ظرفیت کل				در دسترس بودن وسیله نقلیه (%)
	E_r	E_1	W_r	$W_r + W_1$	
فراوان	به ندرت	به ندرت	۳۰۵	۷۴۰	بالگرد (۱۰/۲۳)
به ندرت	فراوان	فراوان	-	-	کامیون (۷۷/۳۷)
-	-	-	۲۳۰	۱۲۰۰	آمبولانس (۱۲/۴۰)

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_r ، E_1 و اقلام پزشکی به ترتیب برابر با ۲۹۷۲، ۱۹۹۰۳ و ۲۵۶۲۵ است.

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

پتو و تقاضای نوع ۲ (E_r) که به طور 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، ۶ است.
مقادیر تقاضای E_r نیز در دوره‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ به ترتیب برابر با ۵۰۱۰۰، ۴۱۴۲۰، ۳۶۳۵۰، ۲۷۲۷۰، ۲۳۳۲۰ و ۲۰۵۷۰ است.

جدول ۱۴: تعداد وسایل نقلیه‌ی مورد استفاده در هر زمان

زمان	بالگرد	آمیولانس	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 منتقل شده به مراکز درمانی از منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی اهر

زمان	C _۱	C _۲	C _۳	C _۴	C _۵	C _۶	C _۷	H _۱	H _۲
۱	-	۱۸۹	۱۹	-	-	-	۱۷	۵۶	۷۰
۲	-	۱۱۴	۱۵	-	-	-	۱۴	۵۸	۶۵
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 منتقل شده به مراکز درمانی از منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی اهر

زمان	C _۱	C _۲	C _۳	C _۴	C _۵	C _۶	C _۷	H _۱	H _۲
۱	۱۵۳	۱۷	-	۵	-	-	-	۶۰	۶۱
۲	۷۰	۱۳	-	۱۲	-	-	-	۵۴	۵۱
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_۲، E_۱ 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 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_۱ و C_۲ مورد استفاده قرار نگرفته‌اند که به دلیل فاصله‌ی زیاد این تسهیلات از مناطق فاجعه است.

برای منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی اهر، مراکز امدادی موقت C_۲، C_۳ و C_۴ 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_۱، C_۲ و C_۳ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مرکز امدادی موقت C_۲ 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_۵ و C_۶ 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 منتقل شده 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 رسیده است. مقدار کلای E_۲ 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 زمان های مختلف

زمان	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	H_1	H_2
۱	۱۴	۱۵	۱۳	-	-	-	-	-	-	۱۶	۱۵
۲	۱۱	۱۲	۱۰	-	-	-	-	-	-	۱۳	۱۲
۳	۱۲	۱۳	۱۲	-	-	-	-	-	-	۱۴	۱۳
۴	۸	۱۰	۸	-	-	-	-	-	-	۱۱	۱۰
۵	۶	۸	۷	-	-	-	-	-	-	۸	۷
۶	۴	۵	۳	-	-	-	-	-	-	۵	۴

جدول ۱۸: مقدار کالای منتقل شده E_1 از مرکز عرضه ۱ به LDCها

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

جدول ۱۹: مقدار کالای منتقل شده E_2 از مرکز عرضه ۲ به LDCها

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

جدول ۲۰: مقدار کالای منتقل شده E_2 از مرکز عرضه ۳ به LDCها

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

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 به منزله‌ی یک نیروی کمک‌کننده‌ی عملیاتی نقش کلیدی در پاسخ‌گویی به بحران‌ها دارند. در این تحقیق، یک رویکرد دومرحله‌ای برای حل مسئله‌ی تدارکات امداد رسانی و فعالیت‌های تخلیه در واکنش به بلایای

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.

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: Key-note 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 response*. 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., Ekin, 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-

طبیعی با در نظر گرفتن نقش نیروهای مسلح ارائه شد. در مرحله اول، یک مدل عدد صحیح مختلط برای تعیین مقدار کالا و افراد منتقل شده توسعه داده شد که وسایل نقلیه را به جای متغیر صفر و یک به صورت عدد صحیح در نظر می‌گیرد. همچنین در مدل ارائه شده شدت آسیب قربانیان و احتمال زنده ماندن آن‌ها، که با گذشت زمان کاهش می‌یابد، در نظر گرفته شد. تابع هدف سعی در حداکثر رساندن تعداد بازماندگان در میان افراد آسیب دیده دارد. همچنین در مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط ارائه شده، مکان مراکز امدادی موقت برای کمک‌های اولیه و مراکز توزیع محلی در نزدیکی مناطق آسیب دیده مشخص می‌شود. پس از آن جواب‌ها و خروجی مرحله اول به مرحله دوم وارد شدند و با استفاده از یک دستگاه معادلات خطی، دستورالعمل‌های دقیق برای وسایل نقلیه تعیین شد. در نهایت، رویکرد دوم مرحله اول ارائه شده را بر روی یک مطالعه موردی از زلزله 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 آسیب دیدگان 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 امداد رسانی و تخلیه افراد آسیب دیده 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 آسیب دیده 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 نقلیه مورد استفاده در هر زمان را تعیین کند. در نتیجه رویکرد ارائه شده قابلیت پیاده‌سازی برای هر شرایط مشابه دیگری را دارا است.

در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترها و همچنین ارائه 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

LENGES 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، بایگانی شده از نسخه‌ی اصلی در ۰۶ مارس ۲۰۱۳. بازبینی شده در ۱۲ شهریور ۱۳۹۱.
۳۲. ناگفته‌هایی از زلزله‌ی آذربایجان شرقی، خبرگزاری جمهوری اسلامی ایران (ایرنا)، ۳۱ مرداد ۱۳۹۱، کد خبر: ۸۰۲۸۴۶۱۹.
- 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: CHAL-