

# توسعه یک مدل تصادفی برای ایجاد یک شبکه امداد رسانی پس از بلایای طبیعی (مطالعه موردی: زلزله احتمالی در شهر تهران)

سجاد گل محمدی<sup>۱</sup>، مسعود ماهوتچی<sup>۲\*</sup>

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲. استادیار دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۲۰، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۶/۰۳/۰۴، تاریخ تصویب: ۹۶/۰۳/۰۶)

## چکیده

در دهه‌های اخیر، بحران‌های طبیعی به دلیل عواملی نظیر رشد جمعیت، تغییرات شرایط جوی و یکپارچگی سامانه‌ها، رشد چشمگیری داشته‌اند و هر سال نیز میلیون‌ها انسان به دلیل بحران‌های طبیعی یا انسانی آسیب می‌بینند؛ بنابراین، به مدلی یکپارچه نیاز است تا تمام فرایند پیش و پس از بحران را به‌طور همزمان در نظر بگیرد. در این پژوهش، یک مدل یکپارچه تصادفی پیشنهاد شده است که در آن دو دسته تصمیمات در نظر گرفته می‌شود؛ تصمیمات مرحله اول شامل انتخاب محل احداث انبارهای منطقه‌ای از بین نقاط کاندید و میزان پیش‌موجودی ذخیره‌شده در آن‌ها و تصمیمات مرحله دوم شامل طراحی شبکه توزیع اقلام امدادی و تعیین جریان کلایی درون آن. تابع هدف این مدل کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره امداد رسانی است. در نهایت، به منظور بررسی کارایی مدل از یک مطالعه موردی با داده‌های واقعی از سناریوهای زلزله در تهران بزرگ و خسارات ناشی از آن‌ها استفاده می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای، زنجیره تأمین امداد، طراحی شبکه توزیع، مدیریت بحران، مکان‌یابی تسهیلات.

## مقدمه

مدیریت بحران، لجستیک حوزه‌ای محسوب می‌شود که ممکن است بهبود زیادی ایجاد کند و یکی از راهبردهای لجستیکی به منظور حرکت به سوی پاسخگویی سریع‌تر و بهتر، مکان‌یابی از پیش انبارهای موجودی است. در این قسمت، مکان‌یابی از بعد جغرافیایی با توجه به فاکتورهایی مانند هزینه، عدالت و زمان پاسخ مدنظر است [۵]. وقتی یک حادثه اتفاق می‌افتد، به راحتی می‌توان پی برد که سیستم پاسخ‌دهی به بحران کارآمد بوده است یا خیر. برنامه‌ریزی مدیریت بحران و بهینه‌سازی عملیات امداد رسانی کارآمدی سیستم پاسخ‌دهی را افزایش می‌دهد [۶]. ایران از نظر جغرافیایی در قسمت میانی کمربند پرتنش آلپ-همالیایا، که هنوز به تعادل نهایی نرسیده است، قرار دارد و به همین دلیل هرازگاهی زمین‌لرزه‌های مخرب در آن رخ می‌دهد. فشرده‌گی لایه‌های زیرین ساختار صفحات ایران سبب چین خوردگی و قرار گرفتن ما در معرض تنش دائمی شده است که عامل اصلی بیشتر زمین‌لرزه‌های ایران است. پیش‌بینی ناپذیر بودن بعضی از این حوادث و همچنین

فاجعه یا بحران<sup>۱</sup> مجموعه حوادثی است که به مختل شدن ارتباطات زیست‌محیطی بشر با محیط اطرافش منجر می‌شود [۲]. بحران ممکن است طبیعی (زلزله، سیل، توفان) یا انسانی (حمله تروریستی، نشت مواد شیمیایی) باشد. به دلیل ماهیت تصادفی بودن و پیش‌بینی ناپذیری بحران‌های طبیعی، باید طرح‌های بحرانی جامعی به‌منظور کاهش و تسکین خطرها و نتایج ناشی از بحران ارائه شود. برنامه‌ریزی برای رویارویی با این نوع پیامدها و آگاهی عمومی مردم موجب کاهش خسارات جانی و مالی می‌شود که این امر رویکرد اصلی واکنش‌های امدادی است [۳]. بعد از تجهیز سازمان‌های امداد رسانی و استقرار یافتن آن‌ها در پایگاه‌های خود، وظیفه اصلی و تعیین‌کننده در امداد رسانی، توزیع اقلام امدادی یا لجستیک امداد<sup>۲</sup> است. لجستیک امداد ضمن ایجاد هماهنگی بیشتر در تحویل کالاها و ارتباطات بین لایه‌ها، موجب افزایش سرعت تحویل و پاسخگویی می‌شود [۴]. به‌طور کلی، به‌منظور نیل به اهداف

تعداد زیاد قربانیان آن‌ها، امداد رسانی و خدمات رسانی به حادثه‌دیدگان را به یکی از حساس‌ترین زمینه‌های عملیات امداد و نجات تبدیل می‌کند.

## مرور ادبیات

مرور ادبیات براساس تقسیم‌بندی عملیات امداد به دو دسته<sup>۱</sup> پیش از بحران<sup>۲</sup> و پس از بحران<sup>۳</sup> صورت می‌گیرد. عملیات قبل از بحران شامل دو دسته فعالیت است: فعالیت‌هایی که نقش برنامه‌ریزی راهبردی دارند؛ مانند مکان‌یابی تسهیلات<sup>۴</sup> و پیش‌موقعیت موجودی<sup>۵</sup> و فعالیت‌هایی که نقش کاهش اثر بحران دارند؛ مانند تخلیه<sup>۶</sup> و فعالیت‌های مربوط به پدافند غیرعامل. عملیات بعد از بحران به آن دسته فعالیت‌ها اطلاق می‌شود که پس از وقوع بحران آغاز می‌شوند که به دو دسته کوتاه‌مدت و بلندمدت قابل تقسیم است. برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت شامل فعالیت‌هایی می‌شود که بلافاصله پس از وقوع بحران باید انجام گیرند؛ مانند توزیع اقلام امدادی<sup>۷</sup> به آسیب‌دیدگان، توزیع اقلام پزشکی به بیمارستان‌ها، تخلیه و ساماندهی افراد بی‌سرپناه و انتقال و درمان آسیب‌دیدگان. برنامه‌ریزی بلندمدت شامل فعالیت‌هایی می‌شود که در بازه چندروزه بعد از وقوع بحران آغاز می‌شوند؛ مانند بهبود، ساخت و ساز مجدد و مواجهه با

بحران‌های هم‌زمان<sup>۸</sup>. البته در برخی از تحقیقات مانند پژوهش مینایی و همکاران [۷] روش‌هایی توسعه داده شده است که داده‌های تاریخی مربوط به حوادث طبیعی را به گونه‌ای مناسب آماده‌سازی می‌کنند تا بهتر بتوان از آن‌ها در مدل‌های ریاضی استفاده کرد.

ادبیات این حوزه را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: ۱. مکان‌یابی تسهیلات، ۲. توزیع اقلام امدادی و انتقال مجروحان [۸].

## مکان‌یابی تسهیلات

همانطور که در شکل ۱ بطور شماتیک نشان داده شده است، عملیات لجستیک امداد به دو بخش قبل و بعد از بحران تقسیم شده است که بر اساس آن ادبیات این حوزه را می‌توان در دو دسته طبقه بندی کرد: (۱) مکان‌یابی تسهیلات و (۲) توزیع اقلام امدادی و انتقال مجروحان.

## مدل‌های مکان‌یابی

مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات اغلب مبتنی بر برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط با متغیرهای تصمیم مکانی صفر و یک هستند.



شکل ۱. تقسیم‌بندی ادبیات حوزه مدیریت بحران

می‌شود و مردم برای دریافت اقلام امدادی به این مکان‌ها مراجعه می‌کنند. نیاز این مراکز توزیع نیز توسط یک تأمین‌کننده تأمین می‌شود. از الگوریتم ابتکاری جست‌وجوی محلی تغییر یافته برای حل این مدل استفاده

بیشتر مدل‌های مکان‌یابی موجود در ادبیات تک‌پریودی است؛ زیرا فقط فاز پیش از بحران را در نظر گرفته‌اند [۸]. ناجی و همکاران [۹] یک مدل مکان‌یابی را ارائه کردند که در آن نقاطی از میان تعدادی نقطه بالقوه انتخاب

تصادفی، در یک مدل MIP به برنامه تخصیص وسایل نقلیه برای انتقال اقلام به بیمارستان‌ها تبدیل شده است. مطالعه موردی این پژوهش بررسی زلزله در سیاتل بوده است. این پژوهش در حالت تک‌دوره‌ای بررسی شده و ارتباطات درون‌لایه را نیز در نظر نگرفته است.

### توزیع اقلام امدادی و انتقال مجروحان

دسته‌ای دیگر از پژوهش‌ها به برنامه‌ریزی توزیع اقلام امدادی و در برخی موارد انتقال مجروحان پرداخته‌اند که بخشی از آن‌ها مکان‌یابی تسهیلات را نیز در نظر گرفته‌اند.

### تخصیص منابع

مدل‌های تخصیص منابع، به تخصیص منابع یا وظایف، بدون در نظر گرفتن جریان کالای در هر مسیر می‌پردازند [۸].

زنگ و لینگ [۱۲] یک مسئله برنامه‌ریزی حمل‌ونقل اضطراری لجستیک امداد را در قالب بهینه‌سازی فازی چندهدفه مدل کرده‌اند که در آن سه نوع حمل‌هوایی، ریلی و زمینی در نظر گرفته شده است. آن‌ها با استفاده از سه معیار رتبه‌بندی فازی مرتبط، اعداد فازی را ارزیابی کردند و از همین طریق عدم قطعیت را مدل کردند. در این مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل به صورت تخصیص وسایل نقلیه انجام گرفته است. برای حل مدل نیز روش بهینه‌سازی تعاملی استفاده شده است که در آن مسئله اصلی را به مجموعه‌ای از زیرمسئله تقسیم می‌کنند و پس از حل همزمان زیرمسئله‌ها و تجمیع آن‌ها، جواب مسئله اصلی را می‌یابند. این پژوهش نیز تمامی زنجیره تأمین امداد را به صورت یکپارچه در نظر نمی‌گیرد و فقط برنامه‌ریزی حمل‌ونقل بعد از بحران را مدنظر قرار می‌دهد. همچنین، مدل برای حالت تک‌دوره‌ای توسعه داده شده است.

از دامار و همکاران [۱۳] یک مدل جریان شبکه چند دوره‌ای و چندکالایی ارائه دادند. در مدل آن‌ها فرض می‌شود که تقاضای فعلی مشخص است، ولی ممکن است تقاضا، عرضه یا دسترسی به شبکه در دوره‌های زمانی آتی دچار تغییر شوند. در نتیجه، مدل باید در هر دوره زمانی، با توجه داده‌های جدید، دوباره حل شود. هدف این مدل حداقل کردن تأخیرات ناشی از تحویل اقلام امدادی است. داده‌ها در این مدل قطعی است و تصمیمات اتخاذ شده فقط برای زمان پس از بحران است.

شده است. هدف مدل کمینه‌کردن کل مسافت طی‌شده توسط وسایل نقلیه بوده است.

بالکیک و همکاران [۴] یک مدل تک‌هدفه را توسعه دادند که تعداد و مکان مراکز توزیع را در شبکه امدادسانی و مقدار کالایی که باید در هر مرکز ذخیره شود، مشخص می‌کند. مدل آن‌ها چندکالایی بوده و محدودیت بودجه نیز در آن در نظر گرفته شده است.

### در نظر گرفتن توزیع اقلام امدادی و

#### پیش‌موقعیت موجودی

دسته‌ای دیگر از مدل‌های مکان‌یابی، پیش‌موقعیت موجودی و توزیع اقلام امدادی را به صورت ترکیبی در مدل خود در نظر می‌گیرند که اغلب با هدف کاهش هزینه است. این مدل‌ها با در نظر گرفتن جنبه‌هایی مانند تعیین ساختار سازمانی اولویت‌بندی شده، محدودیت‌های بودجه‌ای و هزینه تقاضای ارضاننده توانستند نوآوری‌هایی ایجاد کنند [۸].

رائولز و ترنکوئیست [۱۰] با توجه به عدم قطعیت موجود در مورد زمان و مکان بروز حوادث طبیعی، مدل تصادفی دومرحله‌ای عدد صحیح مخلوطی را برای مکان‌یابی انبارها و همچنین تعیین میزان پیش‌موقعیت هر یک از انواع کالا در هر انبار و تعیین جریان در شبکه بعد از وقوع بلایا، تحت سناریوهای احتمالی ارائه دادند. متغیرهای تصمیم مرحله اول شامل مکان تسهیلات انبارش، اندازه آن‌ها و همچنین تصمیمات ذخیره‌سازی مقادیر انواع مختلف کالا و تصمیمات مرحله دوم شامل توزیع کالاهای در دسترس، در فاز پاسخ، با توجه به شرایط هر سناریو است. به علت پیچیدگی محاسباتی مسئله، از الگوریتم ابتکاری لاگرانژ آل شکل<sup>۱۰</sup> برای حل مسائل با اندازه بزرگ استفاده شده است.

مت و زابینسکی [۱۱] تصمیمات راهبردی و عملیاتی مدیریت بحران را در قالب یک مدل تصادفی دومرحله‌ای و یک مدل MIP مدل‌سازی کرده‌اند. در مرحله اول مدل تصادفی ارائه شده، انبارهایی برای ذخیره اقلام پزشکی از بین چند کاندیدا انتخاب و سطوح موجودی آن‌ها نیز تعیین می‌شوند. در مرحله دوم، مقدار اقلام پزشکی ارسالی از هر انبار به هر بیمارستان تحت هر سناریو تعیین می‌شود. سپس اطلاعات تجمیع شده ارسال کالا منتج از مدل

## تعیین جریان کالا

مدل‌هایی که جریان کالای درون شبکه را تعیین می‌کنند، تصمیمات مربوط به مقادیری را که باید از هر مسیر مشخص حمل شود، بدون تخصیص هیچ منبعی مانند وسایل نقلیه اتخاذ می‌کنند.

ترنگ و همکاران [۱۴] با در نظر گرفتن سه هدف شامل کمترین هزینه کل، کمترین زمان ارسال و بیشترین میزان رضایت، مقدار کالایی را تعیین کرده‌اند که باید از انبارها به نقاط تقاضا ارسال شود. حل مدل با به کارگیری منطق فازی در تعیین سطح دسترسی به هر هدف بوده است.

شو [۱۵] یک رویکرد ترکیبی گروه‌بندی-بهینه‌سازی فازی برای امداد رسانی بلافاصله بعد از وقوع بحران ارائه داده است. روش ارائه‌شده در این پژوهش از دو فرایند بازگشتی استفاده می‌کند: ۱. گروه‌بندی مناطق آسیب‌دیده براساس شاخص‌های تعریف‌شده و ۲. برنامه‌ریزی توزیع اقلام امدادی در قالب تعیین جریان اقلام در شبکه.

هوانگ و سانگ [۱۶] یک مدل ریاضی توزیع اقلام امدادی را برای مسیریابی ماشین‌های امدادی از یک مرکز به مناطق آسیب‌دیده یا از مرکز آسیب‌دیده به سایر مراکز توسعه دادند. زمان رسیدن به مناطق آسیب‌دیده و همچنین تقاضای هر منطقه تصادفی در نظر گرفته شده است و از آنجا که حادثه به‌طور ناگهانی اتفاق می‌افتد که معمولاً سابقه نداشته است، هیچ‌گونه داده تاریخی در این موارد هم وجود ندارد. در نتیجه، در این تحقیقات از نظر خبرگان برای تخمین پارامترها استفاده شده است. همچنین، برای حل مدل ریاضی ارائه‌شده یک روش مبتنی بر الگوریتم ژنتیک به کار گرفته شده است.

## تعیین جریان کالا و تخصیص منابع

اغلب مدل‌هایی که در حوزه توزیع اقلام و انتقال مجروحان ارائه شده‌اند، تعیین جریان کالا و تخصیص منابع را به صورت توأم انجام می‌دهند.

نجفی و همکاران [۱۷] یک مدل تصادفی چندهدفه، چندکالایی و چند دوره‌ای ارائه دادند که توزیع اقلام امدادی، حمل و نقل مجروحان و تخصیص وسایل نقلیه را بعد از وقوع زمین‌لرزه برنامه‌ریزی می‌کند. آن‌ها از یک رویکرد پایدار برای اطمینان از عملکرد مناسب برنامه در شرایط مختلف بعد از زلزله نیز استفاده کردند.

همچنین، علینقیان و همکاران [۱۸] به منظور مسیریابی تجهیزات امدادی در شرایط بحران با تقاضای فازی یک مدل ریاضی بر پایه مسیریابی پوشش تور امدادی<sup>۱۱</sup> برای ارسال کالاهای ضروری ارائه دادند و سپس با یک روش فرا ابتکاری آن را حل کردند.

هوانگ و همکاران [۱۹] با در نظر گرفتن اهداف بشردوستانه، مدلی برای برنامه‌ریزی تخصیص منابع و توزیع اقلام امدادی توسعه دادند. آن‌ها سه هدف «کاهش تعداد تلفات»، «کاهش هزینه تأخیر در ارسال اقلام» و «عدالت در توزیع» را برای مدل خود برگزیدند. به‌روزرسانی اطلاعات بحران و تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها نیز از طریق رویکرد افق غلطان<sup>۱۲</sup> در شبکه وارد شده است. برای حل مسئله از الگوریتم نابرابری تغییرات<sup>۱۳</sup> استفاده شده است.

هو و همکاران [۲۰] مدلی ریاضی را با دو هدف بازدهی و عدالت در کمک‌رسانی در حوادث و سوانح طبیعی ارائه داده‌اند که در آن اقلام امدادی باید توسط یک مرکز امداد رسانی با توجه به کمبود منابع بالادست، به‌گونه‌ای عادلانه و با بازدهی بالا بین مناطق آسیب‌دیده توزیع شود. مدل توسعه داده‌شده برای یک زلزله واقعی در ونچوان<sup>۱۴</sup> چین استفاده شده است.

## نوآوری‌های این پژوهش

با توجه به مرور ادبیات ارائه‌شده و شکاف‌های بین مدل‌های موجود و مدل یکپارچه مدیریت بحران، در این پژوهش نوآوری‌هایی به کار رفته است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود. در این پژوهش، یک مدل تصادفی دومرحله‌ای خطی صفر و یک در فضای عدم قطعیت توسعه داده شده است که شامل ویژگی‌های زیر می‌شود:

۱. تأثیر ارتباطات دوطرفه<sup>۱۵</sup> بین دو توزیع‌کننده در یک لایه از زنجیره: در مدل ارائه‌شده در این تحقیق، علاوه بر در نظر گرفتن ارتباطات بین لایه‌های مختلف، ارتباطات درون لایه‌ای نیز در نظر گرفته می‌شود (شکل ۲). ویژگی ارتباط دوطرفه این انعطاف‌پذیری را به مدل می‌دهد که بین هزینه کمبود یکی از انبارها و هزینه انتقال کالا از انبارهای اطراف، بالانس ایجاد کند و تصمیمی در راستای اهداف مدنظر اتخاذ کند؛ زیرا در شرایط بحران، کمبود یک کالا (مانند بسته امدادی و دارویی) تبعات جبران‌ناپذیری در پی دارد.

سه دوره‌ای و برای سه روز یا ۷۲ ساعت پس از بحران در نظر گرفته شده است.

- مقدار تقاضا برای اقلام امدادی در افق برنامه‌ریزی همراه با عدم قطعیت و وابسته به عوامل مختلف از قبیل شدت و آثار بلایاست. برای مدل‌سازی این متغیر غیرقطعی از یک مجموعه سناریوی گسسته استفاده شده است که احتمال وقوع هر سناریو نیز مشخص است.

- پارامترهای هزینه‌ای زنجیره امداد رسانی مانند هزینه‌های حمل‌ونقل، کمبود و نگهداری اقلام نیز در مدل کلی به صورت پارامتریک و وابسته به سناریو در نظر گرفته شده‌اند که البته در مطالعه موردی استفاده شده، همه این پارامترهای هزینه‌ای در طول افق برنامه‌ریزی ثابت فرض شده‌اند.

- مدل ارائه شده به صورت چندکالایی است و برای هر کالای امدادی، حجم مشخص و هزینه‌های تهیه، کمبود و نگهداری متفاوتی وجود دارد.

- علاوه بر هزینه نگهداری برای اقلام امدادی موجود در انبارها طی افق برنامه‌ریزی بعد از بحران، برای اقلام امدادی باقیمانده در مناطق آسیب‌دیده نیز هزینه نگهداری در نظر گرفته شده است؛ زیرا این اقلام مازاد حمل شده به یک نقطه آسیب‌دیده ممکن است موجب کمبود در سایر مناطق شوند.

- نقاط تقاضا (مناطق آسیب‌دیده) و مکان انبار مرکزی مشخص است. برای احداث انبارهای منطقه‌ای نیز نقاط بالقوه‌ای تعیین شده‌اند.

- در هر دوره زمانی، هر منطقه آسیب‌دیده فقط از یک انبار منطقه‌ای می‌تواند اقلام امدادی را دریافت کند. به عبارت دیگر، حالت تک تخصیصی برای هر منطقه آسیب‌دیده خواهیم داشت.

- دوره‌های زمانی، یک‌روزه تعریف شده‌اند؛ بنابراین، ارسال و دریافت کالا بین انبارهای منطقه‌ای به علت فاصله کم آن‌ها، در همان دوره زمانی انجام می‌گیرد و زمان تحویل بین انبارهای منطقه‌ای در نظر گرفته نشده است.

- در فاز بعد از بحران، هر انبار منطقه‌ای می‌تواند نیاز خود را از انبار مرکزی یا سایر انبارهای منطقه‌ای احداث شده دریافت کند و همچنین نیاز یک یا چند انبار منطقه‌ای

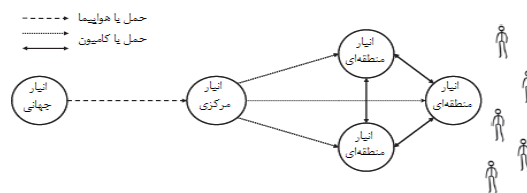
۲. چندمرحله‌ای<sup>۱۶</sup> در نظر گرفتن فاز پاسخ بحران: فاز پاسخ بحران در این پژوهش به صورت چندمرحله‌ای در نظر گرفته شده است که به افزایش واقع‌گرایی مدل منجر می‌شود.

۳. تخصیص مناطق آسیب‌دیده به انبارها برای تمرکز توزیع: با تعریف یک متغیر صفر و یک به منظور تعیین ارتباط بین انبارها و مناطق آسیب‌دیده، هر منطقه آسیب‌دیده فقط به یک انبار تخصیص می‌یابد که با در نظر گرفتن امکان رابطه دوطرفه بین انبارها، هر انبار نقش یک نقطه متمرکز توزیع را برای مناطق تحت پوشش خود ایفا می‌کند.

۴. پیاده‌سازی مدل ارائه شده برای یک مورد واقعی (شهر تهران بزرگ): همواره در تحقیقات علمی قابلیت پیاده‌سازی مدل برای شرایط واقعی یکی از ویژگی‌های مدنظر است. در این پژوهش، تلاش شده است تا مستندترین اطلاعات در این زمینه جمع‌آوری شود. اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش از گزارش نهایی ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ- تهیه شده توسط جایکا- گردآوری شده است.

## روش تحقیق

هدف این پژوهش ارائه یک مدل تصادفی دومرحله‌ای برای مکان‌یابی انبارهای منطقه‌ای به همراه تعیین پیش‌موجودی آن‌ها و یکپارچگی تصمیمات شبکه توزیع اقلام با در نظر گرفتن امکان روابط دوطرفه بین انبارهای منطقه‌ای است (شکل ۲).



شکل ۲. ساختار شبکه توزیع اقلام امدادی

## مفروضات پژوهش

سایر مفروضات مورد نظر برای این مدل در زیر به صورت خلاصه بیان می‌شود:

- زمان نقش حیاتی در مدیریت بحران دارد. برنامه‌ریزی فاز بعد از بحران، با عرضه و تقاضا متغیر و وابسته به زمان مواجه است. در نتیجه، مدل ارائه شده به صورت

بنابراین، نیازهای مناطق بدون بیمارستان در مناطقی جمع شده است که بیمارستان دارند.

### مدل ریاضی

در این بخش، مجموعه‌ها، پارامترها، متغیرهای تصمیم، تابع هدف و محدودیت‌های مدل تشریح می‌شود.

### مجموعه‌ها و اندیس‌ها

مجموعه‌ها و اندیس‌های مورد استفاده در مدل عبارت‌اند از:  $I$  مجموعه نقاط کاندید احداث انبارهای منطقه‌ای  $(i, i' \in I)$ ،  $J$  مجموعه نقاط تقاضا (مناطق آسیب‌دیده)  $(j \in J)$ ،  $K$  مجموعه کالاهای امدادی و اضطراری موجود در زنجیره  $(k \in K)$ ،  $T$  افق برنامه‌ریزی  $(t \in T)$  و  $S$  مجموعه سناریوها  $(s \in S)$ .

دیگر را تأمین کند. به عبارت دیگر، امکان ایجاد روابط دوطرفه بین انبارهای منطقه‌ای وجود دارد.

- برای حمل‌ونقل اقلام امدادی بین انبار مرکزی و انبارهای منطقه‌ای، انبارهای منطقه‌ای با یکدیگر و بین انبارهای منطقه‌ای و مناطق آسیب‌دیده، فقط حمل‌ونقل جاده‌ای امکان‌پذیر است و برای حمل‌ونقل اقلام امدادی بین انبار جهانی و مرکزی فقط حمل‌ونقل هوایی امکان‌پذیر است.
- اقلام امدادی به مناطق آسیب‌دیده ارسال می‌شوند؛ بنابراین، برای مناطق آسیب‌دیده‌ای که در آن‌ها بیمارستان وجود دارد، بسته‌های امدادی ارسال می‌شود. همچنین، فرض شده است مناطقی که بیمارستان ندارند، مجروحان خود را با نرخی از پیش تعیین شده به مناطق هم‌جوار می‌فرستند؛

### پارامترهای مورد استفاده در مدل

جدول ۱. پارامترهای مورد استفاده در مدل

نماد ریاضی	توضیح پارامتر
$g_i$	هزینه راه‌اندازی انبار $i$
$P_s$	احتمال رخداد سناریوی $s$
$vol_k$	حجم کالای $k$
$cap_i$	ظرفیت انبار $i$ (براساس حجم)
$cap_c$	ظرفیت انبار مرکزی (براساس حجم)
$LRZc_{ij}^{s,t}$	ظرفیت حمل‌ونقلی بین انبار منطقه‌ای $i$ و منطقه آسیب‌دیده $j$ (براساس حجم کالا) تحت سناریوی $s$ در پریود $t$
$LRZa_{ij}^{s,t}$	ضریب ظرفیت حمل‌ونقلی قابل استفاده بین انبار منطقه‌ای $i$ و منطقه آسیب‌دیده $j$ تحت سناریوی $s$ در پریود $t$
$LRRc_{i'i'}^{s,t}$	ظرفیت حمل‌ونقلی بین انبارهای منطقه‌ای $i$ و $i'$ (براساس حجم کالا) تحت سناریوی $s$ در پریود $t$
$LRRa_{i'i'}^{s,t}$	ضریب ظرفیت حمل‌ونقلی قابل استفاده بین انبارهای منطقه‌ای $i$ و $i'$ تحت سناریوی $s$ در پریود $t$
$h_k$	هزینه نگهداری کالای $k$ برای یک دوره زمانی
$avail_k^s$	ضریب میزان کالای $k$ که تحت سناریوی $s$ در انبار منطقه‌ای $i$ قابل استفاده باقی می‌ماند
$D_j^t$	تقاضا در نقطه $j$ برای بسته امدادی $k$ در دوره $t$ تحت سناریوی $s$
$SCO_k$	موجودی اولیه انبار مرکزی برای کالای $k$ در فاز قبل از بحران
$TRR_{i'i'}^{s,t}$	هزینه متغیر ارسال یک واحد کالای $k$ از انبارهای منطقه‌ای $i$ و $i'$ تحت سناریوی $s$ در پریود $t$
$TCR_{i'}^{s,t}$	هزینه متغیر ارسال یک واحد کالای $k$ از انبار مرکزی به انبار منطقه‌ای $i$ تحت سناریوی $s$ در پریود $t$
$TGC_k^{s,t}$	هزینه متغیر ارسال یک واحد کالای $k$ از انبار جهانی به انبار مرکزی تحت سناریوی $s$ در پریود $t$

## ادامه جدول ۱. پارامترهای مورد استفاده در مدل

نماد ریاضی	توضیح پارامتر
$TRZ_{ijk}^{st}$	هزینه متغیر ارسال یک واحد کالای $k$ از انبار منطقه‌ای $i$ به نقطه تقاضای $j$ تحت سناریوی $s$ در پریود $t$
$Penalty_j^t$	هزینه جریمه هر واحد کمبود کالای $k$ در نقطه تقاضای $j$ مربوط به پریود $t$ تحت سناریوی $s$
$l$	زمان تحویل (lead-time) بین انبار مرکزی و انبارهای منطقه‌ای
$T_{thresh}$	حداکثر مدت زمانی که باید در ۴۸ ساعت ابتدایی فاز پاسخ تقاضای آن مدت را تأمین کرد
$\alpha_i$	درصدی از موجودی انبار $i$ که می توان آن را در قالب روابط دوطرفه در دوره اول به انبارهای دیگر ارسال کرد
$\beta$	ضریب جریمه دریافت کالا از خارج از شبکه از دوره سوم به بعد

## متغیرهای تصمیم مدل

## جدول ۲. متغیرهای تصمیم مدل

نماد ریاضی	توضیح پارامتر
$SPre_{ik}$	پیش موجودی کالای $k$ انبار منطقه‌ای $i$ قبل از بحران
$RD_i$	متغیر تصمیم صفر و یک نشان دهنده احداث انبار در نقطه کاندید $i$
$FCR_{ik}^{st}$	تعداد کالای $k$ ارسالی از انبار مرکزی به انبار منطقه‌ای $i$ در دوره $t$ تحت سناریوی $s$
$FRR_{i'i'k}^{st}$	تعداد کالای $k$ ارسالی از انبار منطقه‌ای $i$ به انبار منطقه‌ای $i'$ در دوره $t$ تحت سناریوی $s$
$LRR_{i'i'}^t$	متغیر تصمیم صفر و یک نشان دهنده ارتباط دوطرفه بین دو انبار منطقه‌ای $i$ و $i'$ در هر دوره
$SR_{ik}^{st}$	موجودی کالای $k$ در انبار منطقه‌ای $i$ در انتهای دوره $t$ تحت سناریوی $s$
$FRZ_{ijk}^{st}$	تعداد کالای $k$ ارسالی از انبار منطقه‌ای $i$ به منطقه $z$ در دوره $t$ تحت سناریوی $s$
$FGC_k^{st}$	تعداد کالای $k$ ارسالی از انبار جهانی به انبار مرکزی در دوره $t$ تحت سناریوی $s$
$SC_k^{st}$	موجودی کالای $k$ در انبار مرکزی در انتهای دوره $t$ تحت سناریوی $s$
$DU_{jk}^{st}$	مقدار تقاضای پاسخ داده نشده از بسته امدادی $k$ در نقطه تقاضا $j$ در انتهای دوره $t$ تحت سناریوی $s$
$SZ_{jk}^{st}$	موجودی امدادی $k$ در نقطه تقاضای $j$ در انتهای دوره $t$ تحت سناریوی $s$
$LRZ_{ij}^t$	متغیر تصمیم صفر و یک نشان دهنده ارتباط بین منطقه $j$ و انبار منطقه‌ای $i$ در هر دوره و تحت هر سناریو

در تابع هدف مرحله اول برای پیش موجودی‌ها، هزینه نگهداری در نظر گرفته نمی‌شود. از آنجاکه در محدودیت‌های مربوط به انبارهای منطقه‌ای، مقدار پیش موجودی کالا به مقدار موجودی نگهداری شده در انتهای پریود اول افق برنامه‌ریزی متصل می‌شود، مدل به منظور ممانعت از ایجاد هزینه نگهداری در پریود اول در انبارهای منطقه‌ای، از ذخیره‌سازی بیش از نیاز در فاز آماده‌سازی جلوگیری می‌کند؛ برای مثال، اگر ظرفیت انبارهای منطقه‌ای ۱۰۰۰ واحد باشد و ما نیز برای

## توابع هدف مدل

به علت ماهیت دومرحله‌ای بودن مدل، توابع هدف به صورت جداگانه در قالب دو مرحله بیان شده است.

## تابع هدف مرحله اول

$$\min f = \sum g_i \times RD_i + E(Q(x, s, w)) \quad (1)$$

در رابطه ۱، مجموع هزینه احداث انبارهای منطقه‌ای به علاوه امید ریاضی رخدادهای سناریوها کمینه شده است.

رابطه ۷ بیانگر هزینه‌های مربوط به تقاضاهای ارضاننده است

### محدودیت‌های مدل

محدودیت‌های مدل را می‌توان به روش‌های زیر دسته‌بندی کرد.

۱. محدودیت‌های مرحله اول:

$$\sum_k SPre_{ik} \cdot vol_k \leq cap_i \cdot RD_i \quad \forall_{i \in I} \quad (8)$$

محدودیت ۸ تضمین‌کننده عدم تخصیص کالا به انبار منطقه‌ای احداث نشده و رعایت ظرفیت هر انبار به‌ازای هر کالا (براساس حجم) است.

۲. محدودیت‌های مربوط به انبارهای منطقه‌ای:

$$SR_{ik}^{s,t} = avail_i^s \cdot SPre_{ik} + \sum_{i' \neq i} FRR_{i'ik}^{s,t} - \sum_j FRZ_{ijk}^{s,t} - \sum_{i' \neq i} FRR_{i'ik}^{s,t} ; \forall_{i \in I} \cdot \forall_{k \in K} \cdot \forall_{s \in S} \cdot \forall_{t=1}$$

(۹)

برای دوره اول، محدودیت تعادل به‌صورت رابطه ۹ نوشته می‌شود که موجودی اولیه انبارهای منطقه‌ای، همان پیش‌موجودی ذخیره‌شده در فاز قبل از بحران است که فقط بخشی از آن در دسترس است و مقداری از آن به‌دلیل خسارات ناشی از زلزله از دسترس خارج شده است.

$$SR_{ik}^{s,t} = SR_{ik}^{s,t-1} + \sum_{i' \neq i} FRR_{i'ik}^{s,t} - \sum_j FRZ_{ijk}^{s,t} - \sum_{i' \neq i} FRR_{i'ik}^{s,t} ; \forall_{i \in I} \cdot \forall_{k \in K} \cdot \forall_{s \in S} \cdot \forall_{1 < t \leq T} \quad (10)$$

برای دوره‌های قبل از زمان تحویل محدودیت تعادل به‌صورت رابطه ۱۰ نوشته می‌شود که در آن هیچ نوع ورودی از انبار مرکزی وجود ندارد.

$$SR_{ik}^{s,t} = SR_{ik}^{s,t-1} + FCR_{ik}^{s,t-1} + \sum_{i' \neq i} FRR_{i'ik}^{s,t} - \sum_j FRZ_{ijk}^{s,t} - \sum_{i' \neq i} FRR_{i'ik}^{s,t} ; \forall_{i \in I} \cdot \forall_{k \in K} \cdot \forall_{s \in S} \cdot \forall_{t \in \{1, \dots, T\}} \quad (11)$$

طبق محدودیت ۱۱، موجودی انتهای دوره  $t$  در انبار منطقه‌ای  $i$  برابر با موجودی انتهای دوره  $t-1$  به‌علاوه موجودی ارسال شده از انبار مرکزی از دوره  $t-2$  و موجودی پشتیبان‌رسانی از انبارهای منطقه‌ای دیگر در دوره  $t-1$  است که بخشی از آن به نقاط تقاضا ارسال می‌شوند و بخشی از آن نیز به‌عنوان موجودی پشتیبان به دیگر

پیش‌موجودی انبارهای منطقه‌ای هزینه نگهداری در نظر نمی‌گیریم، به‌نظر می‌رسد مدل برای پاسخگویی هرچه بهتر از همه ظرفیت انبار استفاده می‌کند و در ظاهر هیچ هزینه نگهداری هم نمی‌پردازد. ولی اگر در دوره اول ۱۰۰ واحد تقاضای یکی از مناطق را ارسال کند، ۹۰۰ واحد در انتهای دوره اول موجودی نگهداری می‌کند که این موجودی مشمول هزینه نگهداری می‌شود. در نتیجه، مدل به‌منظور جلوگیری از ایجاد هزینه نگهداری در انتهای دوره اول، از ذخیره‌سازی بیش از نیاز پیش‌موجودی اجتناب می‌کند.

### تابع هدف مرحله دوم

$$E(Q(x,s,\omega)) = \sum_s P_s \times [C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5] \quad (2)$$

رابطه ۲ تابع هدف مرحله دوم است که به‌منظور کمینه‌کردن هزینه‌های زنجیره نوشته شده است و شامل اجزای زیر می‌شود.

$$C_1 = \sum_{t=1}^T \sum_i \left( \sum_k h_k \cdot SR_{ik}^{s,t} + \sum_{i' \neq i} \sum_k FRR_{i'ik}^{s,t} \cdot TRR_{i'ik}^{s,t} \right) \quad (3)$$

این جزء از تابع هدف مربوط به هزینه‌های تأمین و نگهداری کالا برای انبارهای منطقه‌ای است.

$$C_2 = \sum_{t=1}^T \left( \sum_k h_k \cdot SC_k^{s,t} + \sum_i \sum_k FCR_{ik}^{s,t} \cdot TCR_{ik}^{s,t} + \sum_k FGC_k^{s,t} \cdot TGC_k^{s,t} \right) \quad (4)$$

این جزء از تابع هدف مربوط به هزینه‌های ارسال و نگهداری کالا برای انبار مرکزی است.

$$C_3 = \sum_{t=1}^T \sum_i \sum_j \sum_k FRZ_{ijk}^{s,t} \cdot TRZ_{ijk}^{s,t} \quad (5)$$

رابطه ۵ بیانگر هزینه‌های مربوط به ارسال کالاهای امدادی به نقاط تقاضاست.

$$C_4 = \sum_{t=1}^T \sum_j \sum_k SZ_{jk}^{s,t} \cdot h_k \quad (6)$$

رابطه ۶ بیانگر هزینه‌های مربوط به کالاهای باقیمانده در هر منطقه در انتهای هر دوره است.

$$C_5 = \sum_{t=1}^T \sum_j \sum_k DU_{jk}^{s,t} \cdot Penalty_{jk}^{s,t} \quad (7)$$



همه انبارها با همه مناطق آسیب دیده، در عمل شبکه حمل و نقلی توانایی پشتیبانی این حجم از حمل و نقل بین همه انبارها و نقاط آسیب دیده را ندارد و در برخی موارد امکان حمل و نقل و ارسال کالا بین بعضی انبارها و مناطق آسیب دیده وجود ندارد. ولی وقتی هر نقطه آسیب دیده به یک انبار متصل شود و انبارها در قالب روابط دوطرفه به هم کمک کنند، حمل و نقلها به صورت منطقه‌ای صورت می‌گیرد و در یک شبکه حمل و نقل، که بخشی از آن تخریب شده است، امکان پذیر می‌شود.

۳. محدودیت‌های مربوط به انبار مرکزی:

$$SC_k^{s,t} = SC0_k - \sum_i FCR_{ik}^{s,t} ; \forall_{k \in K} \cdot \forall_{s \in S} \cdot t = 1 \quad (18)$$

محدودیت ۱۸ تعادل جریان کالا را در انبار مرکزی برای دوره اول نشان می‌دهد و همان‌طور که مشاهده می‌شود در دوره اول از انبار جهانی ورودی کالا نداریم. موجودی اولیه انبار مرکزی ( $SC_k^{s,0}$ )، با پارامتر  $SC0$  نمایش داده شده است.

$$SC_k^{s,t} = SC_k^{s,t-1} + FGC_k^{s,t-1} - \sum_i FCR_{ik}^{s,t} ; \forall_{k \in K} \cdot \forall_{s \in S} \cdot \forall_{t \in \{2,3,\dots\}} \quad (19)$$

محدودیت ۱۹ نشان می‌دهد موجودی انتهای دوره  $t$  در انبار مرکزی برابر است با موجودی باقیمانده از انتهای دوره  $t-1$ ، به علاوه کالاهای وارد شده از انبار جهانی به آن، که بخشی از این موجودی‌ها نیز به انبارهای منطقه‌ای ارسال می‌شوند.

$$\sum_k SC_k^{s,t} \cdot vol_k \leq capc ; \forall_{s \in S} \cdot \forall_{t \in T} \quad (20)$$

محدودیت ۲۰ تضمین کننده رعایت ظرفیت انبار مرکزی است.

$$\sum_k FCR_{ik}^{s,t} \leq M_{big} \cdot RD_i ; \forall_{i \in I} \cdot \forall_{s \in S} \cdot \forall_{t \in T} \quad (21)$$

محدودیت ۲۱ تضمین کننده عدم ارسال کالا از انبار مرکزی به انبارهای تأسیس نشده است.

۴. محدودیت‌های مربوط به نقاط تقاضا:

$$SZ_{jk}^{s,t} = \sum_i FRZ_{ijk}^{s,t} - D_{jk}^{s,t} + DU_{jk}^{s,t} ; \forall_{j \in J} \cdot \forall_{k \in K} \cdot \forall_{s \in S} \cdot t = 1 \quad (22)$$

محدودیت ۲۲ تضمین کننده تعادل در نقاط تقاضا برای دوره اول است.

انبارهای منطقه‌ای ارسال می‌شوند. در این محدودیت، عبارت مقدار کالای دریافتی از انبار مرکزی نیز اضافه شده است.

$$\sum_{i' \neq i} FRR_{i'k}^{s,t} \leq \alpha_i \times avail_i^s \times SPre_{ik} ; \forall_{i \in I} \cdot \forall_{k \in K} \cdot \forall_{s \in S} \cdot t = 1 \quad (12)$$

طبق محدودیت ۱۲، انبارهای منطقه‌ای در دوره اول مجازند فقط  $\alpha$  درصد از موجودی در دسترس خود را در قالب روابط دوطرفه به انبارهای منطقه‌ای دیگر ارسال کنند. این محدودیت موجب می‌شود مدل در دوره اول سعی کند به آسیب دیدگان هر منطقه از طریق انبار منطقه‌ای تخصیص یافته امداد رسانی کند و پس از دوره دوم به انبارهای منطقه‌ای دیگر کمک کند.

$$\sum_k FRR_{i'k}^{s,t} \times vol_k \leq LRRa_{i'k}^s \times LRRc_{i'k}^s ; \forall_{i' \in I} \cdot \forall_{k \in K} \cdot \forall_{s \in S} \quad (13)$$

محدودیت ۱۳ بیانگر ظرفیت مسیره‌های ارتباطی بین انبارهای منطقه‌ای است.

$$\sum_k SR_{ik}^{s,t} \cdot vol_k \leq cap_i ; \forall_{i \in I} \cdot \forall_{t \in T} \cdot \forall_{s \in S} \quad (14)$$

محدودیت ۱۴ تضمین کننده عدم تجاوز موجودی کالایی درون انبارهای منطقه‌ای (بر اساس حجم) از ظرفیت آن‌ها، در هر دوره زمانی است.

$$\sum_k FRR_{i'k}^{s,t} \leq M_{big} \cdot LRR_{i'k}^s ; \forall_{i' \in I} \cdot \forall_{k \in K} \cdot \forall_{s \in S} \quad (15)$$

محدودیت ۱۵ نیز تضمین جریان کالا در قالب ارتباط دوطرفه به شرط وجود ارتباط بین دو انبار است.

$$LRR_{i'k}^s + LRR_{ki}^s \leq 1 ; \forall_{i, i' \in I} \cdot \forall_{k \in K} \quad (16)$$

محدودیت ۱۶ بیان می‌کند اگر در یک دوره موجودی از انبار  $i$  به  $i'$  ارسال شود، دیگر در همان دوره نمی‌توان موجودی از انبار  $i'$  به  $i$  ارسال کرد.

$$2 \times LRR_{i'k}^s \leq RD_i + RD_{i'} ; \forall_{i, i' \in I} \cdot \forall_{k \in K} \quad (17)$$

محدودیت ۱۷ تضمین کننده ارتباط دوطرفه بین دو انبار احداث شده است.

حسن وجود روابط دوطرفه در این است که مدل تصمیم می‌گیرد موجودی در انبار را ذخیره کند و متحمل هزینه نگهداری شود، ولی با یک حمل و نقل سریع و درون شهری از یک انبار به انبار دیگر امداد رسانی کند. در صورت در نظر نگرفتن روابط دوطرفه و باز گذاشتن ارتباط

$(T_{designed})$  را در طول  $T_{thresh}$  اولیه پس از بحران به مناطق آسیب‌دیده رساند. در محدودیت ۲۹، کل ورودی‌ها از انبار جهانی به انبار مرکزی در  $T_{thresh}$  ساعت پس از بحران + پیش‌موجودی انبار مرکزی + پیش‌موجودی انبارهای منطقه‌ای باید بزرگ‌تر یا مساوی باشد با کل تقاضا در  $T_{designed}$  پیروی.

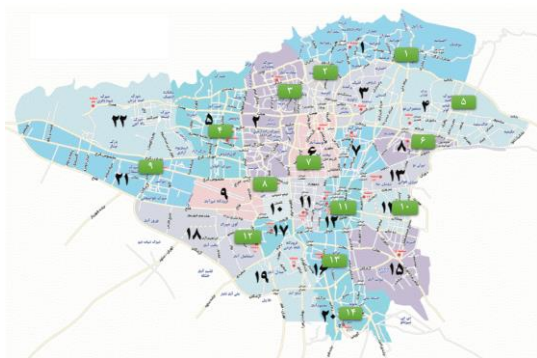
### مطالعه موردی

اطلاعات ارائه‌شده در این قسمت از گزارش نهایی ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ استخراج شده است [۱]. مطالعه ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ بنابر خواست دولت جمهوری اسلامی ایران از طریق همکاری با دولت ژاپن انجام گرفت.

اهداف مطالعه شامل موارد زیر است:

- تهیه نقشه‌های ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای به‌عنوان ابزار پایه‌ای برای تهیه طرح پیشگیری از بحران شهری و منطقه‌ای در گستره تهران بزرگ؛
- ارائه پیش‌بینی‌هایی از خسارات جانی و مالی در صورت وقوع زلزله؛
- ارائه توصیه‌هایی برای کاهش اثر بحران ناشی از زلزله.

باید برنامه پیشگیری از بلایای ناشی از زلزله در سطح منطقه‌ای و شهری تهیه شود تا آسیب‌های احتمالی ناشی از رویداد زلزله را کاهش دهد. بهره‌گیری از سناریوسازی زلزله به‌منظور برنامه‌ریزی واکنش اضطراری و برنامه‌ریزی پیشگیری از اثر بحران ناشی از زلزله، برای یک شهر بسیار مفید است. در نتیجه، باید زلزله‌هایی را در نظر گرفت که بیشترین خسارت را به تهران وارد می‌کنند.



شکل ۳. پراکندگی نقاط بالقوه احداث انبار منطقه‌ای

$$SZ_{jk}^{s,t} = SZ_{jk}^{s,t-1} + \sum_i FRZ_{ijk}^{s,t} - D_{jk}^{s,t} - DU_{jk}^{s,t-1} + DU_{jk}^{s,t} ; \forall_{j \in J} \cdot \forall_{k \in K} \cdot \forall_{s \in S} \cdot \forall_{t \in \{2,3,\dots\}} \quad (23)$$

محدودیت ۲۳ بیان می‌کند که تقاضاهای دوره  $t$  در یک بیمارستان، به‌علاوه تقاضاهای پاسخ داده‌نشده از دوره  $t-1$ ، یا توسط انبارهای منطقه‌ای پاسخ داده می‌شوند یا به‌عنوان تقاضای پاسخ داده‌نشده دوره  $t$ ، به دوره بعد منتقل می‌شوند.

$$DU_{jk}^{s,t} = 0 ; \forall_{j \in J} \cdot \forall_{s \in S} \cdot \forall_{k \in K} \quad (24)$$

به‌علت حساس بودن ماهیت بحران و هزینه بالای تقاضاهای ازدست‌رفته، محدودیت ۲۴ در نظر گرفته شده است که تضمین می‌کند در پایان افق برنامه‌ریزی هیچ تقاضای پاسخ داده‌نشده‌ای وجود نداشته باشد. در این مدل، تلاش می‌شود نیاز هر روز همان روز تحویل داده شود، اما برای نیازهای روزهای بعد نیز در انبار موجودی ذخیره می‌شود.

(۲۵)

$$\sum_k FRZ_{ijk}^{s,t} \leq M_{big} \cdot LRZ_{ij}^t ; \forall_{i \in I} \cdot \forall_{j \in J} \cdot \forall_{s \in S} \cdot \forall_{t \in T}$$

محدودیت ۲۵ تضمین‌کننده ارسال کالا از انبارهای منطقه‌ای به نقاط تقاضای تحت پوشش همان انبار است.

$$\sum_k FRZ_{ijk}^{s,t} \times vol_k \leq LRZ_{i,i'}^s \times LRZ_{i,i'}^s ; \forall_{i,i' \in I} \cdot \forall_{s \in S} \cdot \forall_{t \in T} \quad (26)$$

محدودیت ۲۶ بیان‌کننده محدودیت ظرفیت مسیرهای ارتباطی بین انبارهای منطقه‌ای و مناطق آسیب‌دیده است.

$$\sum_i LRZ_{ij}^t \leq 1 ; \forall_{j \in J} \cdot \forall_{t \in T} \quad (27)$$

محدودیت ۲۷ تضمین می‌کند هر نقطه تقاضا فقط به یک انبار منطقه‌ای تخصیص داده شود.

$$\sum_t \sum_j LRZ_{ij}^t \leq M_{big} \times RD_i ; \forall_{i \in I} \quad (28)$$

محدودیت ۲۸ تضمین می‌کند فقط انبارهای منطقه‌ای احداث‌شده به مناطق آسیب‌دیده امدادسانی کنند.

۵. محدودیت قانون امدادسانی مواقع بحران:

$$\sum_{t=1}^{T_{thresh}} FGC_k^{s,t} + SCO_k + \sum_i avail_i^s \times SPRe_{ik} \geq \sum_{t=1}^{T_{designed}} \sum_j D_{jk}^{s,t} ; \forall_{s \in S} \cdot \forall_{k \in K} \quad (29)$$

در مدیریت بحران، باید نیاز مدت‌زمان معینی

شب به دست آمد. چهار گسل به طور جداگانه برای شب و روز به هشت نوع سناریوی زلزله منجر می شود. با توجه به نظر خبرگان این حوزه، در این پژوهش فرض شده است به میزان یک سوم تعداد تلفات در هر منطقه و تحت هر سناریو، مجروح وجود دارد که در هر منطقه و تحت هر سناریو فقط بخشی از آن ها برای درمان باید به بیمارستان منتقل شوند و باقی آن ها به صورت سرپایی و در محل مداوا می شوند. هر منطقه تحت هر سناریو با یک مقیاس خطر (عدد خطر از ۳۰ سنجیده می شود) مشخص می شود. این مقیاس خطر به عوامل متعددی نظیر تراکم ساختمان ها و نوع ساخت آن ها بستگی دارد. با تبدیل این شاخص به درصد خطر هر منطقه (درصد عدد خطر از ۳۰) و ضرب آن در تعداد مجروحان، تعداد آسیب دیدگان نیازمند به مداوا در بیمارستان مشخص می شود.

### محاسبه میزان تقاضای اقلام امدادی

چهار نوع قلم امدادی آب، غذا، چادر و بسته امدادی برای تحویل به مردم در نظر گرفته شده است که اقلام آب، غذا و چادر به افراد بی سرپناه و بسته امدادی به مجروحان منتقل شده به بیمارستان تخصیص می یابند. مقدار مورد نیاز هر کالا برای مناطق مختلف به این صورت محاسبه شده است که فقط یک چادر و فقط یک بار به هر خانواده - که منزلش خراب شده است - تحویل داده می شود؛ بنابراین، فرض می شود تحت هر سناریو به تعداد ساختمان های خراب شده در هر منطقه و فقط در پیرو اول به چادر نیاز است. بر مبنای اصول مدیریت بحران، باید نیاز مردم آسیب دیده و بی سرپناه در ۷۲ ساعت اول بعد از بحران را طی ۴۸ ساعت برطرف کرد. با فرض اینکه به طور متوسط در هر ساختمان سه نفر زندگی می کنند، می توان با ضرب عدد سه در تعداد ساختمان های خراب شده، تعداد مردم آسیب دیده نیازمند به اقلام امدادی را تحت هر سناریو تخمین زد. به طور متوسط، در هر روز یک سهمیه آب و دو وعده غذایی برای افراد بی سرپناه و یک بسته امدادی برای مجروحان در نظر گرفته شده است. در این مطالعه موردی مجموعه نقاط تقاضا شامل مناطق ۲۲ گانه تهران و مجموعه نقاط بالقوه انبارهای منطقه ای شامل ۱۴ انبار است که پراکنده آن ها در شکل ۳ مشاهده می شود.

### سناریوهای پیشنهادی زلزله تهران بزرگ و احتمال وقوع هریک از آن ها

طبق اطلاعات ارائه شده در جایکا، چهار مدل برای زلزله در نظر گرفته شده است؛ مدل گسل ری، مدل گسل شمال تهران، مدل گسل مشاء و مدل شناور.

در این پژوهش، براساس این چهار مدل و تقسیم بندی ساعات مختلف شبانه روز، ۸ سناریو تعریف شده است. از آنجا که اطلاعات خسارات ارائه شده در گزارش جایکا براساس شب و روز است و در پژوهش مت و زابینسکی در سال ۲۰۱۰ [۱۰] نیز به تقسیم بندی ساعات شبانه روز به منظور سناریوسازی اشاره شده است، ساعات یک شبانه روز را می توان به صورت زیر تقسیم بندی کرد:

۱. ساعات استراحت مردم که به طور میانگین ۸ ساعت در نظر گرفته می شود.

۲. ساعات عادی که شامل ۱۶ ساعت باقیمانده می شود.

تقسیم بندی یاد شده از این نظر اهمیت دارد که سرعت واکنش مردم به منظور انجام دادن اقدامات ایمنی هنگام خواب یا استراحت در خانه کاهش می یابد. در نتیجه، تعداد تلفات و مجروحان در زلزله های هنگام شب بیشتر است. براین اساس، می توان احتمال فعالیت هر گسل را با توجه به طول آن تعریف کرد. جدول ۳ بیانگر احتمال فعالیت هر گسل و سناریوی آن در صورت وقوع زلزله است.

جدول ۳. احتمال فعالیت هر گسل و سناریوی آن در صورت وقوع زلزله

گسل مدل	شناور	گسل ری	گسل شمال تهران	گسل مشاء
احتمال وقوع	۳/۱۲	۶/۲۵	۲۸/۱۲	۶۲/۵

### برآورد جراحات و تلفات انسانی و خسارات مالی

براساس داده های تاریخی، تعداد تلفات در روز یک چهارم (۲۵ درصد) همان نسبت در شب است. این نتایج براساس تجربه خسارات زلزله های گذشته در ایران به دست آمده است. در این پژوهش، تلفات انسانی در زلزله های روز با استفاده از همین رابطه از داده های تلفات انسانی شب هنگام برآورد شده است. بنابراین، تعداد تلفات به تفکیک روز و

## نتایج حل مدل

در این قسمت، نتایج محاسباتی حاصل از حل مدل پیشنهادی با مطالعه مورد ارائه شده مطرح می‌شود. مدل پیشنهادی با نرم‌افزار گمز ۲۴/۱/۲ کدنویسی شده و با رایانه دارای حافظه موقت ۳۲ گیگابایت و قدرت پردازنده مرکزی ۳/۲ گیگاهرتز (۱۲ هسته‌ای) و تحت سیستم عامل ویندوز ۷، نسخه ۶۴ بیتی، در مدت زمان ۳۰ دقیقه اجرا شده است.

## تجزیه و تحلیل حساسیت

در این قسمت، حساسیت مدل به پارامترهایی نظیر هزینه حمل‌ونقل در فاز بعد از بحران، هزینه کمبود، هزینه احداث انبارها و مقدار پیش موجودی انبار مرکزی بررسی می‌شود. تحلیل حساسیت با ۵ ضریب به شرح جدول ۵ صورت گرفت. برای تحلیل حساسیت تقاضا نیز از ضرایب ۱، ۰/۵ و ۱/۲ استفاده شده است.

## مقدار متغیرهای تصمیم مرحله اول

پس از اجرای مدل، متغیرهای تصمیم مرحله اول به شرح جدول ۴ به دست آمدند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، نقاط ۱، ۴، ۶، ۷، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ برای احداث انبارهای منطقه‌ای انتخاب شده‌اند. مقادیر پیش موجودی هر انبار نیز در جدول ۴ آمده است. همچنین، مقادیر برخی از تصمیم‌های مرحله دوم در جدول‌های ۱۰ و ۱۱ در انتهای پژوهش وجود دارد.

## در نظر گرفتن روابط دوطرفه

به منظور تحلیل در نظر گرفتن روابط دوطرفه بین انبارهای منطقه‌ای، مدل برای حالتی که این روابط وجود ندارد، اجرا شده است که نتایج آن در جدول ۶ مشاهده می‌شود. با حذف امکان ارتباط دوطرفه بین انبارهای منطقه‌ای انتظار می‌رود ضمن افزایش کل هزینه مدل، انبارهای بیشتری به منظور پاسخ‌دهی به نیازهای مناطق احداث شود.

جدول ۴. مقدار متغیرهای تصمیم مرحله اول

انبار احداثی	پیش موجودی چادر	پیش موجودی آب	پیش موجودی غذا	پیش موجودی بسته‌امدادی
۱	-	۴۷۵۵۵۲	۱۹۱۴۰۰	-
۴	۱۱۷۲۴	۸۵۰۲۱۰	۴۴۳۵۳۵	-
۶	۴۵۸۸۷	۸۹۴۷۴۸	۸۳۵۷۷۳	۵۱۴
۷	۳۲۵۹۲	۱۷۳۳۲۱۱	۷۱۴۶۰۳	۱۲۲۷
۱۲	۱۷۷۴۳	۳۷۴۸۲۲	۲۸۲۱۲۶	۳۹۸
۱۳	۵۰۰۳۸	۷۰۲۶۸۹	۷۳۳۴۷۵	۱۳۲۱
۱۴	۵۳۱۰	۸۹۱۲۴	۲۳۳۱۴۵	-

جدول ۵. ضرایب به کاررفته برای تحلیل حساسیت

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵
ضرایب تحلیل حساسیت	۱	۱/۲	۱/۴	۲	۳

جدول ۶. تأثیر در نظر گرفتن رابطه دوطرفه بین انبارهای منطقه‌ای

نوع ارتباط	تابع هدف (تومان)	تعداد انبارهای احداث شده	انبارهای احداث شده
با ارتباط دوطرفه	۱۱۷,۴۰۲,۹۰۰,۰۰۰	۷	۱، ۴، ۶، ۷، ۱۲، ۱۳، ۱۴
بدون ارتباط دوطرفه	۱۲۳,۵۱۹,۷۰۰,۰۰۰	۱۱	۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴
اختلاف هزینه	۶,۱۱۶,۸۰۰,۰۰۰		

میزان تقاضا، تعداد انبارهای منطقه‌ای و میزان پیش‌موجودی آن‌ها افزایش می‌یابد.

### پارامتر پیش‌موجودی انبار مرکزی

در این قسمت، تأثیر مقدار پارامتر پیش‌موجودی انبار مرکزی بر تعداد انبارهای احداث شده و میزان پیش‌موجودی آن‌ها بررسی می‌شود. انتظار می‌رود با کاهش مقدار پیش‌موجودی انبار مرکزی، تعداد انبارهای منطقه‌ای احداث شده و میزان پیش‌موجودی درون آن‌ها افزایش یابد و بالعکس با افزایش مقدار پیش‌موجودی انبار مرکزی، تعداد انبارهای منطقه‌ای احداث شده و میزان پیش‌موجودی آن‌ها کاهش یابد.

طبق جدول ۶، در نظر گرفتن روابط دوطرفه موجب افزایش ۶ میلیاردی در هزینه می‌شود؛ بنابراین، در نظر گرفتن روابط دوطرفه بین انبارهای منطقه‌ای، به صرفه‌جویی چشمگیری در هزینه‌های امداد رسانی منجر می‌شود.

### میزان تقاضا

در این بخش، تأثیر افزایش میزان تقاضا روی تعداد انبار احداث شده و مقدار پیش‌موجودی کالایی درون آن‌ها بررسی می‌شود. برای تقاضا ضرایب ۱، ۱/۴ و ۲ برای تحلیل حساسیت در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، با افزایش

جدول ۷. رابطه تغییرات تقاضا و تعداد انبارهای احداث شده

۲	۱/۴	۱	ضریب تحلیل حساسیت
۱۳	۱۱	۷	تعداد انبار احداث شده
۱۶۳,۲۹۶	۱۶۳,۲۹۶	۱۶۳,۲۹۶	چادر
۹,۶۰۲,۵۴۸	۷,۰۹۸,۸۷۶	۵,۱۲۰,۳۵۸	پیش‌موجودی آب
۵,۰۳۷,۱۰۱	۳,۹۵۸,۹۲۵	۳,۴۳۴,۰۵۸	موجودی غذا
۳,۳۷۱	۳,۶۶۲	۳,۴۶۲	بسته امدادی
۱۴,۸۰۶,۳۱۷	۱۱,۲۲۴,۷۶۱	۸,۷۲۱,۱۷۶	کل پیش‌موجودی

جدول ۸. رابطه تغییرات پیش‌موجودی انبار مرکزی و تعداد انبارهای احداث شده

۱/۲	۱	۰/۵	ضریب تحلیل حساسیت
۵	۷	۱۳	تعداد انبار احداث شده
۱۶۳,۲۹۶	۱۶۳,۲۹۶	۱۶۳,۲۹۶	چادر
۴,۳۶۳,۵۹۳	۵,۱۲۰,۳۵۸	۵,۲۹۶,۱۰۵	پیش‌موجودی آب
۳,۱۰۴,۰۶۷	۳,۴۳۴,۰۵۸	۳,۴۸۴,۰۹۵	موجودی غذا
۳,۶۷۲	۳,۴۶۲	۳,۵۴۳	بسته امدادی
۷,۶۳۴,۶۲۹	۸,۷۲۱,۱۷۶	۸,۹۴۷,۰۴۱	کل پیش‌موجودی

منجر می‌شود. بحران ممکن است طبیعی (زلزله، سیل، توفان) یا انسانی (حمله تروریستی، نشت مواد شیمیایی) باشد. ماهیت تصادفی بودن و پیش‌بینی‌ناپذیر بودن بحران‌های طبیعی ایجاب می‌کند که طرح‌های بحرانی جامعی به منظور کاهش و تسکین خطرها و نتایج ناشی از بحران ارائه شود. در راستای نیل به این اهداف، پشتیبانی و امداد رسانی حوزه‌ای است که بهبود در آن نتایج اثربخشی را به دنبال دارد. پس از بررسی ادبیات موجود در منابع بعد از سال ۲۰۰۰، مواردی از قبیل عدم در نظر گرفتن دوره‌های زمانی مختلف در فاز پاسخ، عدم در نظر گرفتن امکان وجود ارتباط دوطرفه درون لایه‌های مختلف زنجیره تأمین و نبود مطالعه موردی دقیق روی تهران، شکاف‌های موجود در ادبیات شناسایی شده است. در نتیجه، مهم‌ترین هدف این پژوهش، ارائه مدلی به منظور افزایش کارایی و عملکرد سیستم پاسخ‌دهی بحران بوده است.

در این پژوهش، یک مدل تصادفی دومرحله‌ای طراحی زنجیره تأمین یکپارچه به منظور توزیع اقلام امدادی بین مناطق آسیب‌دیده ارائه شده است. فعالیت‌های زنجیره تأمین امداد از لحاظ زمانی به دو فاز قبل از بحران یا آماده‌سازی و فاز بعد از بحران یا پاسخ تقسیم‌بندی شده است. در فاز آماده‌سازی، یک زنجیره تأمین امداد دوسطحی شامل انبار مرکزی و نقاط بالقوه انبارهای منطقه‌ای وجود داشت که در آن مکان بهینه برای احداث انبارهای منطقه از بین نقاط بالقوه و تصمیمات بهینه میزان پیش‌موجودی ذخیره‌شده در هر انبار مشخص شد. در نظر گرفتن انبارهای منطقه‌ای در شبکه توزیع اقلام امدادی موجب افزایش سرعت و اثربخشی فعالیت‌های فاز بعد از بحران و به عبارت دیگر افزایش قابلیت پاسخ‌دهی سیستم مدیریت بحران شد. به منظور گردآوری اطلاعات مطالعه موردی، به گزارش

نهایی ریزپهنه‌بندی تهران بزرگ تهیه‌شده توسط گروه جایکا در سال ۱۳۸۱ مراجعه شد و پس از بررسی و به‌روزرسانی اطلاعات آن با اطلاعات جمعیتی سال ۱۳۹۲، مستندترین برآورد خسارات زلزله احتمالی تهران به دست آمد. طبق اطلاعات مطالعه موردی با تقسیم‌بندی زمان شبانه‌روز به دو بخش کاری و غیرکاری، که بازه کاری آن شامل ۱۶ ساعت و بازه غیرکاری آن شامل ۸ ساعت است، در مجموع، هشت سناریوی زلزله طراحی شد. چهار کالای

طبق جدول ۸، مقدار پیش‌موجودی انبار مرکزی با تعداد و پیش‌موجودی انبارهای منطقه‌ای رابطه معکوس دارد. تعبیر مدیریتی این تحلیل حساسیت آن است که سرمایه‌گذاری و تجهیز انبارهای خارج از محدوده منطقه بحران تأثیری بر کاهش موجودی انبارهای منطقه‌ای درون مناطق آسیب‌دیده ندارد و تمرکز دستگاه‌های اجرایی باید بر پایداری انبارهای درون مناطق آسیب‌دیده باشد.

## ارزش پاسخ تصادفی

متوسط ارزش اطلاعات کامل که مبنای اهمیت پرداختن به عدم قطعیت اطلاعات است، کوچک بودن  $EVPI^{17}$  نشان می‌دهد به دست آوردن اطلاعات بیشتر و کامل‌تر درباره آینده تأثیر شایان توجهی ندارد. بزرگ بودن این مقدار شاید دلیلی برای این حقیقت باشد که نادیده گرفتن اهمیت تکمیل اطلاعات با هزینه زیادی همراه است. به عبارت دیگر،  $EVPI$  نشان می‌دهد تا چه حد می‌توان برای به دست آوردن اطلاعات کامل هزینه کرد. شاخص مؤثر دیگر، ارزش پاسخ تصادفی است. این شاخص نشان می‌دهد با به کارگیری جواب برنامه‌ریزی تصادفی به جای جواب برنامه‌ریزی قطعی متناظر، مانند مقدار متوسط، چه مقدار می‌توان صرفه‌جویی کرد. به تعبیر مدیریتی،  $VSS^{18}$  مبین هزینه نادیده گرفتن عدم قطعیت در تصمیم‌گیری است. کوچک بودن ارزش پاسخ تصادفی نشان می‌دهد که جواب روش مقدار متوسط، تقریب مناسبی از جواب واقعی مسئله است، اما بالا بودن مقدار شاخص ارزش پاسخ تصادفی نشان‌دهنده اهمیت بالای در نظر گرفتن عدم قطعیت در مسئله است. مقادیر این شاخص‌ها برای مدل ارائه‌شده در پژوهش حاضر به شرح جدول ۹ است.

جدول ۹. مقادیر شاخص‌های  $VSS$  و  $EVPI$ \*

شاخص	$EVPI$	$EEV^{19}$	$VSS$
مقدار	۴۴,۲۲۵,۳۴۰	۱۶۵,۳۹۵,۴۰۰	۶۰,۴۶۱,۹۰۰

\* مقادیر براساس هزار ریال است.

## نتیجه‌گیری

فاجعه یا بحران به مجموعه حوادثی گفته می‌شود که به مختل شدن ارتباطات زیست‌محیطی بشر با محیط اطرافش

کرد. در نهایت نیز شاخص‌های ارزش‌انتظاری پاسخ تصادفی و ارزش‌انتظاری اطلاعات کامل که نشان‌دهنده اهمیت پرداختن به عدم قطعیت اطلاعات است، محاسبه شد. همچنین، با توجه به مرور ادبیات و مدل ارائه‌شده در این پژوهش می‌توان موارد زیر را در پژوهش‌های آتی در نظر گرفت:

- ترکیب کردن برنامه‌ریزی تخلیه افراد مجروح از مناطق آسیب‌دیده،
- برنامه‌ریزی انتقال و پناه‌دادن به افراد آواره و بی‌سرپناه.

چادر، آب، غذا و بسته امدادی به‌عنوان اقلام امدادی به‌منظور ارسال به مناطق آسیب‌دیده در نظر گرفته شدند. در نهایت، مدل ارائه‌شده با داده‌های واقعی خسارات زلزله تهران بزرگ حل شد و پس از انجام دادن تحلیل، کارایی مدل در شرایط مختلف بررسی شد. در تحلیل حساسیت صورت‌گرفته، با حذف امکان ارتباط دوطرفه بین انبارهای منطقه‌ای، ضمن افزایش کل هزینه مدل، تعداد انبارهای بیشتری برای پاسخ‌دهی به نیازهای مناطق احداث شد. در نتیجه، در نظر گرفتن روابط دوطرفه بین انبارهای منطقه‌ای، به صرفه‌جویی چشمگیری در هزینه‌های امداد رسانی منجر شد. با افزایش میزان تقاضا نیز تعداد انبارهای منطقه‌ای و میزان پیش‌موجودی آن‌ها افزایش پیدا

جدول ۱۰. میزان کالای انتقالی از انبار جهانی به انبار مرکز تحت همه سناریوها در دوره اول

سناریو	چادر	آب	غذا	بسته امدادی
۱	۲۷۰۱۷۱	۱۰۲۹۲۶۰	۷۸۵۴۲۶۷	۵۳۷۲۶
۲	۲۷۰۱۷۱	۸۹۶۳۲۷	۷۷۰۹۳۳۴	-
۳	۷۴۷۴۵	-	۴۳۱۴۳۳۴	-
۴	۷۴۷۴۵	-	۴۲۸۴۷۵۷	-
۵	-	-	-	-
۶	-	-	-	-
۷	۲۶۰۸۴۰	۱۳۱۶۷۸۶	۷۷۳۲۳۴۷	-
۸	۲۶۰۸۲۰	۱۲۳۰۹۱۱	۷۴۷۰۱۲۶	-

جدول ۱۱. کالای انتقالی از انبار مرکزی به انبارهای منطقه‌ای در همه دوره‌ها و تحت هر سناریو

انبار	سناریو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۱	چادر	۱۳۰۳۲	۱۳۰۳۲	۲۷۵۸۰	۲۷۵۸۰	-	-	۴۱۲۴۲	۴۱۲۴۲
	آب	-	-	-	-	-	-	-	-
	غذا	۱۴۶۸۲۷	۱۴۶۵۲۶	۴۸۷۸۴۴	۴۸۲۶۹۸	-	-	۴۰۳۹۸۳	۳۴۹۴۸۴
۴	بسته	۲۵۱۰	۱۶۰۷	۱۷۰۲۷	۹۳۰۸	۷۷۳	۵۱۶	۱۱۴۳۶	۶۶۶۹
	چادر	۳۵۰۵۳	۳۵۰۵۳	۴۹۲۲۰	۴۹۲۲۰	-	-	۴۹۷۵۸	۴۹۷۵۸
	آب	-	-	-	-	-	-	-	-
۶	غذا	۳۴۱۳۲۸	۴۲۵۳۵۲	۷۰۱۷۶۱	۶۹۹۷۷۸	-	-	۶۷۲۴۵۳	۷۴۶۳۱۲
	بسته	-	-	-	-	-	-	-	-
	چادر	۳۰۵۵۷	۳۰۵۵۷	۴۲۰۱۵	۴۲۰۱۵	-	-	۴۹۴۳۶	۴۹۴۳۶
آب	-	-	-	-	-	-	۲۳۳۰۹۵	۲۲۴۲۸۱	

ادامه جدول ۱۱. کالای انتقالی از انبار مرکزی به انبارهای منطقه‌ای در همه دوره‌ها و تحت هر سناریو

انبار	سناریو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۷	غذا	۵۷۸۳۷۸	۵۷۷۰۹۵	۷۴۳۷۸۸	۷۳۸۹۱۷	-	-	۱۰۹۰۸۱۰	۱۱۳۶۴۹۵
	بسته	۱۴۹۶۷	۷۳۴۲	۶۶۴۱	۴۱۷۱	۷۵۱	۶۱۵	۱۴۷۰۷	۸۲۶۲
	چادر	۴۴۸۲۱	۴۴۸۲۱	۵۳۵۰۰	۵۳۵۰۰	-	-	۷۴۵۴۲	۷۴۵۴۲
۱۲	آب	-	-	-	-	-	-	۲۶۱۴۵	-
	غذا	۹۲۳۵۷۵	۸۸۸۸۳۸	۹۸۵۷۱۴	۹۷۲۷۴۳	-	-	۱۳۳۳۳۶۶	۱۳۰۵۲۳۸
	بسته	۱۰۳۵۲۴	۶۹۷۴۳	۳۵۴۶۹	۲۳۰۱۷	۲۹۸۷	۳۳۷۷	۹۲۶۰۷	۶۲۴۳۱
۱۳	چادر	۲۴۲۳۲	۲۴۲۳۲	۱۲۷۱۸	۱۲۷۱۸	-	-	۳۰۹۴	۳۰۹۴
	آب	۱۰۸۹۴۵	۹۷۳۵۴	-	-	-	-	۵۳۶۸۴	۴۷۵۶۲
	غذا	۱۳۲۰۹۶	۱۳۲۰۹۶	۶۱۵۱۲	۶۱۵۱۲	-	-	۱۱۷۵۶۴	-
۱۴	بسته	۳۰۱۱۲	۱۴۵۷۸	۱۹۱۷	۱۱۳۵	۳۵۹	۳۵۹	۱۴۰۴۸	۷۹۲۶
	چادر	۵۱۷۸۴	۵۱۰۶۱	۱۰۵۹۰	۱۰۵۹۰	-	-	-	۱۹۴۹۷
	آب	۵۳۵۷۲۷	۴۷۴۱۴۰	-	-	-	-	۱۷۷۰۹۶	۱۰۰۷۴۴۵
۱۴	غذا	۳۰۷۶۹۴۳	۳۰۱۰۸۴۴	۱۲۲۵۰۷۵	۱۲۲۱۸۲۹	-	-	۲۵۹۰۱۰۹	۲۵۳۷۱۹۵
	بسته	۱۷۵۶۴	۸۶۹۶	۱۲۶۲	۸۵۰	۲۵۱	۳۸۶	۷۷۴۶	۴۵۲۶
	چادر	۲۷۰۶۹۱	۲۷۱۴۱۳	۷۹۱۲۱	۷۹۱۲۱	۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۲۴۲۷۶۶	۲۲۳۲۴۹
۱۴	آب	۸۸۴۵۸۷	۸۲۴۸۳۲	-	-	-	-	۱۳۲۶۷۶۶	۴۵۱۶۲۲
	غذا	۳۰۵۵۱۲۱	۲۹۲۸۵۸۴	۵۰۸۶۴۰	۵۰۷۲۸۰	-	-	۱۹۲۴۰۶۳	۱۷۹۵۴۰۲
	بسته	۸۵۰۴۸	۹۸۰۳۳	۱۳۷۶۸۳	۱۶۱۵۱۸	۱۹۴۸۷۹	۱۹۴۷۴۷	۵۹۴۵۴	۱۱۰۱۸۴

## مراجع

1. The Study on Seismic Microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran, (2000). Japan International Cooperation Agency (JICA).
2. Gunn, SWA, (2003). "The language of disasters: a brief terminology of disaster management and humanitarian action", *Basics of International Humanitarian Missions*, Fordham University Press, 37-40.
3. Akkihal, AR. (2006). *Inventory pre-positioning for humanitarian operations*, Submitted to the Engineering Systems Division in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Logistics at the Massachusetts Institute of Technology.
4. Balcik, B. and Beamon, BM. (2008). "Facility location in humanitarian relief", *International Journal of Logistics*, Vol. 11, No. 2, PP. 101-121.
5. Brotcorne, L., Laporte, G. and Semet, F. (2003). "Ambulance location and relocation models", *European Journal of Operational Research*, Vol. 147, No. 3, PP. 451-463.
6. Liberatore, F., Scaparra, S. and Daskin, M. (2011). "Hedging against disruptions with ripple effects in location analysis", *Omega*, Vol. 40, No. 1, PP. 21-30.
7. Yaghoobi, S., Nahofti Kohneh, J., Khosrojerdi, A. and Mohammadi, A. (2015). "Location and allocation of distribution systems considering disruption in mobile warehouses and supporting facilities", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 50, No. 1, PP. 147-164
8. Caunhye A. M., Nie, X. and Pokharel, S. (2012). "Optimization models in emergency logistics: A literature review", *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 46, No. 1, PP. 4-13.



9. Naji-Azimi, Z., Renaud, J., Ruiz, A. and Salari, M. (2012). "A covering tour approach to the location of satellite distribution centers to supply humanitarian aid", *European Journal of Operational Research*, Vol. 222, No. 3, PP. 596–605.
10. Rawls, C. G. and Turnquist, M. A. (2010). "Pre-positioning of emergency supplies for disaster response", *Transportation research part B: Methodological*, Vol. 44, No. 4, PP. 521-534.
11. Mete, and Zabinsky. (2010). "Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management", *International Journal of Production Economics*, Vol. 126, No. 1, PP. 76-84.
12. Zheng, Y. Ling, and HF. (2013). "Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: a cooperative fuzzy optimization approach", *Soft Computing*, Vol. 17, No. 7, PP. 1301-1314.
13. Ozdamar, L., Ekinci, E. and Kucukyazici, B. (2004). "Emergency logistics planning in natural disasters", *Annals of Operations Research*, Vol. 129, No. 1, PP. 217-245.
14. Tzeng, G. H., Cheng, H. J. and Huang. T. D. (2007). "Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 43, No. 6, PP. 673-686.
15. Sheu., J. B. (2007). "An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 43, No. 6, PP. 687-709.
16. Huang, X. and Song, L. (2016). "An emergency logistics distribution routing model for unexpected events", *Annals of Operations Research*, Vol. 196, PP.1–17.
17. Najafi, M. K., Eshghi, and Dullaert, W. (2013). "A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 49, No. 1, PP. 217-249.
18. AliNaghian, M., Goli, A. and Mokhtab Rafiei, F. (2014). "Relief facilities routing in a crisis situation with covering approach and fuzzy demand using a harmony searching hybrid algorithm", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 49, No. 1, PP. 79-92.
19. Huang, K., Jiang, Y., Yuan, Y. and Zhao, L. (2015). "Modeling multiple humanitarian objectives in emergency response to large-scale disasters", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 75, PP. 1-17.
20. Hu, C. L., Liu, X. and Hua, Y. K. (2016). "A bi-objective robust model for emergency resource allocation under uncertainty", *International Journal of Production Research*, Vol. 54, No. 24, PP. 7421-7438

## واژه‌های لاتین به ترتیب استفاده در متن

1. Crisis
2. Relief Logistic
3. Pre-disaster Operations
4. Post-disaster Operations
5. Facility Location
6. Stock pre-positioning
7. Evacuation
8. Relief Items
9. Overlapping Disasters
10. Lagrangian L-shaped Method
11. Disaster Relief Vehicle Routing Problem
12. Rolling Horizon
13. Variational Inequality Algorithm
14. Wenchuan
15. Bi-directional Relations
16. Multi-stage Situation
17. Expected Value of Perfect Information
18. Value of Stochastic Solution
19. Expected Result of Using the Expected Value Solution