مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال یازدهم، شماره چهارم (پیاپی ۴۳)، زمستان ۹۳، ص ص ۱۳۸-۱۱۹
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

# ارایه مدل ریاضی دوهدفه لجستیک امداد با نقاط انتقال و تسهیلات پشتیبان (مطالعه موردی: بحران زلزله در منطقه یک تهران)

**احمد محمدی[۱]، سعید یعقوبی*[۲]، جمال نهفتی کهنه[۱]**
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم وصنعت ایران، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران
۲- استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران

رسید مقاله: ۱ خرداد ۱۳۹۳
پذیرش مقاله: ۲۰ مهر ۱۳۹۳

## چکیده
طبق هرم سلسله مراتب نیازهای مزلو نیاز به سلامتی، آب و غذا جز نیازهای حیاتی معرفی شده، که جنبه فردی دارند. اما از آن جایی که انسان یک فرد اجتماعی است نیاز به امنیت جزء نیازهای اساسی انسان‌هاست که شایسته است در تمام برنامه‌ریزی‌های مدیریت بحران نیز مد نظر قرار گیرد. در نتیجه، دراین مقاله بیمارستان‌ها به عنوان نهاد ارایه‌دهنده خدمات درمانی، انبارهای مواد غذایی درجهت تامین نیازهای حیاتی و مراکز پلیس جهت تامین امنیت منطقه بحران زده درنظر گرفته شده‌است، در حالی‌که انبارهای پشتیبان جهت بالابردن قابلیت اطمینان در مدیریت بحران در مدل لحاظ شده است. مساله مذکور به صورت غیر خطی و دو هدفه مدل شده که ابتدا از خطی‌سازی و سپس از روش محدودیت اپسیلون اصلاح شده برای حل آن استفاده شده‌است. هم‌چنین، مطالعه موردی درخصوص بحران زلزله در منطقه یک تهران با استفاده از روش آزادسازی لاگرانژ مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج نشان می‌دهد در صورت مکان‌یابی بهینه تسهیلات مذکور و در نظر گرفتن تعداد نقاط انتقال مناسب می‌توان به تصمیم‌گیرندگان امر مدیریت بحران در این منطقه، جهت افزایش خدمت رسانی در هنگام بحران کمک شایانی کرد.

**کلمات کلیدی**: لجستیک امداد، نقاط انتقال، پوشش امنیتی، روش آزادسازی لاگرانژ، منطقه یک تهران.

## ۱مقدمه
حوادث و بلایای طبیعی همواره آسیب‌های جانی و مالی فراوانی به انسان‌ها وارد نموده‌اند، به طوری‌که سالانه در حدود ۲۰۰ میلیون نفر درگیر بحران‌ها و حوادث طبیعی شده و صدها نفر از بین می‌روند هم‌چنین در این راستا کشورهای حادثه‌خیز، سالانه به طور متوسط معادل ۳ درصد از تولید ناخالص داخلی خود متحمل زیان می‌شوند [۱]. لزوم اتخاذ سریع تصمیمات و اجرای عملیات در هنگام بحران‌ها، دانشی به نام مدیریت بحران را به‌وجود آورده است. لذا باید توجه کرد که مدیریت بحران را نباید فقط واکنش تاکتیکی در هنگام رخداد یک بحران

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: yaghoubi@iust.ac.ir



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

درنظرگرفت، بلکه می‌توان به‌عنوان فعالیت‌های پیشگیرانه و آمادگی در برابر بحران و بهبود وضعیت بحران در نظر گرفت [۲]. از این‌رو مکان‌یابی بهینه تسهیلات خدماتی، نمونه‌ای از سیاست دولت‌ها با درک منافع ناشی از صرفه‌جویی در استفاده از منابع، افزایش کارآیی به ویژه در هنگام وقوع بحران بسیار حیاتی می‌باشد. در این میان آمادگی بخش بهداشت و درمان کشور به ویژه بیمارستان‌ها، به عنوان نهاد ارایه‌دهنده خدمات بهداشتی و درمانی در کاهش قابل توجه مرگ و میر و آسیب‌های جسمی از حوادث غیر مترقبه، یک امر حیاتی و ضروری است. مطالعات در مصرو شیلی نشان می‌دهد که بین وجود یک برنامه استراتژیک بلند مدت و آمادگی در مقابل بحران‌ها ارتباط معنی‌داری وجود دارد و لزوم توجه به تجهیزات و مقاوم‌سازی بیمارستان‌ها در مقابل بحران، جزء ضرورت‌های این برنامه می‌باشد [۳]. هم چنین مطالعه انجام گرفته در بیمارستانهای تهران نشان داد که این بیمارستانها از نظر مکانی، تجهیزات، نیروی انسانی، مقاومت فیزیکی، ساختار و پروتکل‌های مرتبط، در شرایط عادی، آمادگی در حد متوسط و در هنگام بحران، در وضعیت ضعیفی می‌باشند [۴]. بنابراین ضرورت توجه به مکان‌یابی و مقاوم‌سازی بیمارستان‌ها از اهم وظایف مدیران بحران می‌باشد. با توجه به اینکه تعداد زیادی از مرگ و میرها در زمان بحران در ساعات اولیه اتفاق می‌افتد، تسریع انتقال مصدومان به بیمارستان‌ها یکی دیگر از موضوعات مهم در مدیریت بحران مربوط به مراکز درمانی است که یکی از راه‌های تسریع، درنظرگرفتن نقاط انتقال برای جابه‌جایی مصدومان است. این نقاط انتقال برای بهبود زمان جابه‌جایی مصدومان به بیمارستان‌ها، طوری احداث می‌شوند که آمبولانس‌های اعزامی از نقاط آسیب‌دیده به بیمارستان بر اساس معیار زمان، به واسطه‌ی نقاط انتقال و یا به صورت مستقیم، مسیر را طی کنند. با توجه به حجم بالای مصدومان در بحران‌ها و نیاز شدید به دارو و لوازم پزشکی و فقدان فضای زیاد و مشکلات نگهداری این حجم در بیمارستان‌ها، درنظرگرفتن انبارهایی برای ذخیره‌سازی و هم‌چنین انبارهای پشتیبان درصورت بروز خرابی از دیگر موضوعات مهم در مدیریت بحران مربوط به بخش درمانی است.

از طرفی پس از وقوع یک حادثه طبیعی، احتمال ایجاد شرایط اضطراری و بحران قوت می‌گیرد. ازمهم ترین اقداماتی که دولت‌ها باید در شرایط بحران انجام دهند، تامین آب و غذای سالم و بهداشتی برای افراد در معرض آسیب می‌باشد. ظهور تغییرات بسیار نامطلوب در وضعیت تغذیه جامعه، بعد از وقوع حادثه، به نوع بحران، زمان وقوع حادثه، وسعت حادثه، میزان مواد غذایی ذخیره شده و اقدامات پیشگیرانه مدیران جامعه بستگی دارد [۵]، لذا درنظرگرفتن انبارهای پوششی برای ذخیره آب و غذا پیش از بحران ضروری است.

یکی دیگر از مشکلات اجتماعی بعد از بحران، بحث امنیت و برقراری نظم در منطقه بحران زده می‌باشد، ازدحام بیش از حد جمعیت در محل حادثه، به هم خوردن نظم عمومی، سرقت و به هم خوردن نظم ترافیکی، از موارد شایع امنیتی در حوادث و بحران‌های طبیعی است. با توجه به اینکه برقراری نظم و امنیت بر عهده پلیس و اساسا مقصود از بحران، دگرگونی نظم اجتماعی است، پس مهمترین سازمان مسئول برای برقراری امنیت در زمان بحران، پلیس می‌باشد [۶]. لذا از دیگر موضوعات مهم در یک بحران، مباحث امنیتی مرتبط با آن است که نیاز به مکان‌یابی بهینه و مقاوم‌سازی مراکز مربوطه دارد. با توجه به اینکه حضور پلیس خود باعث ایجاد امنیت می‌شود [۷]، در مباحث امنیتی، پوشش نقاط امنیتی بسیار مهم می‌باشد. با درنظرگرفتن سه موضوع مهم در مدیریت بحران



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

یعنی مباحث پزشکی و تامین دارو و لوازم و تجهیزات پزشکی، تامین آب و غذا و مباحث امنیتی، لازم است تا مرور ادبیاتی جامع بر موضوعات مکان‌یابی نقاط انتقال، تسهیلات پشتیبان و مدیریت بحران به تعیین شکاف‌ها پرداخته شود.

در زمینه مسایل مکان‌یابی نقاط انتقال، برمن و همکاران [۸] این مساله را در یک شبکه پیوسته بررسی کردند و الگوریتمی‌برای حل مساله باتوجه به نرخ تخفیف زمان سفر، پیشنهاد کردند. ساساکی و همکاران [۹] یک راه دقیق برای حل مساله‌ی مکان‌یابی تسهیل و نقاط انتقال درحالت حداقل مجموع ارایه کردند. حسینی جوی و بشیری [۱۰] مدلی ارایه کردند که مختصات نقاط تقاضا دارای توزیع یکنواخت دو متغیره و درحالت صفحه است و درنظرگرفتن تابع هدف به صورت کمینه‌کردن بیشترین مقدار، از دیگر نوآوری‌های مدل می‌باشد. کلانتری و همکاران [۱۱] مدلی با مقادیر تقاضا به صورت وزن‌دار ارایه کردند که مختصات آنها فازی بود. از دیگر مطالعات در این زمینه می‌توان به برمن و همکاران [۱۲] و برمن و همکاران [۱۳] اشاره نمود.

از طرفی امروزه برای افزایش قابلیت اطمینان در زنجیره تامین، از تسهیلات پشتیبان استفاده می‌شود. در زمینه تسهیلات پشتیبان هوگان و رول [۱۴] تسهیل پشتیبان را تسهیلی تعریف کردند که علاوه بر تسهیلات دیگر می‌تواند یک گره تقاضا را پوشش دهد. اشنایدر و داسکین [۱۵] از دو مدل قابلیت اطمینان در مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات استفاده کردند. مدل اول، یک مدل پی- میانه قابل اطمینان و مدل دوم، مدل مکان‌یابی قابل اطمینان با هزینه ثابت و با ظرفیت محدود می‌باشد. در مقاله کوی و همکاران [۱۶] فرض احتمالات خرابی همگن را به صورت احتمالات خاص مکان‌یابی در نظر گرفته و برای تسهیلات تحت خرابی، سایر تسهیلات در سطوح بعد را به عنوان تسهیل پشتیبان، به صورت سلسله مراتبی لحاظ نمودند. از دیگر مطالعات در این زمینه می‌توان به چارچ و مورای [۱۷] و لی و اویانگ [۱۸] اشاره نمود.

پژوهشگران امر مدیریت بحران به شدت به دنبال این هستند تا در تصمیم‌گیری‌ها به صورت علمی، عمل نمایند تا بتوانند عملکرد کل سیستم را تا حد ممکن بهبود بخشند. یکی از اولین تحقیقات انجام شده در این حوزه، توسط ترگاز و همکاران [۱۹] انجام گرفته است که مساله را با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، به عنوان یک مساله پوشش مجموعه مدل نمودند یی و کومار [۲۰] به ارایه الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان جهت حل مساله لجستیک در اقدامات امدادی به هنگام بحران پرداختند. مت و زابینسکی [۲۱] یک رویکرد بهینه‌سازی تصادفی برای مساله انبارش و توزیع اقلام دارویی ارایه دادند که برای مدیریت بحران تحت طیف وسیعی از انواع فجایع ممکن به کار می‌رود. کمپل و جونز [۲۲] به مکان‌یابی تسهیلات قبل از وقوع بلایا پرداختند. آنها با درنظرگرفتن فاصله تسهیلات تا نقاط آسیب و احتمال خرابی آنها، مکان‌های بهینه را انتخاب کردند. آککون و همکاران [۲۳] مکان‌یابی تسهیلات قبل از وقوع بحران را به گونه‌ای ارایه دادند که ریسک پوشش نیافتن نقاط تقاضا از تسهیلات مکان‌یابی شده حداقل شود. خورسی و همکاران [۲۴] مدلی غیر خطی با در نظر گرفتن موجودی در شرایط بحران، برای حداقل کردن مجموع حداکثر کمبود تقاضا در شهر تهران ارایه نمودند. با توجه به تحقیقات انجام شده مدلی جامع برای مساله مدیریت بحران که مباحث پزشکی و تامین دارو و لوازم و تجهیزات پزشکی، حمل و نقل مجروحین، تامین مواد غذایی و مباحث امنیتی را به طور همزمان در نظر بگیرد، انجام نشده‌است. هدف اصلی



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

این مقاله ارایه مدلی جامع و یکپارچه برای مساله مدیریت بحران می باشد که شامل مکان‌یابی بیمارستان‌ها و نقاط انتقال و تخصیص مصدومان به بیمارستان‌ها، مکان‌یابی مراکز پلیس با در نظر گرفتن خرابی این مراکز و مکان‌یابی انبارهای موادغذایی و دارو و لوازم و تجهیزات پزشکی با در نظر گرفتن خرابی این مراکز و انبارهای پشتیبان برای خدمات پزشکی و تخصیص بیمارستان‌ها برای دریافت نیازهای پزشکی از این مراکز در زمان بحران است. اهداف مدل پیشنهادی شامل کمینه‌سازی میزان تقاضا در زمان، برای حمل و نقل مصدومان به بیمارستان و حمل و نقل کالاهای مورد نیاز از انبار به بیمارستان و بیشنیه‌سازی سطح سرویس مناطق آسیب‌دیده، با درنظرگرفتن مباحث مواد غذایی و امنیتی می‌باشد. با توجه به توضیحات، برای کاهش هزینه‌ها و خدمات بهتر، انبارهای موادغذایی و انبارهای مربوط به دارو و لوازم و تجهیزات پزشکی در یک انبار، تحت عنوان انبار موادغذایی و کالای پزشکی درنظرگرفته شده‌است. مواردی که مقاله حاضر را از دیگر مقالات متمایز می‌کند به صورت زیر می‌باشند:

۱. ارایه مدل برنامه‌ریزی لجستیک دو هدفه، که در خصوص مکان‌یابی مراکز بیمارستان، نقاط انتقال، مراکز پلیس، انبارهای موادغذایی و کالای پزشکی و انبارهای پشتیبان به طور همزمان تصمیم‌گیری نماید.

۲. برای نزدیک‌تر شدن مدل به دنیای واقعی، احتمال خرابی در مراکز پلیس و هم‌چنین احتمال خرابی در انبارهای مواد غذایی و کالای پزشکی تحت سناریوهای مختلف و هم‌چنین به دلیل حیاتی بودن نیاز به دارو و لوازم و تجهیزات پزشکی، انبارهای پشتیبان برای تامین کالای پزشکی در نظر گرفته شده‌است.

۳. در نقاط انتقال تاسیس شده علاوه بر وسایل نقلیه پر سرعت، وجود تیم پرستاری جهت انجام اقدامات اولیه و در صورت لزوم همراهی مصدوم در مسیر منتهی به بیمارستان در نظر گرفته شده‌است.

۴. با توجه به تاکید وزارت بهداشت مبنی بر استفاده از اصلاح و راه اندازی سیستم تریاژ در اورژانس‌های بیمارستانی [۲۵]، این سیستم در مدل لحاظ و در نظر گرفته شده‌است.

در ادامه، مقاله به صورت زیر سازماندهی شده‌است: در بخش دوم، مدل برنامه‌ریزی جامع و یکپارچه برای مدیریت بحران تشریح شده و در بخش سوم، مطالعه موردی درخصوص بحران زلزله در منطقه یک تهران ارایه شده‌است. در نهایت، در بخش‌های چهارم و پنجم به ترتیب روش حل و نتیجه‌گیری آمده است.

## ۲ مدل ریاضی دو هدفه لجستیک امداد

دراین بخش، مفروضات پارامترها، متغیرهای تصمیم و مدل برنامه‌ریزی ریاضی مساله معرفی می‌گردد.

### ۲-۱ مفروضات

۱- در این مساله چند منطقه آسیب وجود دارد که مکان بالقوه برای احداث بیمارستان‌ها و نقاط انتقال می‌باشد. ۲- در این مساله چند نقطه کاندید برای احداث مراکز پلیس، چند نقطه کاندید برای احداث انبارهای مواد غذایی و کالای پزشکی (دارو و لوازم و تجهیزات پزشکی) و چند نقطه کاندید برای احداث انبارهای پشتیبان کالای پزشکی در نظر گرفته شده‌است. ۳- در نقاط انتقال تاسیس‌شده، علاوه بر آمبولانس‌های مجهز، تیم‌های پرستاری جهت انجام اقدامات اولیه و در صورت لزوم همراهی مصدوم در مسیر منتهی به بیمارستان درنظرگرفته‌شده‌است.



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

۴- مصدومان به چند دسته تقسیم بندی می‌شوند که با توجه به دستور العمل کشوری مبنی بر اصلاح و راه‌اندازی سیستم تریاژ، حداکثر مدت زمان رسیدگی به آن‌ها برای نجات با یکدیگر متفاوت است [۲۵]. بنابراین لازم است مصدومان در زمان مشخص در همان تریاژ به بیمارستان‌ها یا به تیم‌های پرستاری حاضر در نقاط انتقال برسند. ۵- هر انبار، حاوی مواد غذایی و کالای پزشکی می‌باشد و با احتمال خرابی مواجه است. هم‌چنین مواد غذایی و کالای پزشکی موجود در هر انبار، به ترتیب تقاضای مناطق آسیب‌دیده و بیمارستان‌ها را برآورده می‌کند. ۶- به دلیل اهمیت بالای نیاز به کالای پزشکی در هنگام بحران و با توجه به اینکه ممکن است انبارها دچار آسیب شوند، تعدادی انبار پشتیبان در خارج منطقه آسیب احداث می‌شوند. ۷- با توجه به شلوغی و احتمال سرقت و هجوم به انبارها و هم‌چنین با توجه به اینکه حضور فیزیکی پلیس خود موجب احساس امنیت می‌شود [۷]، لذا نیاز است که هر مرکز پلیس در نزدیکی و در شعاع خاصی از انبارهای تاسیس شده، احداث شود و علاوه بر خدمت‌رسانی به انبار به نقاط آسیب‌دیده نیز خدمت‌رسانی کند. ۸ - احتمال خرابی در مراکز پلیس در نظرگرفته شده‌است.

## ۲-۲ مجموعه‌ها

| | | | |
|---|---|---|---|
| $I$ : | مجموعه نقاط آسیب‌دیده | $m$ : | شناساگر نقاط بالقوه انتقال ($m \in I$) |
| $L$ : | مجموعه نقاط بالقوه مراکز پلیس | $h$ : | شناساگر نقاط بالقوه بیمارستان ($h \in I$) |
| $J$ : | مجموعه نقاط بالقوه تاسیس انبار | $l$ : | شناساگر مرکز پلیس ($l \in L$) |
| $B$ : | مجموعه نقاط بالقوه تاسیس انبار پشتیبان | $j$ : | شناساگر انبار ($j \in J$) |
| $F$ : | مجموعه تریاژ مصدومان | $b$ : | شناساگر انبار پشتیبان ($b \in B$) |
| $S$ : | مجموعه سناریو گسل‌ها | $s$ : | شناساگر سناریو گسل‌ها ($s \in S$) |
| $i$ : | شناساگر نقاط آسیب‌دیده ($i \in I$) | $f$ : | شناساگر تریاژمصدومان ($f \in F$) |

## ۲-۳ پارامترها

| | | | |
|---|---|---|---|
| $N$ : | تعداد نقاط انتقالی که باید احداث شوند. | $\mu_i$ : | پوشش نقطه آسیب‌دیده $i$ جهت برقراری امنیت. |
| $M$ : | تعداد بیمارستان‌هایی که باید احداث شوند. | | |
| $\phi$ : | تعداد انبارهایی که باید احداث شوند. | $v_i^s$ : | تقاضای نقطه آسیب‌دیده $i$ برای کالای امدادی تحت سناریوی $s$. |
| $G$ : | تعداد مراکز پلیسی که باید احداث شوند. | | |
| $A$ : | تعداد انبار پشتیبانی که باید احداث شوند. | $w_i^{sf}$ : | تعداد مصدومان با تریاژ $f$ تحت سناریوی $s$ در نقطه آسیب‌دیده $i$. |
| $\varphi$ : | ضریب وزن‌دهی برای تابع هدف اول. | $\Phi$ : | ضریب وزن‌دهی برای تابع هدف دوم. |
| $t_{hb}$ : | زمان بین بیمارستان $h$ و انبار پشتیبان $b$. | $q^s$ : | احتمال‌خرابی مرکز پلیس در سناریو $s$. |



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

$t_{ih}$ : زمان بین نقطه آسیب‌دیده i و بیمارستان h.

$t_{ij}$ : زمان بین نقطه آسیب‌دیده i و انبار j.

$t_{imh}$ : زمان بین نقطه آسیب‌دیده i و بیمارستان h با گذراز نقطه انتقال m.

$a_{lj}$ : برابر ۱ اگر مرکزپلیس l توسط انبار j پوشش داده شود در غیر اینصورت صفر.

$a_{ij}$ : برابر ۱ اگر نقطه آسیب‌دیده i توسط انبار j پوشش داده شودودرغیراینصورت صفر .

$T^f$ : زمان رسیدگی به مصدومان تریاژ f

$\Gamma_j^s$ : احتمال سالم‌بودن انبار j ام درسناریو s.

$prob_{ij}^S$ : احتمال اینکه نقطه آسیب i تحت سناریوs توسط انبار j پوشش یابد.

$prob_i^S$ : احتمال اینکه نقطه آسیب i تحت سناریو s توسط برخی انبارها پوشش‌داده شود.

$a_{il}$ : برابر ۱ اگر نقطه آسیب i توسط پلیس l پوشش‌داده شودو گرنه صفر.

## ۴-۲ متغیرهای تصمیم

$d_h^s$ : تقاضای بیمارستان h تحت سناریوs از نوع دارو وتجهیزات و لوازم پزشکی.

$x_{imh}^{sf}$ : برابر ۱ اگر مصدوم با تریاژ f تحت سناریوی s در نقطه آسیب‌دیده i از نقطه انتقال m به بیمارستان h برود و در غیر اینصورت صفر.

$x_{ih}^{sf}$ : برابر ۱ اگر مصدوم باتریاژ f تحت سناریوی s در نقطه آسیب‌دیده i به صورت مستقیم به بیمارستان h برود و در غیر اینصورت صفر.

$E_m$ : برابر ۱ اگر نقطه انتقال در نقطه بالقوه m احداث شود و در غیر این‌صورت صفر.

$Z_h$ : برابر ۱ اگر بیمارستان در نقطه بالقوه h احداث شود و در غیر اینصورت صفر.

$\sigma_l$ : برابر ۱ اگر مرکز پلیس در نقطه بالقوه l احداث شود و در غیر اینصورت صفر.

$\psi_{il}^s$ : برابر ۱ اگر نقطه آسیب‌دیده i تحت سناریو s توسط مرکز پلیس l پوشش داده شود و در غیر اینصورت صفر

$y_{hb}^s$ : برابر ۱ اگر بیمارستان h تحت سناریوs به انبار پشتیبان b تخصیص یابد و در غیر این‌صورت صفر.

$u_j$ : برابر ۱ اگر انباردر نقطه بالقوه j احداث شود و در غیر اینصورت صفر.

$\zeta_b$ : برابر ۱ اگر انبار پشتیبان b احداث شود و در غیر اینصورت صفر.

$\delta_i^s$ : برابر ۱ اگر مصدومان تحت سناریوs در نقطه آسیب‌دیده i توسط انبار مواد غذایی پوشش داده شود و در غیر اینصورت صفر.

$y_{ij}^s$ : برابر ۱ اگر نقطه آسیب‌دیده i تحت سناریوs به انبار j تخصیص یابد و در غیر اینصورت صفر.

$y_{hj}^s$ : برابر ۱ اگر بیمارستان h تحت سناریوs به انبار j تخصیص یابد و در غیر اینصورت صفر.



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

## ۲-۵ مدل نمودن مراکز توزیع با درنظرگرفتن احتمال خرابی

مدل ریاضی مکان‌یابی پوشش تسهیلات را در نظر بگیرید :

$$Min \sum_{j\in J} u_j \qquad (۱)$$

$$\sum_{j\in J} a_{ij}u_j \geq ۱ \quad \forall i \in I \quad u_j \in \{۰,۱\} \qquad (۲)$$

احتمال خرابی انبارها را با توجه به مقاله هوانگ [۲۶] می‌توان به صورت زیر در مدل وارد نمود:

$$prob_{ij}^{S} = a_{ij}\Gamma_j^S \quad \forall i \in I, j \in J, s \in S \qquad (۳)$$

به طوری‌که $\theta(u) = (j, u_j = 1, j\in J)$ است:

$$۱ - \prod_{j\in\theta(u)} (۱ - prob_{ij}^{s}) \geq prob_i^s \quad \forall i \in I, s \in S \qquad (۴)$$

سپس به وارد کردن متغیر تصمیم پرداخته و هم‌چنین برای خطی کردن مدل با لگاریتم‌گیری از دو طرف:

$$-\sum_{j\in J} (\ln(۱ - prob_{ij}^{s}))u_j \geq -\ln(۱ - prob_i^s) \quad \forall i\in I, s\in S \qquad (۵)$$

اگر $R_{ij}^{s} = -\ln(1-prob_{ij}^{s})$ و $o_i^s = -\ln(1-prob_i^s)$ آنگاه مدل را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$Min \sum_{j\in J} u_j \qquad (۶)$$

$$\sum_{j\in J} R_{ij}^{s}u_j \geq o_i^s \quad \forall i \in I, s \in S \quad u_j = \{۰,۱\}, j \in J \qquad (۷)$$

با توجه به مقاله داسکین ودین [۲۷] می‌توان مدل را به صورت زیر نوشت:

$$Max \sum_s \sum_i v_i^s \delta_i^s o_i^s \qquad (۸)$$

$$\sum_j R_{ij}^{s}u_j \geq o_i^s \delta_i^s \quad \forall i\in I, s\in S \qquad (۹)$$

$$\sum_j u_j = \phi \qquad (۱۰)$$

$$u_j = \{۰,۱\}, j \in J \quad \delta_i^s = \{۰,۱\}, i \in I, s\in S \qquad (۱۱)$$

تابع هدف (۸) مربوط به حداکثر پوشش تقاضای نقاط آسیب‌دیده از انبارهای مواد غذایی تحت سناریوهای مختلف و با توجه به احتمال خرابی مربوط به انبارهای مواد غذایی می‌باشد. محدودیت (۹) نشان می‌دهد که با



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

توجه به احتمال خرابی انبارها، یک نقطه آسیب‌دیده با چه حداقل احتمالی تحت هر سناریو باید پوشش داده شود. محدودیت(۱۰)و(۱۱) نشان دهنده تعداد انبارهای تاسیس‌شده و متغیرهای تصمیم مدل هستند.

## ۲-۶ توابع و محدودیت‌ها

$$Min\ (\varphi)\left(\sum_s\sum_i\sum_m\sum_f\sum_h w_i^{sf}\left(t_{imh}x_{imh}^{sf}+t_{ih}x_{ih}^{sf}\right)\right)+ \tag{۱۲}$$

$$(1-\varphi)\left(\sum_h\sum_j\sum_s d_h^s y_{hj}^s t_{hj}\left(\Gamma_j^s\right)+\sum_h\sum_b\sum_j\sum_s d_h^s y_{hb}^s t_{hb}\left(1-\Gamma_j^s\right)\right)$$

$$Max\ (\Phi)\left(\sum_s\sum_i\sum_l a_{il}\psi_{il}^s p^s q^{s(l-1)}\mu_i\right)+(1-\Phi)\left(\sum_s\sum_i v_i^s\delta_i^s o_i^s\right) \tag{۱۳}$$

*s.t.*

$$\sum_l \sigma_l = G, \tag{۱۴}$$

$$\sum_i a_{il}\psi_{il}^s = \sum_i a_{il}\sigma_l, \quad \forall\, l\in L, s\in S, \tag{۱۵}$$

$$a_{lj}\sigma_l \le u_j, \quad \forall j\in J, l\in L, \tag{۱۶}$$

$$\sum_j R_{ij}^s u_j \ge o_i^s\delta_i^s, \quad \forall i\in I, s\in S, \tag{۱۷}$$

$$\sum_j u_j = \phi, \tag{۱۸}$$

$$\sum_j y_{hj}^s = Z_h, \quad \forall h\in I, s\in S, \tag{۱۹}$$

$$\sum_b y_{hb}^s = 1, \quad \forall h\in I, s\in S, \tag{۲۰}$$

$$y_{hb}^s \le \zeta_b, \quad \forall\, h\in I,\ b\in B, s\in S, \tag{۲۱}$$

$$\sum_b \zeta_b = A, \tag{۲۲}$$

$$y_{hj}^s \le u_j, \quad \forall\, h\in I,\ j\in J, s\in S, \tag{۲۳}$$

$$\sum_m\sum_h x_{imh}^{sf} + \sum_h x_{ih}^{sf} = 1, \quad \forall i\in I,\ s\in S, f\in F, \tag{۲۴}$$

$$x_{imh}^{sf} \le E_m \quad \forall\, i, m,\ h\in I,\ s\in S, f\in F, \tag{۲۵}$$

$$x_{imh}^{sf} \le Z_h \quad \forall\, i,\ m,\ h\in I,\ s\in S, f\in F, \tag{۲۶}$$

$$x_{ih}^{sf} \le Z_h \quad \forall\, i, h\in I,\ s\in S, f\in F, \tag{۲۷}$$

$$\sum_m E_m = N, \tag{۲۸}$$

$$\sum_h Z_h = M, \tag{۲۹}$$

$$\sum_f\sum_i\sum_m\left(x_{imh}^{sf}+x_{ih}^{sf}\right)w_i^{sf} = d_h^s \quad \forall h\in I, s\in S, \tag{۳۰}$$



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

$$\sum_{m}\sum_{h} t_{im}\, x^{sf}_{imh} + \sum_{h} t_{ih}\, x^{sf}_{ih} \le T^{f} \quad \forall\, i \in I\ ,\ s \in S, f \in F, \tag{۳۱}$$

$$d^{s}_{h} \ge ۰\ ,\ x^{sf}_{imh}, x^{sf}_{ih}\ ,\ E_{m}\ ,\ z_{h}\ ,\ \sigma_{l}\ ,\ \psi^{s}_{il}\ ,\ u_{j}\ ,\ \zeta_{b}\ ,\ y^{s}_{ij}\ ,\ \delta^{s}_{i}\ ,\ y^{s}_{hj}, y^{s}_{hb} \in \{۰,۱\} \tag{۳۲}$$

تابع هدف (۱۲)، مربوط به حداقل کردن تقاضا در زمان می‌باشد به این صورت که قسمت اول، مربوط به تصمیم‌گیری در مورد تخصیص نقاط آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها، از طریق نقاط انتقال یا به صورت مستقیم می‌باشد، قسمت دوم مربوط به تخصیص بیمارستان‌ها به انبارها با توجه به احتمال خرابی انبارها و قسمت سوم مربوط به آن بخش از تقاضاهای بیمارستان از انبارها می‌باشد که به علت در نظر گرفتن خرابی و تحت هر سناریو، باید از انبارهای پشتیبان تامین شود. هم‌چنین در تابع هدف (۱۳)، عبارت اول مربوط به حداکثر کردن تقاضای مناطق تحت پوشش مراکز پلیس، با توجه به احتمال خرابی مراکز پلیس تحت سناریوهای مختلف می‌باشد که به صورت توزیع هندسی لحاظ شده‌است [۲۸] و عبارت دوم مربوط به تقاضای نقاط آسیب‌دیده برای مواد غذایی و احتمالات خرابی مربوط به انبارهای مواد غذایی تحت سناریوهای مختلف می‌باشد، به این صورت که در عبارت اول تقاضا در جهت امنیت و درعبارت دوم تقاضا در جهت مواد غذایی حداکثر می‌شود. هم چنین ضرایبی برای متعادل کردن عبارت‌های اول و دوم توابع هدف نیز در نظر گرفته شده که با توجه به نظر تصمیم گیرنده می‌تواند به هر یک از عبارت‌ها وزن دهی خاصی اعمال نماید. محدودیت (۱۴) نشان می‌دهد که چه تعداد مراکز پلیس باید تاسیس شود. محدودیت (۱۵) نشان می‌دهد که به یک نقطه ناامن وقتی می‌توان از مراکز پلیس خدمت‌رسانی کرد که اولا مرکز پلیس تاسیس شده باشد و هم‌چنین آن نقطه در ناحیه تحت پوشش آن مرکز باشد. محدودیت (۱۶)، نشان می‌دهد که اگر انبار احداث شود مرکز پلیس می‌تواند در مسافتی مشخص از آن احداث شود. محدودیت (۱۷)، نشان می‌دهد که با توجه به خرابی انبارها یک نقطه آسیب‌دیده با چه حداقل احتمالی باید پوشش داده شود. هم‌چنین تعداد انبارهای موادغذایی که باید تاسیس شود در محدودیت (۱۸) نشان داده شده‌است. محدودیت (۱۹)، نشان می‌دهد که اگر بیمارستان تاسیس شود، آنگاه بین بیمارستان و انبار می‌تواند ارتباط برقرار شود. از طرفی محدودیت (۲۰) نشان می‌دهد که هر بیمارستان فقط از یک انبار پشتیبان، خدمت دریافت می‌کند. محدودیت (۲۱)، نشان می‌دهد که اگر انبار پشتیبان تاسیس شود آنگاه می‌توان بین انبار پشتیبان و بیمارستان ارتباط برقرار کرد. محدودیت (۲۲)، نشان می‌دهد که چه تعداد انبار پشتیبان باید تاسیس شود. محدودیت (۲۳) نیز نشان می‌دهد که یک بیمارستان در صورتی به یک انبار اختصاص می‌یابد که آن انبار تاسیس شود. محدودیت (۲۴) نشان می‌دهد که هر مصدوم با تریاژ مخصوص، از نقطه آسیب داده، یا به طور مستقیم و یا توسط نقطه انتقال به بیمارستان منتقل می‌شود. محدودیت (۲۵) و (۲۶) به ترتیب نشان می‌دهند، در صورتی یک مصدوم با واسطه نقطه انتقال به بیمارستان منتقل می‌شود که آن نقطه انتقال و بیمارستان احداث شده باشند. محدودیت (۲۷) نشان می‌دهد که یک مصدوم در صورتی می‌تواند به طور مستقیم به یک بیمارستان برود که آن بیمارستان احداث شده باشد. هم‌چنین محدودیت (۲۸) و (۲۹) به ترتیب نشان دهنده تعداد نقطه انتقال و بیمارستانی است که باید احداث شوند. محدودیت (۳۰) نیز مقدار داروی مورد نیاز بیمارستان برای پاسخگویی به مناطق تحت پوشش آن بیمارستان را نشان می‌دهد. محدودیت (۳۱) نشان می‌دهد که لازم است مصدومان با تریاژ



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

مخصوص به نزدیک‌ترین بیمارستان یا تیم پرستاری در نقاط انتقال، در مدت زمان مشخص به آن تریاژ برسند. محدودیت (۳۲) نیز متغیرهای مثبت و صفر و یک مدل را نشان می‌دهد.

## ۲-۷ خطی‌سازی

عبارت‌های $d_h^s y_{hj}^s$ و $d_h^s y_{hb}^s$ در تابع هدف اول مساله به صورت غیر خطی می‌باشد. حال با توجه به مطالعه شرادین و آلامدین [۲۹] معادل خطی آن را می‌توان به صورت زیر نوشت: با جایگزینی عبارت $d_h^s y_{hj}^s$ با متغیر $\eta_{hj}^s$ و عبارت $d_h^s y_{hb}^s$ با متغیر $\eta_{hb}^s$ و اضافه‌کردن محدودیت‌های زیر می‌توان معادل خطی آن را نوشت:

$$\eta_{hj}^s \le d_h^s \quad \forall h \in I, j \in J, s \in S \qquad (۳۳)$$

$$\eta_{hj}^s \le M y_{hj}^s \quad \forall h \in I, j \in J, s \in S \qquad (۳۴)$$

$$\eta_{hj}^s \ge M\left(y_{hj}^s - ۱\right) + d_h^s \quad \forall h \in I, j \in J, s \in S \qquad (۳۵)$$

$$\eta_{hj}^s \ge ۰ \quad \forall h \in I, j \in J, s \in S \qquad (۳۶)$$

$$\eta_{hb}^s \le d_h^s \quad \forall h \in I, b \in B, s \in S \qquad (۳۷)$$

$$\eta_{hb}^s \le M y_{hb}^s \quad \forall h \in I, b \in B, s \in S \qquad (۳۸)$$

$$\eta_{hb}^s \ge M\left(y_{hb}^s - ۱\right) + d_h^s \quad \forall h \in I, \mathrm{b} \in \mathrm{B}, \mathrm{s} \in S \qquad (۳۹)$$

$$\eta_{hb}^s \ge ۰ \quad \forall h \in I, b \in B, s \in S \qquad (۴۰)$$

## ۳ مطالعه موردی

بر اساس گزارش سازمان ملل، در سال ۲۰۰۵ میلادی، کشور ایران در بین کشورهای جهان، رتبه نخست را در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵.۵ ریشتر و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه آسیب‌پذیری از زلزله و تعداد افرادکشته شده در اثر این سانحه، داشته است [۳۰]. در این میان پایتخت ایران، به عنوان پرجمعیت‌ترین شهر با جمعیتی در حدود ۹۰۴۲۸۰۲ نفر، طبق سرشماری سال ۱۳۹۰ در معرض آسیب است. به دلیل وجود تعداد بسیار زیاد گسل‌ها و سوابق تاریخی فعالیت این گسل‌ها می‌توان گفت که در آینده‌ای نه چندان دور، تهران با زلزله عظیم مواجه خواهد شد. از بین گسل‌های تهران، سه گسل مشا (با طول حدود ۷۰ کیلومتر)، گسل تهران شمال (باطول حدود ۵۸کیلومتر) و گسل ری (باطول حدود ۲۶ کیلومتر) از اهمیت زیادی برخوردارند [۳۱].

از طرفی منطقه یک تهران به دلیل واقع شدن بر روی این گسل‌ها، دارای آسیب‌پذیری بسیار بالایی می‌باشد. که با توجه به دلایل زیر به عنوان مطالعه موردی این مقاله انتخاب شده‌است:

طبق مطالعات آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) در رابطه با زلزله تهران، شدت زلزله ناشی از فعال شدن گسل مشا وگسل شمال تهران تقریبا به میزان ۷/۲ و فعال شدن گسل ری ۶/۷ ریشترخواهد بود و با توجه به این شدت‌ها، ۵۰ درصد ساختمان‌های منطقه یک تهران تخریب می‌شوند [۳۱]. دلیل دیگر وجود بافت‌های فاقد استانداردهای لازم و قدیمی در دل این منطقه از شهر تهران است، که پایداری اندک در برابر زلزله از مشخصه‌های اصلی این گونه بافت‌های شهری می‌باشد [۳۲]. مهم‌ترین دلیل نیز جمعیت بالای این منطقه است



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

که در معرض آسیب می‌باشند. با توجه به دلایل، اهمیت بالای برنامه‌ریزی و مدیریت بحران زلزله در این منطقه تهران آشکار می‌شود. به منظور اعتباردهی مطالعه موردی و هم‌چنین برنامه‌ریزی دقیق در منطقه یک تهران، به طور عمده از دو پژوهش معتبر استفاده شده‌است: ۱- در سال ۱۳۷۹ طی موافقت‌نامه‌ای بین آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) و دولت وقت، گروهی از محققین ژاپنی به تهران آمدند و با انجام مطالعات بروی شهر تهران، گزارشی کامل و جامع تحت عنوان ریز پهنه‌بندی تهران بزرگ ارایه نمودند که بسیار معتبر و قابل استناد است [۳۱]. ۲- در سال ۱۳۹۰ پژوهشی در منطقه یک تهران تحت عنوان ارزیابی مدل رادیوس در تخمین خسارات ناشی از زلزله در محیط جغرافیایی، توسط گروهی از محققین دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفت [۳۲]. منطقه یک شهرداری تهران دارای ۱۰ ناحیه و ۲۶ محله است که جمعیت آن براساس سرشماری سال ۱۳۹۰، ۴۳۹۴۶۷ می‌باشد. شکل (۱) و جدول (۱)، نواحی و محلات به همراه موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند. اگر زلزله در شب روی دهد میزان تلفات انسانی افزایش می‌یابد، اما تعداد ساختمان‌های تخریب شده در شب یا روز به همان میزان خواهد بود [۳۱]. با توجه به توضیحات، در این مقاله نیز شدت زلزله را برای گسل مشا و گسل شمال تهران۷/۲ و برای گسل ری ۶/۷ ریشتر و ساعت رخ دادن این حادثه نیز یک بامداد در نظر گرفته شده‌است. به دلیل اینکه گزارش جایکا مربوط به سال ۱۳۷۹ می‌باشد، برنامه‌ریزی طبق نتایج حاصل از این گزارش با خطای زیادی همراه است. لذا برای بروز بودن برنامه‌ریزی، از پژوهش امینی و همکاران [۳۲] استفاده‌شده که با استفاده از این مطالعات می‌توان اطلاعاتی جامعی در خصوص میزان خسارات، تعداد مصدومان، درصد تخریب مربوط به هر یک از محلات و سایر پارامترهای ورودی به مدل را به‌دست آورد. هم‌چنین با توجه به اهمیت بالای موضوع، برای واردکردن تعدادی از پارامترهای ورودی نیز به گزارش مسئولین ذیربط در روزنامه‌ها و سایت‌های خبری استناد شده‌است.

در این مطالعه موردی مفروضات به طورکامل به شرح زیر می‌باشد (شایان ذکر است که به واژه‌هایی هم‌چون ناحیه و محله وتفاوت این دو واژه در شکل(۱) دقت شود): ۱- در این منطقه ۲۶ محله وجود دارد که مرکز هر محله به عنوان نقطه آسیب در نظر گرفته شده‌است هم‌چنین این نقاط نیز، مکان بالقوه برای احداث بیمارستان‌ها و نقاط انتقال می‌باشند. ۲- در این منطقه تعداد ۶ بیمارستان با امکانات مناسب وجود دارد که با توجه به مطالعه امینی و همکاران [۳۲] و سیاست وزارت بهداشت که مبنی بر جای‌گزین کردن بیمارستان‌های فرسوده به جای مقاوم‌سازی بیمارستان‌های قدیمی است [۳۳] و هم‌چنین با در نظر گرفتن ترکیب عواملی نظیر مکان قرارگیری و مقاومت ساختمان بیمارستان‌ها و احتمال خرابی، از میان بیمارستان‌های موجود، بیمارستان طالقانی واقع در محله ولنجک، بیمارستان دکتر چمران واقع در محله اراج، بیمارستان تجریش واقع در محله تجریش، کاندید جهت مقاوم‌سازی و تعداد ۲۳ محله دیگر به عنوان کاندید برای احداث بیمارستان جدید درنظرگرفته شده‌اند.۳- در این منطقه ۱۰ ناحیه وجود دارد که مراکز این نواحی به عنوان نقطه کاندید برای احداث مراکز پلیس در نظر گرفته شده‌است. شایان ذکر است تعداد ۴ کلانتری در منطقه یک تهران موجود می‌باشد که به علت نوع ساختمان، سال تاسیس و مکان قرارگیری با توجه به شدت زلزله و احتمال تخریب، دو کلانتری۱۲۲ (مرکز پلیس فعلی واقع در گلابدره) و کلانتری ۱۶۴ (مرکز پلیس فعلی واقع درسوهانک) جهت مقاوم‌سازی و تعداد ۸



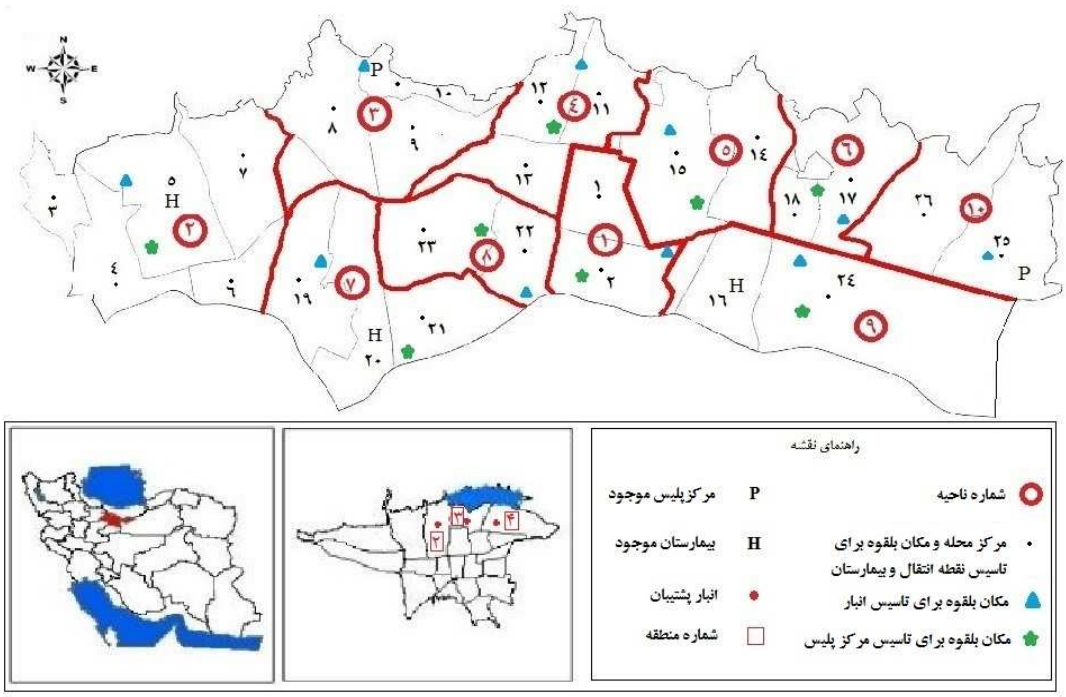
[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

مکان بالقوه دیگر جهت احداث کلانتری در نظر گرفته شده‌است. ۴- در این منطقه ۱۰ ناحیه وجود دارد که در هر یک از این نواحی یک نقطه کاندید با درنظرگرفتن احتمال خرابی و نزدیکی به راه‌های ارتباطی اصلی، به عنوان مکان بالقوه برای تاسیس انبارهای مواد غذایی و کالای پزشکی در نظر گرفته شده‌است. ۵- با توجه به مطالعات جایکا، آسیب ناشی از فعالیت شناور گسل‌ها در مناطق ۲ و ۳ و۴ کم‌تر می‌باشد، سه نقطه کاندید جهت احداث انبارپشتیبان در نزدیکی راه‌های ارتباطی اصلی در این نواحی نظر گرفته شده‌است. ۶- هر مرکز پلیس و هر انبارمواد غذایی و کالای پزشکی تاسیس شده در هر محله می‌تواند محله خود و محله‌های اطراف که با آن‌ها مرز مشترک دارد را پوشش دهد. ۷- با توجه به مطالعات، بعد از وقوع زلزله به علت ازدحام و شلوغی، ترافیک شدیدی در مسیرهای ارتباطی درون منطقه آسیب‌دیده به‌وجود می‌آید [۳۴] به همین دلیل سرعت وسیله نقلیه با توجه به ترافیک ۲۵ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده‌است [۳۵]. ۸- در نقاط انتقال تاسیس شده علاوه بر آمبولانس‌های مجهز، وجود تیم‌های پرستاری جهت انجام اقدامات اولیه و در صورت لزوم همراهی مصدوم در مسیر منتهی به بیمارستان در نظر گرفته شده‌است. ۹- دراین مقاله مصدومان زلزله به دو دسته‌ی مصدومان اورژانسی‌و مصدومان غیراورژانسی تقسیم‌بندی شده‌اندکه با توجه به دستورالعمل کشوری مبنی بر اصلاح و راه‌اندازی سیستم تریاژ، مصدومان دارای آسیب دیدگی تنفسی و آسیب دیدگی سر و گردن از نظر اولویت رسیدگی جز بیماران فوری و خیلی اورژانسی محسوب شده و حداکثر مدت زمان رسیدگی به آن‌ها برای نجات حدود ۱۰ دقیقه تعیین شده‌است [۲۵]. از طرفی حدود ۲۰ درصد حادثه‌دیدگان زلزله دارای این نوع مصدومیت هستند [۳۶]. ۱۰- با توجه به حجم، بزرگی، خسارات و تلفات زیاد زلزله، این طور فرض شده‌است که مصدومان با توجه به تریاژی که دارند توسط وسایل نقلیه موجود به طور مستقیم، و یا توسط وسایل نقلیه موجود به نقاط انتقال و از آنجا توسط آمبولانس‌های مجهز و با سرعت بیشتر، به بیمارستان‌ها انتقال می‌یابند. ۱۱- لازم است مسیرهایی ویژه برای تردد آمبولانس‌ها در نظر گرفته شود که سرعت آمبولانس‌های مجهز در مسیرهای ویژه ۵۰ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده‌است.۱۲- با توجه به شکل (۲) و مکان‌های کاندید انبارها در شکل (۱)، احتمال خرابی انبارها در سناریوهای مختلف محاسبه شده‌است. از طرفی میزان پوشش نقاط آسیب‌دیده ۰/۸ و هم‌چنین احتمال خرابی در مراکز پلیس احداث شده با توجه به مناطق تاسیس شده به طور میانگین ۰/۳ برای سناریوگسل مشا و شمال و۰/۲ برای سناریوگسل ری در نظرگرفته شده‌است. ۱۳- با توجه به اینکه در منطقه یک تهران ۴ کلانتری و ۶ بیمارستان موجود است، لذا تصمیم بر تاسیس یا مقاوم‌سازی ۴ مرکز پلیس و ۶ بیمارستان شده‌است. ۱۴- با توجه به وسعت منطقه تعداد صفر،۱،۲،۳،۶،۹ مکان نقطه انتقال، تعداد ۴و۶ انبار مواد غذایی و کالای پزشکی، تعداد ۱ انبار پشتیبان برای تاسیس درنظرگرفته و تحلیل حساسیت انجام شده‌است. ۱۵- تعداد مصدومان در سناریوی گسل شمال تهران، گسل ری و گسل مشا با توجه به مطالعه امینی و همکاران مطابق با جدول (۲) و (۳)، (۴) است [۳۲]. ۱۶- مسافت بین نقاط آسیب‌دیده، مسافت بین مکان‌های کاندید برای تاسیس انبارهای مواد غذایی وکالای پزشکی تا مکان‌های کاندید برای تاسیس بیمارستان‌ها و هم‌چنین مسافت بین مکان‌های کاندید برای تاسیس انبارهای پشتیبان تا مکان‌های کاندید برای تاسیس بیمارستان‌ها با توجه به کوتاه‌ترین مسافت در مسیرهای اصلی (بزرگراه‌ها و شریان‌های اصلی) به‌دست آمده سپس با استفاده از سرعت‌ها، زمان‌های مربوطه



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

محاسبه‌شده‌است. نتایج محاسباتی به علت کمبود فضا حذف شده‌است. شایان ذکر است که برای محاسبه این مسافت‌ها از سامانه مسیریاب تهران [۳۷] استفاده شده‌است.



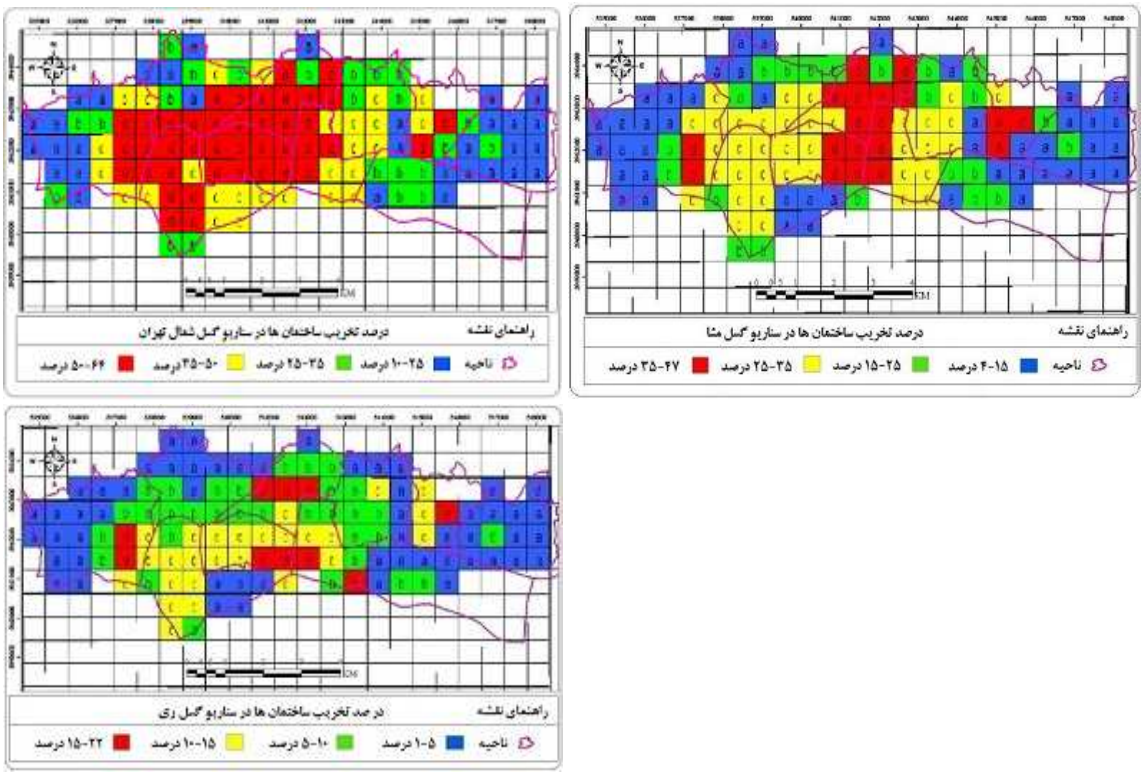

**شکل ۱.** موقعیت منطقه مورد مطالعه و مکان‌های بالقوه برای تاسیس مراکز

**جدول ۱.** شماره محلات منطقه ۱ تهران

| شماره | نام محله | شماره | نام محله | شماره | نام محله | شماره | نام محله | شماره | نام محله |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | حصاربوعلی | ۷ | زعفرانیه | ۱۲ | جماران | ۱۷ | شهرک نفت | ۲۲ | چیذر |
| ۲ | رستم آباد | ۸ | دربند | ۱۳ | دزاشیب | ۱۸ | شهرک گلها | ۲۳ | حکمت |
| ۳ | درکه | ۹ | امام زاده قاسم | ۱۴ | دارآباد | ۱۹ | باغ فردوس | ۲۴ | ازگل |
| ۴ | اوین | ۱۰ | گلابدره | ۱۵ | کاشانک | ۲۰ | تجریش | ۲۵ | سوهانک |
| ۵ | ولنجک | ۱۱ | نیاوران | ۱۶ | اراج | ۲۱ | قیطریه | ۲۶ | محلاتی |
| ۶ | محمودیه | | | | | | | | |



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]




**شکل۲.** درصد تخریب ساختمان ها در گسل های مختلف [۳۲]

**جدول ۲.** تعداد مصدومان مربوط به گسل شمال تهران [۳۲]

| محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۴۰۵ | ۵ | ۳۶۹۸ | ۹ | ۳۳۸۹ | ۱۳ | ۳۴۰۴ | ۱۷ | ۱۹۵۱ | ۲۱ | ۳۷۴۸ | ۲۵ | ۱۴۳۴ | | |
| ۲ | ۶۷۷۷ | ۶ | ۱۰۱۱ | ۱۰ | ۲۰۵۴ | ۱۴ | ۱۶۹۲ | ۱۸ | ۲۵۸۵ | ۲۲ | ۱۷۴۹ | ۲۶ | ۵۳۶۳ | | |
| ۳ | ۹۴۷ | ۷ | ۳۹۷۱ | ۱۱ | ۲۹۶۸ | ۱۵ | ۲۲۶۸ | ۱۹ | ۳۱۵۴ | ۲۳ | ۵۱۷۹ | | | | |
| ۴ | ۵۹۱ | ۸ | ۱۵۸۸ | ۱۲ | ۲۰۱۵ | ۱۶ | ۱۸۹۸ | ۲۰ | ۵۹۱۲ | ۲۴ | ۲۹۴۸ | | | | |

**جدول ۳.** تعداد مصدومان مربوط به گسل ری [۳۲]

| محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۵۲ | ۵ | ۴۸۷ | ۹ | ۴۸۰ | ۱۳ | ۴۵۷ | ۱۷ | ۲۸۵ | ۲۱ | ۴۸۳ | ۲۵ | ۲۲۸ | | |
| ۲ | ۸۷۰ | ۶ | ۱۳۳ | ۱۰ | ۲۹۱ | ۱۴ | ۲۰۲ | ۱۸ | ۳۷۷ | ۲۲ | ۲۵۶ | ۲۶ | ۵۹۲ | | |
| ۳ | ۱۲۵ | ۷ | ۵۲۳ | ۱۱ | ۳۹۸ | ۱۵ | ۲۷۱ | ۱۹ | ۴۰۷ | ۲۳ | ۷۵۸ | | | | |
| ۴ | ۷۸ | ۸ | ۲۲۵ | ۱۲ | ۲۷۰ | ۱۶ | ۲۲۷ | ۲۰ | ۷۶۳ | ۲۴ | ۴۶۸ | | | | |

**جدول ٤.** تعداد مصدومان مربوط به گسل مشا [۳۲]

| محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم | محله | مصدوم |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۰۳ | ۵ | ۱۲۹۳ | ۹ | ۱۳۰۱ | ۱۳ | ۱۷۵۸ | ۱۷ | ۱۱۵۸ | ۲۱ | ۱۲۵۳ | ۲۵ | ۷۶۴ | | |
| ۲ | ۳۴۰۴ | ۶ | ۳۵۳ | ۱۰ | ۷۸۸ | ۱۴ | ۸۹۶ | ۱۸ | ۱۵۳۴ | ۲۲ | ۸۳۶ | ۲۶ | ۳۲۹۲ | | |
| ۳ | ۳۳۱ | ۷ | ۱۳۸۹ | ۱۱ | ۱۵۳۳ | ۱۵ | ۱۲۰۲ | ۱۹ | ۱۰۵۵ | ۲۳ | ۲۴۷۲ | | | | |
| ۴ | ۲۰۷ | ۸ | ۶۰۹ | ۱۲ | ۱۰۴۰ | ۱۶ | ۱۰۰۶ | ۲۰ | ۱۹۷۸ | ۲۴ | ۱۵۶۸ | | | | |



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

## ٤ روش حل

روش محدودیت اپسیلون[۸] اصلاح شده یکی از رویکردهای شناخته شده برای مواجه با مسایل چند هدفه می‌باشد که به انتقال تمامی توابع هدف به جز یکی از آنها در هر مرحله، به حل این نوع مسایل می‌پردازد. یکی از مزیت‌های عمده این روش، این است که می‌توان تعداد جواب‌های تولید شده و بازه‌ها را با توجه به معیارهای تصمیم‌گیرنده تحت کنترل درآورد. در این مساله با توجه مطالعه موردی و اهمیت نظر تصمیم‌گیرنده از این روش استفاده شده‌است [۲۴]. مراحل این روش به صورت زیر است:

اگر تابع هدف (۱۳) و تابع هدف (۱۴) با $F_1$ و $F_2$ نشان داده شوند، آنگاه گام‌های روش محدودیت اپسیلون اصلاح شده برای این مساله به صورت زیر است: ۱- تابع هدف $F_1$ با توجه به اهمیت بحث زمان در بحران، به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود. ۲- مساله با توجه به تابع هدف $F_2$ حل می‌شود و بیشترین و کمترین مقدار برای این تابع هدف به‌دست می‌آید. ۳- تابع هدف $F_2$ به صورت محدودیت (۴۱) در مدل نوشته می‌شود و مدل مساله با تابع هدف اصلی حل می‌شود. بازه بین دو مقدار تابع هدف، به تعداد $\beta$ قسمت تقسیم بندی شده و یک جدول مقادیر با توجه به فرمول(۴۲) برای $\varepsilon_\alpha$ به‌دست می‌آید [۳۸]. ۴- هر بار مساله، با تابع هدف اصلی با هر یک از مقادیر $\varepsilon_\alpha$ حل می‌شود و جواب‌های پارتویی گزارش داده‌می‌شود و تصمیم‌گیرنده می‌تواند با توجه به جواب‌ها و معیارهای خود هرکدام از این بازه‌ها را به عنوان جواب بهینه انتخاب کند.

$$F_2 \geq \varepsilon_\alpha \qquad (۴۱)$$

$$\varepsilon_\alpha = \min(F_2) + \left( \frac{\max(F_2) - \min(F_2)}{\beta} \right) \alpha \quad \forall \alpha = 1,\ldots,\beta \qquad (۴۲)$$

مساله مورد نظر با استفاده از حل کننده CPLEX 24.1 در نرم‌افزار GAMS حل و در زمان ۳ روز و ۱۱ ساعت مساله در اختلاف درصد ۵۲/۷۳٪ بوده که با توجه به زمان حل بسیار بالا، از روش ابتکاری آزادسازی لاگرانژ استفاده شده‌است.

### ٤-۱ روش آزادسازی لاگرانژ

یکی از ایده‌های مناسب محاسباتی در دهه ۱۹۷۰ مشاهده مسایل بسیار سختی است که می‌توان با مجموعه کوچکی از محدودیت‌های مرتبط، آن‌ها را به صورت مسایل آسانی دید. تاریخچه روش لاگرانژ به سال ۱۹۷۰ برمی‌گردد که در آن سال هلد و کارپ از یک مساله لاگرانژ بر پایه مساله حداقل درخت پوشا به منظور طراحی یک الگوریتم بسیار موفق برای مساله فروشنده دوره‌گرد استفاده کردند. امروزه فهرست کاربردهای آزادسازی لاگرانژ باعث رشد بسیاری از مسایل بهینه‌سازی ترکیبی شده‌است که برای این مسایل، آزادسازی لاگرانژ بهترین الگوریتم موجود برای حل بوده و قادر به حل در اندازه‌های واقعی می‌باشد.



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

حال برای حل مساله، با آزمایش محدودیت‌ها، محدودیت (۳۰) به علت ارایه کیفیت جواب و زمان حل مناسب، انتخاب و با ضریب لاگرانژ در داخل تابع هدف قرار گرفته و از داخل محدودیت‌های مساله حذف می‌شود. تابع هدف به صورت رابطه(۴۳) با سایر محدودیت‌های مساله حل می‌شود.

$$Min\ \varphi\sum_{f}\sum_{s}\sum_{i}\sum_{m}\sum_{h} w_i^{sf}\left(t_{imh}x_{imh}^{sf}+t_{ih}x_{ih}^{sf}\right)+(1-\varphi)\sum_{s}\sum_{h}\sum_{j} d_h^s y_{hj}^s t_{hj}\left(\Gamma_j^s\right) \quad (43)$$
$$+\sum_{s}\sum_{h}\sum_{b}\sum_{j} d_h^s y_{hb}^s t_{hb}\left(1-\Gamma_j^s\right)+\lambda_1\left(\sum_{f}\sum_{h}\sum_{s}\sum_{i}\sum_{m}\left(\left(x_{ih}^{sf}+x_{imh}^{sf}\right)w_i^{sf}\right)-d_h^s\right)$$

## ٤-٢ نتایج محاسباتی

در این مساله، با توجه به اهمیت قسمت اول تابع هدف اول میزان ضریب ۰/۶ و برای تابع هدف دوم میزان ضریب ۰/۵ در نظر گرفته شده‌است. برای تابع هدف دوم ۵ بازه ($\beta = 5$) درنظر گرفته شده که به دلیل محدودیت فضا فقط بازه سوم و چهارم ($\alpha=3,4$)در جدول (۴) نمایش داده‌شده‌است. مساله با تعداد صفر، ۹،۶،۳،۲،۱ نقطه انتقال، و تعداد ۴و۶ انبار و سایر مفروضات، حل و نتایج در قالب جدول (۴) ارایه شده‌است.

اگر تعداد نقاط انتقال تعداد صفر،۲،۱ در نظر گرفته شود، به دلیل اینکه مصدومان با تریاژ قرمز را نمی‌توان در مدت زمان ۱۰ دقیقه به بیمارستان یا تیم‌های پرستاری در نقاط انتقال رساند، مدل جواب غیر موجه می‌دهد. افزایش تعداد نقاط انتقال باعث تغییری جزیی در مکان بیمارستان‌ها و انبارها می‌شود و در پی آن تغییری جزیی در مقدار تابع هدف فرعی حاصل می‌گردد، زیرا این مقدار مربوط به ماکزیمم کردن پوشش توسط مراکز پلیس و انبارهای مواد غذایی می‌باشد. اما همانطورکه ملاحظه می‌شود تابع هدف اصلی نسبت به تعداد نقاط انتقال حساس و با افزایش آن بهبود می‌یابد. افزایش تعداد انبارها به دلیل پوشش بهتر نقاط آسیب‌دیده و بیمارستان‌ها، موجب بهبود تابع هدف فرعی و بهبود تابع هدف اصلی می‌شود. با توجه به تراکم جمعیت و تعداد بالای مصدومان در نواحی مرکزی منطقه یک، اکثر بیمارستان‌ها در این نواحی تاسیس شده‌اند تا در هنگام زلزله بتوانند به موقع به مصدومان خدمت رسانی کنند. از میان بیمارستان‌های تاسیس‌شده، بیمارستان شهدای تجریش در تمامی حالات به علت مکان‌یابی مناسب، و تعداد بالای مصدومان آن محله، جهت مقاوم‌سازی انتخاب شده‌است، هم‌چنین نقاط انتقال در نواحی مرزی منطقه یک احداث شده تا بتوانند به مصدومان به موقع خدمت رسانی کنند. انبارها با توجه به پوشش نقاط آسیب‌دیده و هم‌چنین تقاضای بیمارستان‌ها، در نقاط بالقوه‌ای که کم‌ترین درصد خرابی را دارند احداث شده‌اند. از میان کلانتری‌ها، در بعضی از حالات کلانتری ۱۲۲ (مرکز پلیس فعلی واقع در گلابدره) جهت مقاوم سازی انتخاب شده‌است. با توجه به محدودیت‌های (۱۹)، (۲۶) و (۲۷) و اهمیت مکان‌یابی بیمارستان نسبت به سایر مکان‌یابی‌های مدل و هم‌چنین جمعیت بالای مصدومان در بعضی محلات خاص، مشاهده می‌شود که مکان تاسیس بیمارستان‌ها در تمام حالات تحلیلی با تغییرات کم همراه است. با توجه به مصدومان بسیار بالای ناشی از فعالیت گسل شمال نسبت به سایر گسل‌ها، متغیرهای تصمیم این گسل که مربوط به تخصیص



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

مصدومان به بیمارستان‌هاوتخصیص بیمارستان‌ها به انبارها برای حالت ۳ نقطه انتقال و ۴ انبار و بازه ۸۰٪ می باشند، در جداول ۵و۶ نمایش داده شده‌است. متغیرهای تصمیم مربوط به تخصیص مصدومان به بیمارستان‌ها وتخصیص بیمارستان‌ها به انبارها در سایر گسل‌ها برای حالت ۳ نقطه انتقال و ۴ انبار و بازه ۸۰٪ با توجه به تعداد کم نقاط انتقال و انبارها و ثابت بودن مراکز پلیس و بیمارستان‌ها، با تغییرات اندکی مانند جداول ۵و۶ می‌باشند. به عنوان مثال درجدول ۵، در هنگام زلزله در سناریو گسل شمال تهران به مصدومان با تریاژ قرمز(اندیس۲ =S) آسیب‌دیده در محله ۱ توصیه می‌شود که به بیمارستان واقع در محله ۲ بروند( $x^{21}_{1,2}$ ) یا مصدومان با تریاژعادی(اندیس۱ =S) در محله ۳ توصیه می‌شود به نقطه انتقال ۵ و ازآنجا به بیمارستان ۲۰ منتقل شوند( $x^{11}_{3,5,20}$ ).

## ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این مقاله مدلی جامع و یکپارچه برای مساله مدیریت بحران ارایه شد که شامل مکان‌یابی بیمارستان‌ها و نقاط انتقال و تخصیص مصدومان به بیمارستان‌ها، مکان‌یابی مراکز پلیس با در نظر گرفتن خرابی این مراکز و مکان‌یابی انبارهای موادغذایی و دارو و لوازم و تجهیزات پزشکی با در نظر گرفتن خرابی این مراکز و انبارهای پشتیبان برای خدمات پزشکی و تخصیص بیمارستان‌ها برای دریافت نیازهای پزشکی از این مراکز در زمان بحران است. اهداف مدل پیشنهادی شامل کمینه‌سازی میزان تقاضا در زمان، برای حمل و نقل مصدومان به بیمارستان و حمل و نقل کالاهای مورد نیاز از انبار به بیمارستان و بیشنیه سازی سطح سرویس مناطق آسیب‌دیده، با درنظرگرفتن مباحث مواد غذایی و امنیتی می‌باشد. با توجه به توضیحات، برای کاهش هزینه‌ها و خدمات بهتر، انبارهای موادغذایی و انبارهای مربوط به دارو و لوازم و تجهیزات پزشکی در یک انبار، تحت عنوان انبار موادغذایی وکالای پزشکی درنظرگرفته شده‌است. جهت رفع نیازهای پزشکی از مکان‌یابی بیمارستان‌ها و نقاط انتقال و در نظر گرفتن انبارهایی جهت تامین دارو، تجهیزات و لوازم پزشکی و هم‌چنین در نظر گرفتن انبارهای پشتیبان برای این منظور، برای نیازهای غذایی از مکان‌یابی پوشش با در نظر گرفتن خرابی انبارها و برای مراکز پلیس از مکان‌یابی پوشش با در نظر گرفتن احتمال خرابی آن مراکز استفاده شد که در تحقیقات قبلی این سه عامل به صورت یکپارچه در نظر گرفته نشده بود. منطقه یک تهران به علت جمعیت و آسیب پذیری بالا، جهت انجام مطالعه موردی انتخاب و با استفاده از مدل به تحلیل نتایج حاصل از آن پرداخته شد. در این مطالعه موردی، برای تابع هدف فرعی ۵ بازه درنظر گرفته که به دلیل محدودیت فضا فقط بازه سوم و چهارم نمایش داده شد. مساله با تعداد صفر،۱،۲،۳،۶،۹ نقاط انتقال، و تعداد ۴و۶ انبار و سایر مفروضات حل و نتایج نشان داد که اگر تعداد نقاط انتقال صفرو۱و۲ در نظر گرفته شود به دلیل اینکه مصدومان با تریاژ قرمز را نمی‌توان در مدت زمان ۱۰ دقیقه به بیمارستان یا تیم‌های پرستاری در نقاط انتقال رساند، مدل جواب غیر موجه می‌دهد. هم‌چنین با مقایسه تابع هدف اصلی در دو حالت تعداد نقاط انتقال ۳ و ۹، بهبود ۱۱ درصدی مشاهده می‌شودکه با توجه به اهمیت بالای زمان در ساعات اولیه بحران زلزله، نسبتا قابل ملاحظه است. به عنوان تحقیقات آتی می‌توان هزینه را وارد مدل کرد و هم‌چنین جهت کاهش هزینه از مسیریابی بین نقاط آسیب‌دیده و مفهوم پنجره‌های زمانی استفاده نمود.



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

**جدول ٤.** نتایج محاسباتی

| تعداد نقاط انتقال | تعداد انبارها | $\alpha/\beta$ | مقدار تابع هدف فرعی | مقدار تابع هدف اصلی (تقاضا در زمان(دقیقه)) | محلات انتخابی نقطه انتقال | نواحی انتخابی انبارها | مناطق انتخابی انبار پشتیبان | محلات انتخابی بیمارستان‌ها | مقاوم‌سازی بیمارستان‌ها | محلات انتخابی جهت مراکز پلیس | نواحی انتخابی جهت مقاوم‌سازی مراکز پلیس |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲،۱،۰ | ۴ | ٪۸۰ | به دلیل اینکه مصدومان با تریاژ قرمز را نمی‌توان در مدت زمان ۱۰ دقیقه به بیمارستان یا تیم‌های پرستاری در نقاط انتقال رساند، مدل جواب غیر موجه می‌دهد. | | | | | | | | |
| | ۶ | ٪۶۰ | به دلیل اینکه مصدومان با تریاژ قرمز را نمی‌توان در مدت زمان ۱۰ دقیقه به بیمارستان یا تیم‌های پرستاری در نقاط انتقال رساند، مدل جواب غیر موجه می‌دهد. | | | | | | | | |
| ۳ | ۴ | ٪۸۰ | ۲۵۵۵۹۸ | ۳۱۸۱۸۷۹ | ۲۴،۱۸،۵ | ۱۰،۷،۳،۱ | ۳ | ۲۶،۲۳،۲۰،۱۳،۱۰،۲ | ۲۰ | ۷،۶،۳،۱ | ۳ |
| | | ٪۶۰ | ۱۹۱۶۹۷ | ۳۱۶۳۴۵۷ | ۲۴،۱۸،۵ | ۱۰،۸،۴،۱ | ۳ | ۲۶،۲۳،۲۰،۱۳،۱۰،۲ | ۲۰ | ۹،۸،۷،۳ | ۳ |
| | ۶ | ٪۸۰ | ۴۱۰۴۹۷ | ۳۱۲۲۴۷۸ | ۲۴،۱۸،۵ | ۱۰،۸،۷،۵،۴،۱ | ۳ | ۲۶،۲۳،۲۰،۱۳،۱۰،۲ | ۲۰ | ۹ ،۸ ،۴ ،۱ | – |
| | | ٪۶۰ | ۳۰۷۸۵۸ | ۳۱۰۸۴۷۰ | ۲۴،۱۸،۵ | ۱۰،۸،۷،۵،۳،۱ | ۴ | ۲۶،۲۳،۲۰،۱۳،۱۰،۲ | ۲۰ | ۷،۶،۴،۱ | – |
| ۶ | ۴ | ٪۸۰ | ۲۷۰۸۷۰ | ۳۰۲۱۴۵۶ | ۲۴،۱۹،۱۸،۱۴،۱۳،۵ | ۱۰،۸،۳،۱ | ۳ | ۲۶،۲۳،۲۰،۱۱،۱۰،۲ | ۲۰ | ۱۰،۷،۳،۱ | ۳ |
| | | ٪۶۰ | ۲۰۳۱۵۲ | ۲۹۹۱۵۴۸ | ۲۴،۱۹،۱۸،۱۴،۱۳،۵ | ۱۰،۷،۴،۱ | ۳ | ۲۶،۲۳،۲۰،۱۱،۱۰،۲ | ۲۰ | ۹،۷،۵،۳ | ۳ |
| | ۶ | ٪۸۰ | ۴۲۰۲۷۹ | ۲۹۵۲۴۵۷ | ۲۴،۱۹،۱۸،۱۴،۱۳،۵ | ۱۰،۸،۷،۴،۳،۱ | ۴ | ۲۶،۲۳،۲۰،۱۱،۱۰،۲ | ۲۰ | ۹،۷،۴،۱ | – |
| | | ٪۶۰ | ۳۱۵۲۸۰ | ۲۹۳۷۵۶۹ | ۱۸،۱۴،۱۳،۵،۲۴،۱۹ | ۱۰،۷،۵،۴،۳،۱ | ۴ | ۲۶،۲۳،۲۰،۱۱،۱۰،۲ | ۲۰ | ۹،۷،۴،۱ | – |
| ۹ | ۴ | ٪۸۰ | ۲۸۳۶۰۷ | ۲۸۶۲۲۳۰ | ۲۴،۲۱،۱۹،۱۸،۱۶،۱۴،۱۳،۱۰،۵ | ۱۰،۸،۷،۱ | ۳ | ۲۶،۲۳،۲۰،۱۱،۹،۲ | ۲۰ | ۹،۸،۳،۱ | ۳ |
| | | ٪۶۰ | ۲۱۲۷۰۳ | ۲۸۴۶۲۴۰ | ۲۴،۲۱،۱۹،۱۸،۱۶،۱۴،۱۳،۱۰،۵ | ۱۰،۷،۳،۱ | ۳ | ۲۶،۲۳،۲۰،۱۱،۹،۲ | ۲۰ | ۹،۸،۴،۳ | ۳ |
| | ۶ | ٪۸۰ | ۴۴۳۳۲۳ | ۲۸۲۴۷۵۶ | ۲۴،۲۱،۱۹،۱۸،۱۶،۱۴،۱۳،۱۰،۵ | ۱۰،۷،۶،۴،۳،۱ | ۳ | ۲۶،۲۳،۲۰،۱۱،۹،۲ | ۲۰ | ۸،۶،۳،۱ | ۳ |
| | | ٪۶۰ | ۳۳۲۴۹۲ | ۲۸۱۶۳۲۰ | ۲۴،۲۱،۱۹،۱۸،۱۶،۱۴،۱۳،۱۰،۵ | ۱۰،۷،۶،۴،۳،۱ | ۳ | ۲۶،۲۳،۲۰،۱۱،۹،۲ | ۲۰ | ۸،۶،۳،۱ | ۳ |

**جدول ۵.** تخصیص نقاط آسیب‌دیده به واسطه نقاط انتقال یا به صورت مستقیم به بیمارستان‌ها

| متغیرهای تصمیم | تخصیص نقاط آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها |
|---|---|
| $x_{imh}^{f۱}$: اگر مصدوم با تریاژ f در سناریو گسل شمال در نقطه آسیب‌دیده i از نقطه انتقال m به بیمارستان h برود. | $x_{1,2}^{11}, x_{1,2}^{21}, x_{2,2}^{11}, x_{2,2}^{21}, x_{4,2۰}^{11}, x_{6,2۰}^{11}, x_{6,2۰}^{21}x_{8,23}^{11}, x_{8,1۰}^{21}, x_{9,23}^{11}$ , $x_{9,23}^{21}, x_{1۰,1۰}^{11}, x_{1۰,1۰}^{21}, x_{11,13}^{11}, x_{11,13}^{21}x_{12,13}^{11}x_{12,13}^{21}, x_{13,13}^{11}, x_{13,13}^{21}$ , $x_{14,2}^{11}, x_{15,2}^{11}, x_{15,2}^{21}, x_{16,1}^{11}, x_{16,1}^{21}x_{19,2۰}^{11}, x_{19,2۰}^{21}, x_{2۰,2۰}^{11}, x_{2۰,2۰}^{21}$, $x_{21,2۰}^{11}, x_{21,2۰}^{21}, x_{22,2}^{11}, x_{22,2}^{21}, x_{23,23}^{11}, x_{23,23}^{21}, x_{25,26}^{11}, x_{25,26}^{21}, x_{26,26}^{11}, x_{26,26}^{21}$ |
| $x_{ih}^{f۱}$: اگر مصدوم با تریاژ f درسناریو گسل شمال در نقطه آسیب‌دیده i به صورت مستقیم، به بیمارستان h برود. | $x_{3,5,2۰}^{11}, x_{3,5,2۰}^{21}, x_{4,5,2۰}^{21}, x_{5,5,2۰}^{11}, x_{5,5,2۰}^{21}, x_{7,5,2۰}^{11}, x_{7,5,2۰}^{21}, x_{14,18,2}^{21}$ , $x_{18,18,26}^{11}, x_{18,18,26}^{21}, x_{24,24,26}^{11}, x_{24,24,26}^{21}$ |

**جدول ٦.** تخصیص بیمارستان‌ها به انبارها

| متغیرهای تصمیم | تخصیص بیمارستان‌ها به انبارها |
|---|---|
| $y_{hj}^{۱}$: اگر بیمارستان h تحت سناریو گسل شمال به انبار j تخصیص یابد | $y_{2,1}^{1}, y_{1۰,3}^{1}, y_{13,1}^{1}, y_{2۰,7}^{1}, y_{23,7}^{1}, y_{26,1۰}^{1}$ |



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

## منابع


[۲] برزین پور، ف.، صفاریان، م.، تیموری، ا.، (۱۳۹۳). الگوریتم فراابتکاری برای حل مدل برنامه ریزی چند هدفه مکانیابی و تخصیص سه سطحی در لجستیک امداد. مجله تحقیق در عملیات درکاربردهای آن، ۱۱(۲)، ۵۰-۲۷.

[۴] مستانه، ز.، موصلی، ل.، جهانگیری، م.، دوست، م.، عشقی، ع.، (۱۳۹۲). توانمندی و محدودیت‌های مدیریت بحران در بیمارستان های آموزشی درمانی دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، مجله دانشگاه علوم پزشکی فسا، ۴۱(۳)، ۲۴۴-۲۵۰.

[۶] روشندل اربطانی، ط.، پورعزت، ع.، قلی‌پور، آ.، (۱۳۸۷). تدوین الگوی جامع فراگرد مدیریت بحران با رویکرد نظم و امنیت، فصلنامه دانش انتظامی، ۲(۱۰)، ۶۰-۸۴.

[۷] تاجران، ع.، کلالی، ح.، (۱۳۸۸). بررسی تاثیر عملکرد پلیس بر احساس امنیت شهروندان تهرانی، پژوهش‌های مدیریت انتظامی (مطالعات مدیریت انتظامی)، ۴(۴)، ص ۵۶۱-۵۸۶.

[۲۵] دستور العمل کشوری نیازسنجی، اصلاح و راه اندازی سیستم تریاژ در اورژانس‌های بیمارستانی. (۱۳۸۶). وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، معاونت سلامت مرکز اعتباربخشی و نظارت بر امور درمان ، اداره اورژانس بیمارستانی، ۴-۵.

[۳۱] پروژه ریز پهنه بندی تهران بزرگ. (۱۳۷۹). آژانس همکاری‌های بین المللی ژاپن (جایکا)، ۶۴-۶۸.

[۳۲] امینی، ج.، کرمی، ج.، علیمحمدی سراب، ع.، صفرراد، ط.، (۱۳۹۰) . ارزیابی مدل رادیوس در تخمین خسارات ناشی از زلزله در محیط GIS (مطالعه موردی، منطقه یک شهرداری تهران)، مطالعات و پژوهش‌های شهری، ۱۱(۳)، ۲۳-۴۰.

[۳۳] وحیده دستجردی، م.، (۱۳۹۰) . مقاوم‌سازی بیمارستان فرسوده مقرون به صرفه نیست، روزنامه شرق، ۱۳۱۱، ۱۱.

[۳۴] عکاشه، ب.، (۱۳۹۱). آیا برای زلزله هشت ریشتری آماده است، روزنامه ایران، ۵۱۶۷، ۲.

[۳۵] هادی زنوز، ب.، زراء نژاد، م.، طایی، ح.، خداپناه، م.، (۱۳۹۰). پیامدهای بیرونی حمل و نقل با خودرو شخصی درشهر تهران، فصلنامه اقتصاد مقداری (فصلنامه بررسی‌های اقتصادی)، ۲(۸)، ۵۱-۷۷.

[۳۶] محبی، ح.، حسینی، ح.، شعبان، م.، پناهی، ف.، پناهی، ی.، محرم‌زاد، ی.، (۱۳۸۶). بررسی فراوانی ضایعات و اقدامات درمانی در مصدومین زلزله بم ارجاع شده به بیمارستانهای نظامی و غیر نظامی تهران، مجله‌طب نظامی، ۱(۹)، ۳۱-۳۶.

[1] Green, G. B., Modi, S., Lunney, K., Thomas, T. L., (2003). Generic Evaluation Methods for Disaster Drills in Developing Countries, Annals of Emergency Medicine, 41(5), 689–699.

[3] Kirsch, T. D., Mitrani-reiser, J., Bissell, R., Sauer, L. M., Mahoney, M., Holmes, W. T., Cruz, N. S. and Maza, F. De., (2010). Impact on Hospital Functions Following the 2010 Chilean Earthquake, Disaster Med. Disaster Medicine and Public Health Preparedness, 4(2), 122–128.

[5] Ingram, J., (1987). Food and Disaster Relief Issues of Management policy. Disasters, 12(1), 12–18.

[8] Berman, O., Drezner, Z., Wesolowsky, G. O., (2005). The facility and transfer points location problem. International Transactions in Operational Research, 12, 387–402.

[9] Sasaki, M., Furuta, T., Suzuki, A., (2006). Exact optimal solutions of the minisum facility and transfer points location problems on a network. Transactions in Operational Research, 15, 295–306.

[10] Hosseinijou, S. A., Bashiri, M., (2011). Stochastic models for transfer point location problem. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 58(1–4), 211–225.

[11] Kalantari, H., Yousefli, A., Ghazanfari, M., (2013). Fuzzy transfer point location problem : a probabilistic unconstrained nonlinear programming approach. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 70, 1043–1051.

[12] Berman, O., Drezner, Z., Wesolowsky, G. O., (2007). The multiple location of transfer points. Journal of the Operational Research Society, 59(6), 805–811.

[13] Berman, O., Drezner, Z., Wesolowsky, G. O., (2007). The transfer point location problem. European Journal of Operational Research, 179, 978–989.

[14] Hogan, K., Revelle, C., (1986). Concepts and Applications of Backup Coverage. Management Science, 32(11), 1434–1444.

[15] Snyder L. V., Daskin, M. S., (2005). Reliability Models for Facility Location: The Expevted Failure Cost Case. Transportation Science, 39(3), 400–416.

[16] Cui, T., Ouyang, Y., Shen, M., (2010). Reliable Facility Location Design under the Risk of Disruptions. Operations Research, 58, 998–1011.




[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]

[17] Church, R. L., Murray, A. T., (2009). Business Site Selection Location Analysis and GIS, 223–225.

[18] Li, X., Ouyang, Y., (2010). A continuoum approximation approach to reliable facility location design under correlated probabilistic disruptions. Transportation Research Part B, 44(4), 535–548.

[19] Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., Bergman, L., (1971). The location of emergency service facilities. Operations Research, 19, 1363–1373.

[20] Yi, W., Kumar, A., (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations. Transportation Research, 43, 660–672.

[21] Mete, H. O., Zabinsky, Z. B., (2009). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. International Journal of Production Economics, 126(1), 76–84.

[22] Campbell, A. M., Jones, P. C., (2011). Prepositioning supplies in preparation for disasters. European Journal of Operational Research, 209(2), 156–165.

[23] Akgün, İ., Gümüşbuğa, F., Tansel, B., (2014). Risk based facility location by using fault tree analysis in disaster management. Omega.

[24] Khorsi, M., Bozorgi-Amiri, A., Ashjari, B., (2013). A Nonlinear Dynamic Logistics Model for Disaster Response under Uncertainty. Journal of mathematics and computer Science, 7, 63–72.

[26] Hwang, H. S., (2004). A stochastic set-covering location model for both ameliorating and deteriorating items. Computers & Industrial Engineering, 46(2), 313–319.

[27] Daskin, M. S., Dean, L. K., (2004). Location of Health Care Facilities. Operations Research and Health Care, 70, 43–76.

[28] Zanjirani Farahani, R., Hassani, A., Mousavi, S. M., Bakhshayeshi Baygi, M., (2014). A Hybrid Artificial Bee Colony for Disruption in a Hierarchical Maximal Covering Location Problem. Computers & Industrial Engineering, 70, 33–63.

[29] Sherali, H., Alameddine, A., (1992). A new reformulation-linearization technique for bilinear programming problems. Journal of Global Optimization, 2(4), 379–410.

[30] Pelling, M., Maskrey, A., Ruiz, P., Hall, L., (2004). Reducing disaster risk: a challenge for development. United Nations Development Programme, 52–53.

[37] ”http://map.tehran.ir/,”

[38] Lashkar Ara, A., Kazemi, A., Gahramani, S., Behshad, M., (2012). Optimal reactive power flow using multi-objective mathematical programming. Scientia Iranica, 19(6), 1829–1836.

[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-19 ]