

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

احمد محمدی<sup>۱</sup>، سعید یعقوبی<sup>۲\*</sup>، جمال نهفتی کهنه<sup>۱</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت 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، در این مقاله بیمارستان‌ها به عنوان نهاد ارایه‌دهنده خدمات درمانی، انبارهای مواد غذایی در جهت تامین نیازهای حیاتی و مراکز پلیس جهت تامین امنیت منطقه بحران زده در نظر گرفته شده‌است، در حالی که 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 افسیلون اصلاح شده برای حل آن استفاده شده است. 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.

### ۱ مقدمه

حوادث و بلایای طبیعی همواره آسیب‌های جانی و مالی فراوانی به انسان‌ها وارد نموده‌اند، به طوری که 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 به وجود 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

در نظر گرفت، بلکه می‌توان به عنوان فعالیت‌های پیشگیرانه و آمادگی در برابر بحران و بهبود وضعیت بحران در نظر گرفت [۲]. از این رو مکان‌یابی بهینه تسهیلات خدماتی، نمونه‌ای از سیاست دولت‌ها با درک منافع ناشی از صرفه‌جویی در استفاده از منابع، افزایش کارایی 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 مصروف 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]. هم‌چنین 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، در نظر گرفتن 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، در نظر گرفتن انبارهایی برای ذخیره‌سازی و هم‌چنین انبارهای پشتیبان در صورت 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. از مهم‌ترین 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 در نظر گرفتن 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 اساساً 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 در نظر گرفتن سه موضوع مهم در مدیریت بحران

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 الگوریتمی برای حل مساله باتوجه به نرخ تخفیف زمان سفر، پیشنهاد کردند. ساساکی و همکاران [۹] یک راه دقیق برای حل مساله مکان‌یابی تسهیل و نقاط انتقال در حالت حداقل مجموع ارایه کردند. حسینی جوی و بشیری [۱۰] مدلی ارایه کردند که مختصات نقاط تقاضا دارای توزیع یکنواخت دو متغیره و در حالت صفحه است و در نظر گرفتن تابع هدف به صورت کمینه کردن بیشترین مقدار، از دیگر نوآوری‌های مدل می‌باشد. کلاتری 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 اوایانگ [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 در نظر گرفتن فاصله تسهیلات تا نقاط آسیب و احتمال خرابی آنها، مکان‌های بهینه را انتخاب کردند. آکگون 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 نشده است. هدف اصلی

این مقاله ارایه مدلی جامع و یکپارچه برای مساله مدیریت بحران می باشد که شامل مکان یابی بیمارستان ها و نقاط انتقال و تخصیص مصدومان به بیمارستان ها، مکان یابی مراکز پلیس با در نظر گرفتن خرابی این مراکز و مکان یابی انبارهای مواد غذایی و دارو و لوازم و تجهیزات پزشکی با در نظر گرفتن خرابی این مراکز و انبارهای پشتیبان برای خدمات پزشکی و تخصیص بیمارستان ها برای دریافت نیازهای پزشکی از این مراکز در زمان بحران است. اهداف مدل پیشنهادی شامل کمینه سازی میزان تقاضا در زمان، برای حمل و نقل مصدومان به بیمارستان و حمل و نقل کالاهای مورد نیاز از انبار به بیمارستان و بیشینه سازی سطح سرویس مناطق آسیب دیده، با در نظر گرفتن مباحث مواد غذایی و امنیتی می باشد. با توجه به توضیحات، برای کاهش هزینه ها و خدمات بهتر، انبارهای مواد غذایی و انبارهای مربوط به دارو و لوازم و تجهیزات پزشکی در یک انبار، تحت عنوان انبار مواد غذایی و کالای پزشکی در نظر گرفته شده است. مواردی که مقاله حاضر را از دیگر مقالات متمایز می کند به صورت زیر می باشد:

۱. ارایه مدل برنامه ریزی لجستیک دو هدفه، که در خصوص مکان یابی مراکز بیمارستان، نقاط انتقال، مراکز پلیس، انبارهای مواد غذایی و کالای پزشکی و انبارهای پشتیبان به طور همزمان تصمیم گیری نماید.
۲. برای نزدیک تر 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 شده است.
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 شده است.
۴. با توجه به تاکید وزارت بهداشت مبنی بر استفاده از اصلاح و راه اندازی سیستم تریاژ در اورژانس های بیمارستانی [۲۵]، این سیستم در مدل لحاظ و در نظر گرفته شده است.

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

## ۲ مدل ریاضی دو هدفه لجستیک امداد

در این بخش، مفروضات پارامترها، متغیرهای تصمیم و مدل برنامه ریزی ریاضی مساله معرفی می گردد.

### ۲-۱ مفروضات

- ۱- در این مساله چند منطقه آسیب وجود دارد که مکان بالقوه برای احداث بیمارستان ها و نقاط انتقال می باشد.
- 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 شده است.
- ۳- در نقاط انتقال تاسیس شده، علاوه بر آمبولانس های مجهز، تیم های پرستاری جهت انجام اقدامات اولیه و در صورت لزوم همراهی مصدوم در مسیر منتهی به بیمارستان در نظر گرفته شده است.

۴- مصدومان به چند دسته تقسیم بندی می شوند که با توجه به دستور العمل کشوری مبنی بر اصلاح و راه اندازی سیستم تریاژ، حداکثر مدت زمان رسیدگی به آن ها برای نجات با یکدیگر متفاوت است [۲۵]. بنابراین لازم است مصدومان در زمان مشخص در همان تریاژ به بیمارستان ها یا به تیم های پرستاری حاضر در نقاط انتقال برسند.

۵- هر انبار، حاوی مواد غذایی و کالای پزشکی می باشد و با احتمال خرابی مواجه است. هم چنین مواد غذایی و کالای پزشکی موجود در هر انبار، به ترتیب تقاضای مناطق آسیب دیده و بیمارستان ها را برآورده می کند. 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 می شوند. ۷- با توجه به شلوغی و احتمال سرقت و هجوم به انبارها و هم چنین با توجه به اینکه حضور فیزیکی پلیس خود موجب احساس امنیت می شود [۷]، لذا نیاز است که هر مرکز پلیس در نزدیکی و در شعاع خاصی از انبارهای تاسیس شده، احداث شود و علاوه بر خدمت رسانی به انبار به نقاط آسیب دیده نیز خدمت رسانی کند. ۸- احتمال خرابی در مراکز پلیس در نظر گرفته شده است.

## ۲-۲ مجموعه ها

|                                              |                                                   |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| $I$ : مجموعه نقاط آسیب دیده                  | $m$ : 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 گسل ها                   | $s$ : شناساگر سناریو گسل ها ( $s \in S$ )         |
| $i$ : شناساگر نقاط آسیب دیده ( $i \in I$ )   | $f$ : شناساگر تریاژ مصدومان ( $f \in F$ )         |

## ۳-۲ پارامترها

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

- $t_{ih}$ : زمان بین نقطه آسیب دیده  $i$  و بیمارستان  $h$ .  $T^f$ : زمان رسیدگی به مصدومان تریاژ  $f$
- $t_{ij}$ : زمان بین نقطه آسیب دیده  $i$  و انبار  $j$ .  $\Gamma_j^s$ : احتمال سالم بودن انبار  $j$  ام در سناریو  $s$ .
- $t_{imh}$ : زمان بین نقطه آسیب دیده  $i$  و بیمارستان  $h$  با  $\text{prob}_{ij}^s$ : احتمال اینکه نقطه آسیب  $i$  تحت سناریو  $s$  توسط انبار  $j$  پوشش یابد.
- $a_{ij}$ : برابر ۱ اگر مرکز پلیس  $l$  توسط انبار  $j$  پوشش  $\text{prob}_i^s$ : احتمال اینکه نقطه آسیب  $i$  تحت سناریو  $s$  توسط پلیس  $l$  پوشش داده شود در غیر این صورت صفر.
- $a_{ij}$ : برابر ۱ اگر نقطه آسیب دیده  $i$  توسط انبار  $j$   $a_{il}$ : برابر ۱ اگر نقطه آسیب  $i$  توسط پلیس  $l$  پوشش داده شود و در غیر این صورت صفر.

## ۲-۴ متغیرهای تصمیم

- $d_h^s$ : تقاضای بیمارستان  $h$  تحت سناریو  $s$  از نوع دارو و تجهیزات و لوازم پزشکی.
- $x_{imh}^{sf}$ : برابر ۱ اگر مصدوم با تریاژ  $f$  تحت سناریو  $s$  در نقطه آسیب دیده  $i$  از نقطه انتقال  $m$  به بیمارستان  $h$  برود و در غیر این صورت صفر.
- $x_{ih}^{sf}$ : برابر ۱ اگر مصدوم با تریاژ  $f$  تحت سناریو  $s$  در نقطه آسیب دیده  $i$  به صورت مستقیم به بیمارستان  $h$  برود و در غیر این صورت صفر.
- $E_m$ : برابر ۱ اگر نقطه انتقال در نقطه بالقوه  $m$  احداث شود و در غیر این صورت صفر.
- $Z_h$ : برابر ۱ اگر بیمارستان در نقطه بالقوه  $h$  احداث شود و در غیر این صورت صفر.
- $\sigma_l$ : برابر ۱ اگر مرکز پلیس در نقطه بالقوه  $l$  احداث شود و در غیر این صورت صفر.
- $\psi_{il}^s$ : برابر ۱ اگر نقطه آسیب دیده  $i$  تحت سناریو  $s$  توسط مرکز پلیس  $l$  پوشش داده شود و در غیر این صورت صفر.
- $y_{hb}^s$ : برابر ۱ اگر بیمارستان  $h$  تحت سناریو  $s$  به انبار پشتیبان  $b$  تخصیص یابد و در غیر این صورت صفر.
- $y_{ij}^s$ : برابر ۱ اگر نقطه آسیب دیده  $i$  تحت سناریو  $s$  به انبار  $j$  تخصیص یابد و در غیر این صورت صفر.
- $\delta_i^s$ : برابر ۱ اگر مصدومان تحت سناریو  $s$  در نقطه آسیب دیده  $i$  توسط انبار مواد غذایی پوشش داده شود و در غیر این صورت صفر.
- $\zeta_b$ : برابر ۱ اگر انبار پشتیبان  $b$  احداث شود و در غیر این صورت صفر.
- $u_j$ : برابر ۱ اگر انبار در نقطه بالقوه  $j$  احداث شود و در غیر این صورت صفر.

## ۲-۵ مدل نمودن مراکز توزیع با در نظر گرفتن احتمال خرابی

مدل ریاضی مکان‌یابی پوشش تسهیلات را در نظر بگیرید:

$$\text{Min} \sum_{j \in J} u_j \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} u_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad u_j \in \{0, 1\} \quad (2)$$

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

$$\text{prob}_{ij}^s = a_{ij} \Gamma_j^s \quad \forall i \in I, j \in J, s \in S \quad (3)$$

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

$$1 - \prod_{j \in \theta(u)} (1 - \text{prob}_{ij}^s) \geq \text{prob}_i^s \quad \forall i \in I, s \in S \quad (4)$$

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

$$-\sum_{j \in J} (\ln(1 - \text{prob}_{ij}^s)) u_j \geq -\ln(1 - \text{prob}_i^s) \quad \forall i \in I, s \in S \quad (5)$$

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

$$\text{Min} \sum_{j \in J} u_j \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} R_{ij}^s u_j \geq o_i^s \quad \forall i \in I, s \in S \quad u_j \in \{0, 1\}, j \in J \quad (7)$$

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

$$\text{Max} \sum_s \sum_i v_i^s \delta_i^s o_i^s \quad (8)$$

$$\sum_j R_{ij}^s u_j \geq o_i^s \delta_i^s \quad \forall i \in I, s \in S \quad (9)$$

$$\sum_j u_j = \phi \quad (10)$$

$$u_j \in \{0, 1\}, j \in J \quad \delta_i^s \in \{0, 1\}, i \in I, s \in S \quad (11)$$

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

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

## ۲-۶ توابع و محدودیت‌ها

$$\text{Min } (\varphi) \left( \sum_s \sum_i \sum_m \sum_f \sum_h w_i^{sf} (t_{imh} x_{imh}^{sf} + t_{ih} x_{ih}^{sf}) \right) + \quad (12)$$

$$(1-\varphi) \left( \sum_h \sum_j \sum_s d_h^s y_{hj}^s t_{hj} (\Gamma_j^s) + \sum_h \sum_b \sum_j \sum_s d_h^s y_{hb}^s t_{hb} (1-\Gamma_j^s) \right) \\ \text{Max } (\Phi) \left( \sum_s \sum_i \sum_l a_{il} \psi_{il}^s p^s q^{s(l-1)} \mu_i \right) + (1-\Phi) \left( \sum_s \sum_i v_i^s \delta_i^s o_i^s \right) \quad (13)$$

s.t.

$$\sum_l \sigma_l = G, \quad (14)$$

$$\sum_i a_{il} \psi_{il}^s = \sum_i a_{il} \sigma_l, \quad \forall l \in L, s \in S, \quad (15)$$

$$a_{lj} \sigma_l \leq u_j, \quad \forall j \in J, l \in L, \quad (16)$$

$$\sum_j R_{ij}^s u_j \geq o_i^s \delta_i^s, \quad \forall i \in I, s \in S, \quad (17)$$

$$\sum_j u_j = \phi, \quad (18)$$

$$\sum_j y_{hj}^s = Z_h, \quad \forall h \in I, s \in S, \quad (19)$$

$$\sum_b y_{hb}^s = 1, \quad \forall h \in I, s \in S, \quad (20)$$

$$y_{hb}^s \leq \zeta_b, \quad \forall h \in I, b \in B, s \in S, \quad (21)$$

$$\sum_b \zeta_b = A, \quad (22)$$

$$y_{hj}^s \leq u_j, \quad \forall h \in I, j \in J, s \in S, \quad (23)$$

$$\sum_m \sum_h x_{imh}^{sf} + \sum_h x_{ih}^{sf} = 1, \quad \forall i \in I, s \in S, f \in F, \quad (24)$$

$$x_{imh}^{sf} \leq E_m \quad \forall i, m, h \in I, s \in S, f \in F, \quad (25)$$

$$x_{imh}^{sf} \leq Z_h \quad \forall i, m, h \in I, s \in S, f \in F, \quad (26)$$

$$x_{ih}^{sf} \leq Z_h \quad \forall i, h \in I, s \in S, f \in F, \quad (27)$$

$$\sum_m E_m = N, \quad (28)$$

$$\sum_h Z_h = M, \quad (29)$$

$$\sum_f \sum_i \sum_m (x_{imh}^{sf} + x_{ih}^{sf}) w_i^{sf} = d_h^s \quad \forall h \in I, s \in S, \quad (30)$$

$$\sum_m \sum_h t_{im} x_{imh}^{sf} + \sum_h t_{ih} x_{ih}^{sf} \leq T^f \quad \forall i \in I, s \in S, f \in F, \quad (31)$$

$$d_h^s \geq 0, x_{imh}^{sf}, x_{ih}^{sf}, E_m, z_h, \sigma_l, \psi_{il}^s, u_j, \zeta_b, y_{ij}^s, \delta_i^s, y_{hj}^s, y_{hb}^s \in \{0, 1\} \quad (32)$$

تابع هدف (۱۲)، مربوط به حداقل کردن تقاضا در زمان می باشد به این صورت که قسمت اول، مربوط به تصمیم گیری در مورد تخصیص نقاط آسیب دیده به بیمارستان ها، از طریق نقاط انتقال یا به صورت مستقیم می باشد، قسمت دوم مربوط به تخصیص بیمارستان ها به انبارها با توجه به احتمال خرابی انبارها و قسمت سوم مربوط به آن بخش از تقاضاهای بیمارستان از انبارها می باشد که به علت در نظر گرفتن خرابی و تحت هر سناریو، باید از انبارهای پشتیبان تامین شود. هم چنین 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 می باشد که به صورت توزیع هندسی لحاظ شده است [۲۸] و عبارت دوم مربوط به تقاضای نقاط آسیب دیده برای مواد غذایی و احتمالات خرابی مربوط به انبارهای مواد غذایی تحت سناریوهای مختلف می باشد، به این صورت که در عبارت اول تقاضا در جهت امنیت و در عبارت دوم تقاضا در جهت مواد غذایی حداکثر می شود. هم چنین ضرایبی برای متعادل کردن عبارت های اول و دوم توابع هدف نیز در نظر گرفته شده که با توجه به نظر تصمیم گیرنده می تواند به هر یک از عبارت ها وزن دهی خاصی اعمال نماید. محدودیت (۱۴) نشان می دهد که چه تعداد مراکز پلیس باید تاسیس شود. محدودیت (۱۵) نشان می دهد که به یک نقطه ناامن وقتی می توان از مراکز پلیس خدمت رسانی کرد که اولاً مرکز پلیس تاسیس شده باشد و هم چنین آن نقطه در ناحیه تحت پوشش آن مرکز باشد. محدودیت (۱۶)، نشان می دهد که اگر انبار احداث شود مرکز پلیس می تواند در مسافتی مشخص از آن احداث شود. محدودیت (۱۷)، نشان می دهد که با توجه به خرابی انبارها یک نقطه آسیب دیده با چه حداقل احتمالی باید پوشش داده شود. هم چنین تعداد انبارهای مواد غذایی که باید تاسیس شود در محدودیت (۱۸) نشان داده شده است. محدودیت (۱۹)، نشان می دهد که اگر بیمارستان تاسیس شود، آنگاه بین بیمارستان و انبار می تواند ارتباط برقرار شود. از طرفی محدودیت (۲۰) نشان می دهد که هر بیمارستان فقط از یک انبار پشتیبان، خدمت دریافت می کند. محدودیت (۲۱)، نشان می دهد که اگر انبار پشتیبان تاسیس شود آنگاه می توان بین انبار پشتیبان و بیمارستان ارتباط برقرار کرد. محدودیت (۲۲)، نشان می دهد که چه تعداد انبار پشتیبان باید تاسیس شود. محدودیت (۲۳) نیز نشان می دهد که یک بیمارستان در صورتی به یک انبار اختصاص می یابد که آن انبار تاسیس شود. محدودیت (۲۴) نشان می دهد که هر مصدوم با تریاژ مخصوص، از نقطه آسیب داده، یا به طور مستقیم و یا توسط نقطه انتقال به بیمارستان منتقل می شود. محدودیت (۲۵) و (۲۶) به ترتیب نشان می دهند، در صورتی یک مصدوم با واسطه نقطه انتقال به بیمارستان منتقل می شود که آن نقطه انتقال و بیمارستان احداث شده باشند. محدودیت (۲۷) نشان می دهد که یک مصدوم در صورتی می تواند به طور مستقیم به یک بیمارستان برود که آن بیمارستان احداث شده باشد. هم چنین 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 می دهد. محدودیت (۳۱) نشان می دهد که لازم است مصدومان با تریاژ

مخصوص به نزدیک ترین 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 می دهد.

## ۲-۲ خطی سازی

عبارت های  $d_h^s y_{hj}^s$  و  $d_h^s y_{hb}^s$  در تابع هدف اول مساله به صورت غیر خطی می باشد. حال با توجه به مطالعه شرادین و آلامدین [۲۹] معادل خطی آن را می توان 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 اضافه کردن محدودیت های زیر می توان معادل خطی آن را نوشت:

$$\eta_{hj}^s \leq d_h^s \quad \forall h \in I, j \in J, s \in S \quad (33)$$

$$\eta_{hj}^s \leq M y_{hj}^s \quad \forall h \in I, j \in J, s \in S \quad (34)$$

$$\eta_{hj}^s \geq M (y_{hj}^s - 1) + d_h^s \quad \forall h \in I, j \in J, s \in S \quad (35)$$

$$\eta_{hj}^s \geq 0 \quad \forall h \in I, j \in J, s \in S \quad (36)$$

$$\eta_{hb}^s \leq d_h^s \quad \forall h \in I, b \in B, s \in S \quad (37)$$

$$\eta_{hb}^s \leq M y_{hb}^s \quad \forall h \in I, b \in B, s \in S \quad (38)$$

$$\eta_{hb}^s \geq M (y_{hb}^s - 1) + d_h^s \quad \forall h \in I, b \in B, s \in S \quad (39)$$

$$\eta_{hb}^s \geq 0 \quad \forall h \in I, b \in B, s \in S \quad (40)$$

## ۳ مطالعه موردی

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

از طرفی منطقه یک تهران به دلیل واقع شدن بر روی این گسل ها، دارای آسیب پذیری بسیار بالایی می باشد.

که با توجه به دلایل زیر به عنوان مطالعه موردی این مقاله انتخاب شده است:

طبق مطالعات آژانس همکاری های بین المللی ژاپن (جایکا) در رابطه با زلزله تهران، شدت زلزله ناشی از

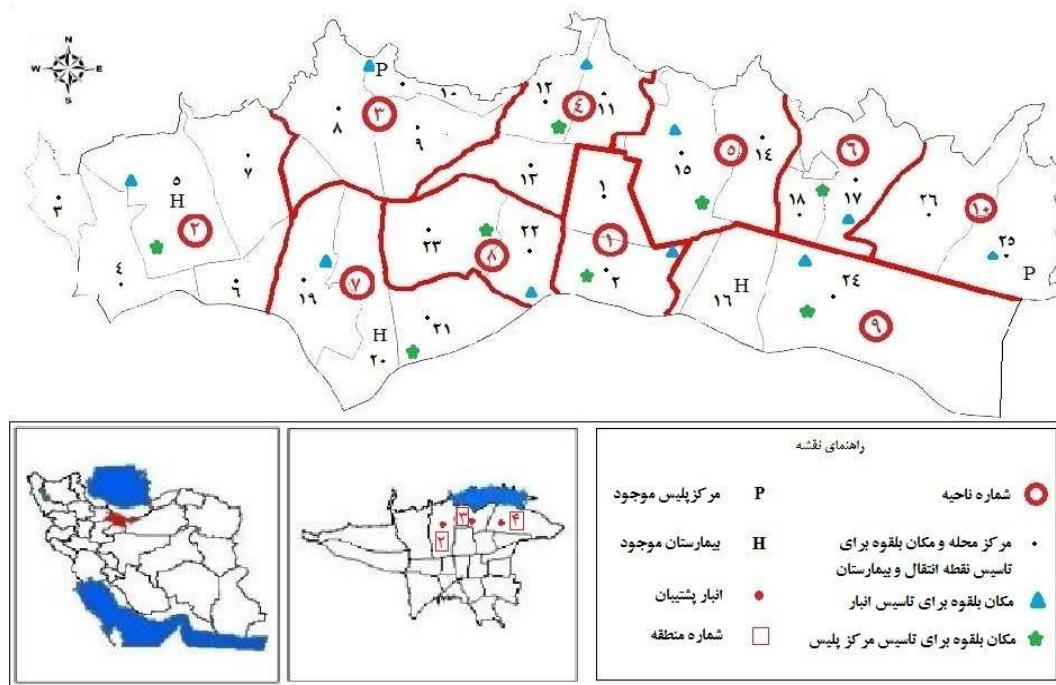
فعال شدن گسل مشا و گسل شمال تهران تقریباً به میزان ۷/۲ و فعال شدن گسل ری ۶/۷ ریشتر خواهد بود و با توجه به این شدت ها، ۵۰ درصد ساختمان های منطقه یک تهران تخریب می شوند [۳۱]. دلیل دیگر وجود بافت های فاقد استانداردهای لازم و قدیمی در دل این منطقه از شهر تهران است، که پایداری اندک در برابر زلزله از مشخصه های اصلی این گونه بافت های شهری می باشد [۳۲]. مهم ترین دلیل نیز جمعیت بالای این منطقه است

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 شده است: 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 ارائه 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 تهران ۷/۲ و برای گسل ری ۶/۷ ریشتر و ساعت رخ دادن این حادثه نیز یک بامداد در نظر گرفته شده است. 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] استفاده شده 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 وارد کردن تعدادی از پارامترهای ورودی نیز به گزارش مسئولین ذیربط در روزنامه‌ها و سایت‌های خبری استناد شده است.

در این مطالعه موردی مفروضات به طور کامل به شرح زیر می‌باشد (شایان ذکر است که به واژه‌هایی هم‌چون ناحیه و محله تفاوت 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 شده است 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 در نظر گرفته شده‌اند. ۳- در این منطقه ۱۰ ناحیه وجود دارد که مراکز این نواحی به عنوان نقطه کاندید برای احداث مراکز پلیس در نظر گرفته شده است. 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 کلانتری ۱۲۲ (مرکز پلیس فعلی واقع در گلابدره) و کلانتری ۱۶۴ (مرکز پلیس فعلی واقع در سوهانک) جهت مقاوم‌سازی و تعداد ۸

مکان بالقوه دیگر جهت احداث کلانتری در نظر گرفته شده است. ۴- در این منطقه ۱۰ ناحیه وجود دارد که در هر یک از این نواحی یک نقطه کاندید با در نظر گرفتن احتمال خرابی و نزدیکی به راه‌های ارتباطی اصلی، به عنوان مکان بالقوه برای تأسیس انبارهای مواد غذایی و کالای پزشکی در نظر گرفته شده است. ۵- با توجه به مطالعات جایکا، آسیب ناشی از فعالیت شناور گسل‌ها در مناطق ۲ و ۳ و ۴ کم‌تر می‌باشد، سه نقطه کاندید جهت احداث انبار پشتیبان در نزدیکی راه‌های ارتباطی اصلی در این نواحی نظر گرفته شده است. ۶- هر مرکز پلیس و هر انبار مواد غذایی و کالای پزشکی تأسیس 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 به وجود می‌آید [۳۴] به همین دلیل سرعت وسیله نقلیه با توجه به ترافیک ۲۵ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده است [۳۵]. ۸- در نقاط انتقال تأسیس 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 شده است. ۹- در این مقاله مصدومان زلزله به دو دسته‌ی مصدومان اورژانسی و مصدومان غیر اورژانسی تقسیم‌بندی شده‌اند که 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 شده است [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 شده است 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 شده است. ۱۲- با توجه به شکل (۲) و مکان‌های کاندید انبارها در شکل (۱)، احتمال خرابی انبارها در سناریوهای مختلف محاسبه شده است. از طرفی میزان پوشش نقاط آسیب‌دیده ۰/۸ و هم‌چنین احتمال خرابی در مراکز پلیس احداث شده با توجه به مناطق تأسیس شده به طور میانگین ۰/۳ برای سناریو گسل مشا و شمال و ۰/۲ برای سناریو گسل ری در نظر گرفته شده است. ۱۳- با توجه به اینکه در منطقه یک تهران ۴ کلانتری و ۶ بیمارستان موجود است، لذا تصمیم بر تأسیس یا مقاوم‌سازی ۴ مرکز پلیس و ۶ بیمارستان شده است. ۱۴- با توجه به وسعت منطقه تعداد صفر، ۱، ۲، ۳، ۶، ۹ مکان نقطه انتقال، تعداد ۴ و ۶ انبار مواد غذایی و کالای پزشکی، تعداد ۱ انبار پشتیبان برای تأسیس در نظر گرفته و تحلیل حساسیت انجام شده است. ۱۵- تعداد مصدومان در سناریوی گسل شمال تهران، گسل ری و گسل مشا با توجه به مطالعه آمینی و همکاران مطابق با جدول (۲) و (۳)، (۴) است [۳۲]. ۱۶- مسافت بین نقاط آسیب‌دیده، مسافت بین مکان‌های کاندید برای تأسیس انبارهای مواد غذایی و کالای پزشکی تا مکان‌های کاندید برای تأسیس بیمارستان‌ها و هم‌چنین مسافت بین مکان‌های کاندید برای تأسیس انبارهای پشتیبان تا مکان‌های کاندید برای تأسیس بیمارستان‌ها با توجه به کوتاه‌ترین مسافت در مسیرهای اصلی (بزرگراه‌ها و شریان‌های اصلی) به دست آمده سپس با استفاده از سرعت‌ها، زمان‌های مربوطه

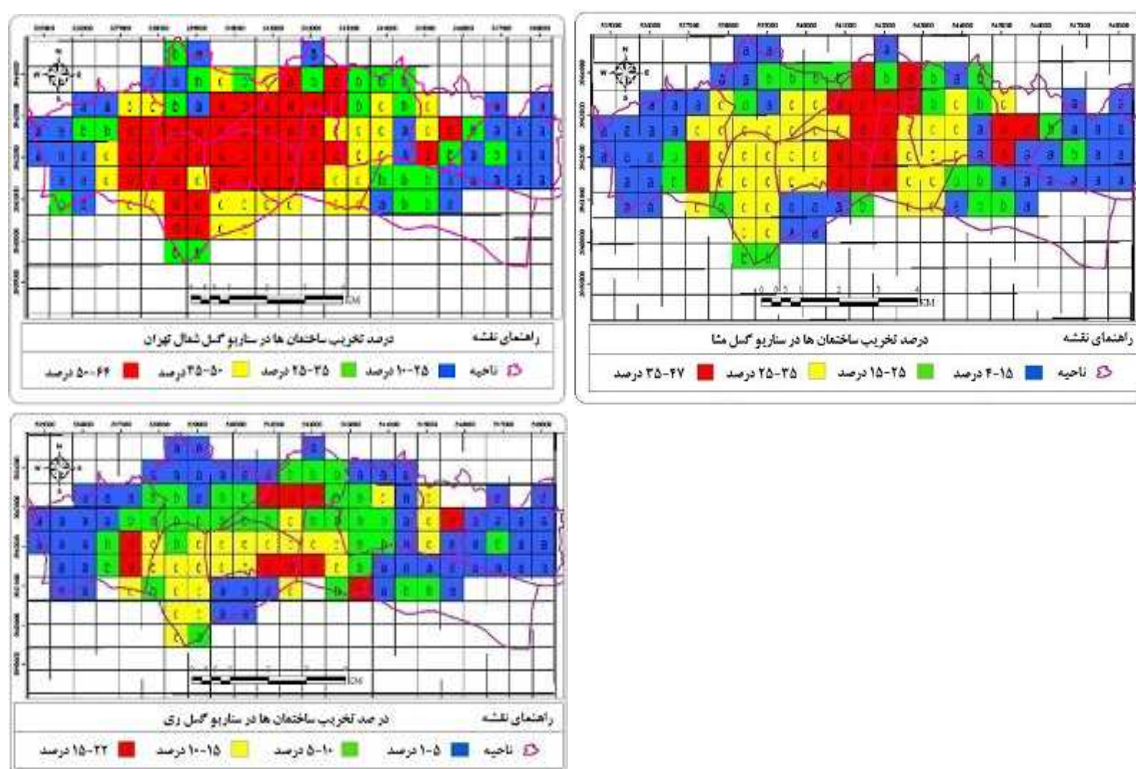
محاسبه شده است. نتایج محاسباتی به علت کمبود فضا حذف شده است. شایان ذکر است که برای محاسبه این مسافت‌ها از سامانه مسیر یاب تهران [۳۷] استفاده شده است.



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

جدول ۱. شماره محلات منطقه ۱ تهران

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



شکل ۲. درصد تخریب ساختمان ها در گسل های مختلف [۳۲]

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

| محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | 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]

| محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | 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 ۴. تعداد مصدومان مربوط به گسل مشا [۳۲]

| محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | مصدوم | محل | 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  |     |       |

#### ۴ روش حل

روش محدودیت اِپسیلون<sup>۸</sup> اصلاح شده یکی از رویکردهای شناخته شده برای مواجهه با مسایل چند هدفه می باشد که به انتقال تمامی توابع هدف به جز یکی از آنها در هر مرحله، به حل این نوع مسایل می پردازد. یکی از مزیت های عمده این روش، این است که می توان تعداد جواب های تولید شده و بازه ها را با توجه به معیارهای تصمیم گیرنده تحت کنترل در آورد. در این مساله با توجه مطالعه موردی و اهمیت نظر تصمیم گیرنده از این روش استفاده شده است [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 گام های روش محدودیت اِپسیلون 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 می شود. ۲- مساله با توجه به تابع هدف  $F_2$  حل می شود و بیشترین و کمترین مقدار برای این تابع هدف به دست می آید. ۳- تابع هدف  $F_2$  به صورت محدودیت (۴۱) در مدل نوشته می شود و مدل مساله با تابع هدف اصلی حل می شود. بازه بین دو مقدار تابع هدف، به تعداد  $\beta$  قسمت تقسیم بندی شده و یک جدول مقادیر با توجه به فرمول (۴۲) برای  $\varepsilon_\alpha$  به دست می آید [۳۸]. ۴- هر بار مساله، با تابع هدف اصلی با هر یک از مقادیر  $\varepsilon_\alpha$  حل می شود و جواب های پارتویی گزارش داده می شود و تصمیم گیرنده می تواند با توجه به جواب ها و معیارهای خود هر کدام از این بازه ها را به عنوان جواب بهینه انتخاب کند.

$$F_2 \geq \varepsilon_\alpha \quad (41)$$

$$\varepsilon_\alpha = \min(F_2) + \left( \frac{\max(F_2) - \min(F_2)}{\beta} \right) \alpha \quad \forall \alpha = 1, \dots, \beta \quad (42)$$

مساله مورد نظر با استفاده از حل کننده CPLEX 24.1 در نرم افزار 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 شده است.

#### ۴-۱ روش آزادسازی لاگرانژ

یکی از ایده های مناسب محاسباتی در دهه ۱۹۷۰ مشاهده مسایل بسیار سختی است که می توان با مجموعه کوچکی از محدودیت های مرتبط، آن ها را به صورت مسایل آسانی دید. تاریخچه روش لاگرانژ به سال ۱۹۷۰ برمی گردد 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 دوره گرد استفاده کردند. امروزه فهرست کاربردهای آزادسازی لاگرانژ باعث رشد بسیاری از مسایل بهینه سازی ترکیبی شده است که برای این مسایل، آزادسازی لاگرانژ بهترین الگوریتم موجود برای حل بوده و قادر به حل در اندازه های واقعی می باشد.

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.

$$\begin{aligned} \text{Min } & \varphi \sum_f \sum_s \sum_i \sum_m \sum_h w_i^{sf} (t_{imh} x_{imh}^{sf} + t_{ih} x_{ih}^{sf}) + (1-\varphi) \sum_s \sum_h \sum_j d_h^s y_{hj}^s t_{hj} (\Gamma_j^s) \\ & + \sum_s \sum_h \sum_b \sum_j d_h^s y_{hb}^s t_{hb} (1-\Gamma_j^s) + \lambda_4 \left( \sum_f \sum_h \sum_s \sum_i \sum_m ((x_{ih}^{sf} + x_{imh}^{sf}) w_i^{sf}) - d_h^s \right) \end{aligned} \quad (43)$$

#### ۴-۲ 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 شده است. برای تابع هدف دوم ۵ بازه ( $\beta = 5$ ) در نظر گرفته شده که به دلیل محدودیت فضا فقط بازه سوم و چهارم ( $\alpha = 3, 4$ ) در جدول (۴) نمایش داده شده است. مساله با تعداد صفر، ۱، ۲، ۳، ۶، ۹ نقطه انتقال، و تعداد ۴ و ۶ انبار و سایر مفروضات، حل و نتایج در قالب جدول (۴) ارایه شده است.

اگر تعداد نقاط انتقال تعداد صفر، ۱، ۲ 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 جزئی در مکان بیمارستان‌ها و انبارها می‌شود و در پی آن تغییری جزئی در مقدار تابع هدف فرعی حاصل می‌گردد، زیرا این مقدار مربوط به ماکزیمم کردن پوشش توسط مراکز پلیس و انبارهای مواد غذایی می‌باشد. اما همانطور که 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 تاسیس شده، بیمارستان شهدای تجریش در تمامی حالات به علت مکان‌یابی مناسب، و تعداد بالای مصدومان آن محله، جهت مقاوم‌سازی انتخاب شده است، 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 مقاوم‌سازی انتخاب شده است. 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

مصدومان به بیمارستان‌ها و تخصیص بیمارستان‌ها به انبارها برای حالت ۳ نقطه انتقال و ۴ انبار و بازه ۸۰٪ می‌باشند، در جداول ۶ و ۵ نمایش داده شده است. متغیرهای تصمیم مربوط به تخصیص مصدومان به بیمارستان‌ها و تخصیص 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 ۶ و ۵ می‌باشند. به عنوان مثال در جدول ۵، در هنگام زلزله در سناریو گسل شمال تهران به مصدومان با تریاژ قرمز (اندیس  $S=2$ ) آسیب دیده در محله ۱ توصیه می‌شود که به بیمارستان واقع در محله ۲ بروند ( $x_{1,2}^1$ ) یا مصدومان با تریاژ عادی (اندیس  $S=1$ ) در محله ۳ توصیه می‌شود به نقطه انتقال ۵ و از آنجا به بیمارستان ۲۰ منتقل شوند ( $x_{3,5,20}^1$ ).

## 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 مواد غذایی 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 بیشینه‌سازی سطح سرویس مناطق آسیب دیده، با در نظر گرفتن مباحث مواد غذایی و امنیتی می‌باشد. با توجه به توضیحات، برای کاهش هزینه‌ها و خدمات بهتر، انبارهای مواد غذایی و انبارهای مربوط به دارو و لوازم و تجهیزات پزشکی در یک انبار، تحت عنوان انبار مواد غذایی و کالای پزشکی در نظر گرفته شده است. 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 در نظر 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 ۴ و ۶ انبار و سایر مفروضات حل و نتایج نشان داد که اگر تعداد نقاط انتقال صفر و ۱ و ۲ 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 می‌شود که با توجه به اهمیت بالای زمان در ساعات اولیه بحران زلزله، نسبتاً قابل ملاحظه است. به عنوان تحقیقات آتی می‌توان هزینه را وارد مدل کرد و همچنین جهت کاهش هزینه از مسیریابی بین نقاط آسیب دیده و مفهوم پنجره‌های زمانی استفاده نمود.

#### جدول ۴. نتایج محاسباتی

| تعداد نقاط انتقال | تعداد انبارها | %   | مقدار تابع هدف فرعی | تفاضل در زمان (دقیقه)) | مقدار تابع هدف اصلی       | محللات انتخابی نقطه انتقال | نواحی انتخابی انبارها | مناطق انتخابی انبار پشتیبان | محللات انتخابی بیمارستان‌ها | مقاوم‌سازی بیمارستان‌ها | محللات انتخابی جهت | نواحی انتخابی مراکز پلیس | مقاوم‌سازی مراکز پلیس                                                                                                                                | نواحی انتخابی جهت |
|-------------------|---------------|-----|---------------------|------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| ۲۰۱۰۰             | ۴             | ۸۰٪ | ۲۵۵۵۹۸              | ۳۱۸۱۸۷۹                | ۲۴۰۱۸۰۵                   | ۱۰۰۷۰۳۰۱                   | ۳                     | ۲۶۰۲۳۰۲۰۰۱۳۰۱۰۰۲            | ۲۰                          | ۷۰۶۰۳۰۱                 | ۳                  | ۳                        | 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٪ | ۱۹۱۶۹۷              | ۳۱۶۳۴۵۷                | ۲۴۰۱۸۰۵                   | ۱۰۰۸۰۴۰۱                   | ۳                     | ۲۶۰۲۳۰۲۰۰۱۳۰۱۰۰۲            | ۲۰                          | ۹۰۸۰۷۰۳                 | ۳                  | ۳                        | 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٪ | ۲۷۰۸۷۰              | ۳۰۲۱۴۵۶                | ۲۴۰۱۹۰۱۸۰۱۴۰۱۳۰۵          | ۱۰۰۸۰۳۰۱                   | ۳                     | ۲۶۰۲۳۰۲۰۰۱۱۰۱۰۰۲            | ۲۰                          | ۱۰۰۷۰۳۰۱                | ۳                  | ۳                        | ۹                                                                                                                                                    | ۶                 |
|                   | ۶             | ۶۰٪ | ۲۰۳۱۵۲              | ۲۹۹۱۵۴۸                | ۲۴۰۱۹۰۱۸۰۱۴۰۱۳۰۵          | ۱۰۰۷۰۴۰۱                   | ۳                     | ۲۶۰۲۳۰۲۰۰۱۱۰۱۰۰۲            | ۲۰                          | ۹۰۷۰۵۰۳                 | ۳                  | ۳                        |                                                                                                                                                      |                   |
|                   | ۶             | ۸۰٪ | ۴۲۰۲۷۹              | ۲۹۵۲۴۵۷                | ۲۴۰۱۹۰۱۸۰۱۴۰۱۳۰۵          | ۱۰۰۸۰۷۰۴۰۳۰۱               | ۴                     | ۲۶۰۲۳۰۲۰۰۱۱۰۱۰۰۲            | ۲۰                          | ۹۰۷۰۴۰۱                 | ۴                  | ۳                        |                                                                                                                                                      |                   |
|                   | ۶             | ۶۰٪ | ۳۱۵۲۸۰              | ۲۹۳۷۵۶۹                | ۱۸۰۱۴۰۱۳۰۵۰۲۴۰۱۹          | ۱۰۰۷۰۵۰۴۰۳۰۱               | ۴                     | ۲۶۰۲۳۰۲۰۰۱۱۰۱۰۰۲            | ۲۰                          | ۹۰۷۰۴۰۱                 | ۴                  | ۳                        |                                                                                                                                                      |                   |
| ۹                 | ۴             | ۸۰٪ | ۲۸۳۶۰۷              | ۲۸۶۲۲۳۰                | ۲۴۰۲۱۰۱۹۰۱۸۰۱۶۰۱۴۰۱۳۰۱۰۰۵ | ۱۰۰۸۰۷۰۱                   | ۳                     | ۲۶۰۲۳۰۲۰۰۱۱۰۹۰۲             | ۲۰                          | ۹۰۸۰۳۰۱                 | ۳                  | ۳                        | ۶                                                                                                                                                    | ۶                 |
|                   | ۶             | ۶۰٪ | ۲۱۲۷۰۳              | ۲۸۴۶۲۴۰                | ۲۴۰۲۱۰۱۹۰۱۸۰۱۶۰۱۴۰۱۳۰۱۰۰۵ | ۱۰۰۷۰۳۰۱                   | ۳                     | ۲۶۰۲۳۰۲۰۰۱۱۰۹۰۲             | ۲۰                          | ۹۰۸۰۴۰۳                 | ۳                  | ۳                        |                                                                                                                                                      |                   |
|                   | ۶             | ۸۰٪ | ۴۴۳۳۲۳              | ۲۸۲۴۷۵۶                | ۲۴۰۲۱۰۱۹۰۱۸۰۱۶۰۱۴۰۱۳۰۱۰۰۵ | ۱۰۰۷۰۶۰۴۰۳۰۱               | ۳                     | ۲۶۰۲۳۰۲۰۰۱۱۰۹۰۲             | ۲۰                          | ۸۰۶۰۳۰۱                 | ۳                  | ۳                        |                                                                                                                                                      |                   |
|                   | ۶             | ۶۰٪ | ۳۳۲۴۹۲              | ۲۸۱۶۳۲۰                | ۲۴۰۲۱۰۱۹۰۱۸۰۱۶۰۱۴۰۱۳۰۱۰۰۵ | ۱۰۰۷۰۶۰۴۰۳۰۱               | ۳                     | ۲۶۰۲۳۰۲۰۰۱۱۰۹۰۲             | ۲۰                          | ۸۰۶۰۳۰۱                 | ۳                  | ۳                        |                                                                                                                                                      |                   |

#### جدول ۵. تخصیص نقاط آسیب دیده به واسطه نقاط انتقال یا به صورت مستقیم به بیمارستان ها

| تغییرهای تصمیم                                                                                                     | تخصیص نقاط آسیب دیده به بیمارستان ها                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $X_{imh}^{f1}$ : اگر مصدوم با تریاژ f در سناریو گسل شمال در نقطه آسیب دیده i از نقطه انتقال m به بیمارستان h برود. | $X_{1,2}^{11}, X_{1,2}^{21}, X_{2,2}^{11}, X_{2,2}^{21}, X_{4,2}^{11}, X_{4,2}^{21}, X_{6,2}^{11}, X_{8,23}^{11}, X_{8,10}^{21}, X_{9,23}^{11}, X_{9,23}^{21}, X_{1,10}^{11}, X_{1,10}^{21}, X_{11,13}^{11}, X_{11,13}^{21}, X_{12,13}^{11}, X_{12,13}^{21}, X_{13,13}^{11}, X_{13,13}^{21}, X_{14,2}^{11}, X_{14,2}^{21}, X_{15,2}^{11}, X_{15,2}^{21}, X_{16,1}^{11}, X_{16,1}^{21}, X_{19,2}^{11}, X_{19,2}^{21}, X_{2,2}^{11}, X_{2,2}^{21}, X_{2,2}^{11}, X_{2,2}^{21}, X_{21,2}^{11}, X_{21,2}^{21}, X_{22,2}^{11}, X_{22,2}^{21}, X_{23,23}^{11}, X_{23,23}^{21}, X_{25,26}^{11}, X_{25,26}^{21}, X_{26,26}^{11}, X_{26,26}^{21}, X_{3,5,2}^{11}, X_{3,5,2}^{21}, X_{4,5,2}^{11}, X_{4,5,2}^{21}, X_{5,5,2}^{11}, X_{5,5,2}^{21}, X_{7,5,2}^{11}, X_{7,5,2}^{21}, X_{14,18,2}^{11}, X_{14,18,2}^{21}, X_{18,18,26}^{11}, X_{18,18,26}^{21}, X_{24,24,26}^{11}, X_{24,24,26}^{21}$ |
| $X_{ih}^{f1}$ : اگر مصدوم با تریاژ f در سناریو گسل شمال در نقطه آسیب دیده i به صورت مستقیم، به بیمارستان h برود.   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

#### جدول ۶. تخصیص بیمارستان ها به انبارها

| تغییرهای تصمیم                                                         | تخصیص بیمارستان ها به انبارها                                         |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| $Y_{hj}^1$ : اگر بیمارستان h تحت سناریو گسل شمال به انبار j تخصیص یابد | $Y_{2,1}^1, Y_{1,3}^1, Y_{13,1}^1, Y_{2,7}^1, Y_{23,7}^1, Y_{26,1}^1$ |

## 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 در کاربردهای آن، ۱۱(۲)، ۵۰-۲۷.
- [۴] مستانه، ز.، موصلی، ل.، جهانگیری، م.، دوست، م.، عشقی، ع. (۱۳۹۲). توانمندی و محدودیت‌های مدیریت بحران در بیمارستان‌های 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 ۵۸۶-۵۶۱.
- [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). مقاومت‌سازی 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 در شهر 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، مجله طب 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.

- [17] Church, R. L., Murray, A. T., (2009). Business Site Selection Location Analysis and GIS, 223–225.
- [18] Li, X., Ouyang, Y., (2010). A continuuum 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.