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

ارایه‌ی مدل ریاضی دو هدفه‌ی لجستیک امداد با نقاط انتقال و تسهیلات پشتیبان (مطالعه‌ی موردی: بحران زلزله در منطقه‌ی 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 جزء نیازهای حیاتی معرفی شده، که جنبه‌ی 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 ارایه‌دهنده‌ی 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. مساله‌ی مذکور به صورت غیرخطی و دو هدفه مدل شده که ابتدا از خطی‌سازی و سپس از روش محدودیت اپسیلون اصلاح شده برای حل آن استفاده شده‌است. هم‌چنین، مطالعه‌ی موردی در خصوص بحران زلزله در منطقه‌ی یک تهران با استفاده از روش آزادسازی لاگرانژ بررسی شده است که نتایج نشان می‌دهد در صورت مکان‌یابی بهینه‌ی 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، منطقه‌ی یک تهران.

۱مقدمه
حوادث و بلایای طبیعی همواره آسیب‌های جانی و مالی فراوانی به انسان‌ها وارد کرده است، 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

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

Archive of SID
www.SID.ir

بحران درنظرگرفت؛ بلکه می‌توان به‌عنوان فعالیت‌های پیشگیرانه و آمادگی در برابر بحران و بهبود وضعیت بحران در نظر گرفت [۲]. از این‌رو مکان‌یابی بهینه‌ی 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 ارایه‌دهنده‌ی 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]. 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، درنظرگرفتن نقاط انتقال برای جابه‌جایی مصدومان است. این نقاط انتقال برای بهبود زمان جابه‌جایی مصدومان به بیمارستان‌ها، طوری احداث می‌شود 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 حادثه‌ی 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 تغذیه‌ی جامعه، بعد از وقوع حادثه، به نوع بحران، زمان وقوع حادثه، وسعت حادثه، میزان مواد غذایی ذخیره شده و اقدامات پیشگیرانه‌ی مدیران جامعه بستگی دارد [۵]؛ لذا درنظرگرفتن انبارهای پوششی برای ذخیره‌ی آب و غذا پیش از بحران ضروری است.

یکی دیگر از مشکلات اجتماعی بعد از بحران، بحث امنیت و برقراری نظم در منطقه‌ی 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 عهده‌ی 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 مربوط 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؛

Archive of SID

www.SID.ir

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 زمینه‌ی مسایل مکان‌یابی نقاط انتقال، برمن و همکاران [۸] این مساله را در یک شبکه‌ی 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 زنجیره‌ی تامین، از تسهیلات پشتیبان استفاده می‌شود. در زمینه‌ی 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 هزینه‌ی ثابت و با ظرفیت محدود بود. در مقاله‌ی 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 تصمیم گیری‌ها 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 مساله‌ی پوشش مجموعه مدل نمودند. یی و کومار [۲۰] به ارایه‌ی الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان جهت حل مساله‌ی لجستیک در اقدامات امدادی به هنگام بحران پرداختند. مت و زابینسکی [۲۱] یک رویکرد بهینه‌سازی تصادفی برای مساله‌ی 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 فاصله‌ی 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 مساله‌ی 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،

Archive of SID

www.SID.ir

انجام نشده‌است. هدف اصلی این مقاله، ارایه‌ی مدلی جامع و یکپارچه برای مساله‌ی 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 مواد غذایی و کالای پزشکی درنظرگرفته شده است. مواردی که مقاله‌ی حاضر را از دیگر مقالات متمایز می کند به صورت زیر می‌باشد:

۱. ارایه‌ی 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 نقلیه‌ی 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، مطالعه‌ی موردی درخصوص بحران زلزله در منطقه‌ی 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 نقطه‌ی کاندید برای احداث مراکز پلیس، چند نقطه‌ی کاندید برای احداث انبارهای مواد غذایی و کالای پزشکی (دارو و لوازم و تجهیزات پزشکی) و چند نقطه‌ی کاندید برای احداث انبارهای پشتیبان کالای پزشکی در نظر گرفته شده‌است. ۳- در نقاط انتقال تاسیس‌شده، علاوه بر آمبولانس‌های مجهز، تیم‌های

Archive of SID

www.SID.ir

پرستاری برای انجام اقدامات اولیه و در صورت لزوم همراهی مصدوم در مسیر منتهی به بیمارستان درنظرگرفته‌شده‌است. 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 منطقه‌ی آسیب احداث می‌شود. 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 بالقوه‌ی انتقال ($m \in I$)
L :	مجموعه نقاط بالقوه‌ی مراکز پلیس	h :	شناساگر نقاط بالقوه‌ی بیمارستان ($h \in I$)
J :	مجموعه نقاط بالقوه‌ی تاسیس انبار	l :	شناساگر مرکز پلیس ($l \in L$)
B :	مجموعه نقاط بالقوه‌ی تاسیس انبار پشتیبان	j :	شناساگر انبار ($j \in J$)
F :	مجموعه تریاژ مصدومان	b :	شناساگر انبار پشتیبان ($b \in B$)
S :	مجموعه سناریوی گسل‌ها	s :	شناساگر سناریوی 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 شود.	μ_i :	پوشش نقطه‌ی آسیب‌دیده‌ی i جهت برقراری امنیت.
M :	تعداد بیمارستان‌هایی که باید احداث شود.		
ϕ :	تعداد انبارهایی که باید احداث شود.	v_i^s :	تقاضای نقطه‌ی آسیب‌دیده‌ی i برای کالای امدادی تحت سناریوی s.
G :	تعداد مراکز پلیسی که باید احداث شود.		
A :	تعداد انبار پشتیبانی که باید احداث شود.	w_i^{sf} :	تعداد مصدومان با تریاژ f تحت سناریوی s در نقطه‌ی آسیب‌دیده i.
φ :	ضریب وزن‌دهی برای تابع هدف اول.	Φ :	ضریب وزن‌دهی برای تابع هدف دوم.

Archive of SID

www.SID.ir

t_{hb} : زمان بین بیمارستان h و انبار پشتیبان b.

t_{ih} : زمان بین نقطه‌ی آسیب‌دیده‌ی i و بیمارستان h.

t_{ij} : زمان بین نقطه‌ی آسیب‌دیده‌ی i و انبار j.

t_{imh} : زمان بین نقطه‌ی آسیب‌دیده‌ی 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 شود و در غیر این‌صورت صفر .

q^s : احتمال‌خرابی مرکز پلیس در سناریوی s.

T^f : زمان رسیدگی به مصدومان تریاژ f

Γ_j^s : احتمال سالم‌بودن انبار jام درسناریوی s.

$prob_{ij}^S$: احتمال اینکه نقطه‌ی آسیب i تحت سناریوی s توسط انبار j پوشش یابد.

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

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

۲-٤ متغیرهای تصمیم

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

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

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

E_m : برابر ۱ اگر نقطه‌ی انتقال در نقطه‌ی بالقوه‌ی m احداث شود و در غیر این‌صورت صفر.

Z_h : برابر ۱ اگر بیمارستان در نقطه‌ی بالقوه‌ی h احداث شود و در غیر این‌صورت صفر.

σ_l : برابر ۱ اگر مرکز پلیس در نقطه‌ی بالقوه‌ی l احداث شود و در غیر این‌صورت صفر.

u_j : برابر ۱ اگر انباردر نقطه‌ی بالقوه‌ی j احداث شود و در غیر این‌صورت صفر.

ζ_b : برابر ۱ اگر انبار پشتیبان b احداث شود و در غیر این‌صورت صفر.

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

y_{ij}^s : برابر ۱ اگر نقطه‌ی آسیب‌دیده‌ی i تحت سناریوی s به انبار j تخصیص یابد و در غیر این‌صورت صفر.

Archive of SID

www.SID.ir

ψ_{il}^{s} : برابر ۱ اگر نقطه‌ی آسیب‌دیده‌ی i تحت سناریوی s توسط مرکز پلیس l پوشش داده شود و در غیر این‌صورت صفر

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

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

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 مقاله‌ی 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 مقاله‌ی داسکین ودین [۲۷] می‌توان مدل را به صورت زیر نوشت:

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

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

$$\sum_j u_j = \phi \qquad (۱۰)$$

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

Archive of SID

www.SID.ir

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 نقطه‌ی آسیب‌دیده با چه حداقل احتمالی تحت هر سناریو باید پوشش داده شود. محدودیت(۱۰)و(۱۱) نشان دهنده‌ی تعداد انبارهای تاسیس‌شده و متغیرهای تصمیم مدل است.

۲-۶ توابع و محدودیت‌ها

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

$$(۱-\varphi)\left(\sum_h\sum_j\sum_s d_h^s y_{hj}^s t_{hj}\left(\Gamma_j^s\right)+\sum_h\sum_b\sum_j\sum_s d_h^s y_{hb}^s t_{hb}\left(۱-\Gamma_j^s\right)\right)$$

$$Max\ (\Phi)\left(\sum_s\sum_i\sum_l a_{il}\psi_{il}^s p^s q^{s(l-۱)}\mu_i\right)+(۱-\Phi)\left(\sum_s\sum_i v_i^s\delta_i^s o_i^s\right) \tag{۱۳}$$

s.t.

$$\sum_l \sigma_l = G, \tag{۱۴}$$

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

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

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

$$\sum_j u_j = \phi, \tag{۱۸}$$

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

$$\sum_b y_{hb}^s = ۱, \quad \forall h\in I, s\in S, \tag{۲۰}$$

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

$$\sum_b \zeta_b = \mathrm{A}, \tag{۲۲}$$

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

$$\sum_m\sum_h x_{imh}^{sf} + \sum_h x_{ih}^{sf} = ۱, \quad \forall i\in I,\ s\in S, f\in F, \tag{۲۴}$$

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

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

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

$$\sum_m E_m = N, \tag{۲۸}$$

$$\sum_h Z_h = M, \tag{۲۹}$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$\sum_{f}\sum_{i}\sum_{m}\left(x_{imh}^{sf}+x_{ih}^{sf}\right)w_{i}^{sf}=d_{h}^{s}\quad \forall h\in I,s\in S, \tag{۳۰}$$

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

$$d_{h}^{s}\ge 0,\ x_{imh}^{sf},x_{ih}^{sf},\ E_{m},\ z_{h},\ \sigma_{l},\ \psi_{il}^{s},\ u_{j},\ \zeta_{b},\ y_{ij}^{s},\ \delta_{i}^{s},\ y_{hj}^{s},y_{hb}^{s}\in\{0,1\} \tag{۳۲}$$

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 نقطه‌ی ناامن وقتی می‌توان از مراکز پلیس خدمت‌رسانی کرد که اولا مرکز پلیس تاسیس شده باشد و هم‌چنین آن نقطه در ناحیه‌ی 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 نقطه‌ی 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 نقطه‌ی آسیب داده، یا به طور مستقیم و یا توسط نقطه‌ی انتقال به بیمارستان منتقل می‌شود. محدودیت (۲۵) و (۲۶) به ترتیب نشان می‌دهد، در صورتی یک مصدوم با واسطه‌ی نقطه‌ی انتقال به بیمارستان منتقل می‌شود که آن نقطه‌ی انتقال و بیمارستان احداث شده باشد. 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 نشان‌دهنده‌ی تعداد نقطه‌ی انتقال

www.SID.ir

و بیمارستانی است که باید احداث شود. 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 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 مطالعه‌ی شرادین و آلامدین [۲۹] معادل خطی آن را می‌توان به صورت زیر نوشت: با جای‌گزینی عبارت $d_h^s y_{hj}^s$ با متغیر η_{hj}^s و عبارت $d_h^s y_{hb}^s$ با متغیر η_{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 مطالعه‌ی موردی

بر اساس گزارش سازمان ملل، در سال ۲۰۰۵ میلادی، کشور ایران در بین کشورهای جهان، رتبه‌ی نخست را در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵.۵ ریشتر و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه‌ی 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 زلزله‌ی 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) اهمیت زیادی دارند [۳۱].

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

طبق مطالعات آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) در رابطه با زلزله‌ی تهران، شدت زلزله‌ی 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 منطقه‌ی یک تهران تخریب می‌شود [۳۱]. دلیل دیگر وجود

Archive of SID

www.SID.ir

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 که در معرض آسیب می‌باشد. با توجه به دلایل، اهمیت بالای برنامه‌ریزی و مدیریت بحران زلزله در این منطقه‌ی تهران آشکار می‌شود. برای اعتباردهی مطالعه‌ی موردی و هم‌چنین برنامه‌ریزی دقیق در منطقه‌ی 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 برروی 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 منطقه‌ی 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]. منطقه‌ی 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 منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. 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 به‌روز 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.

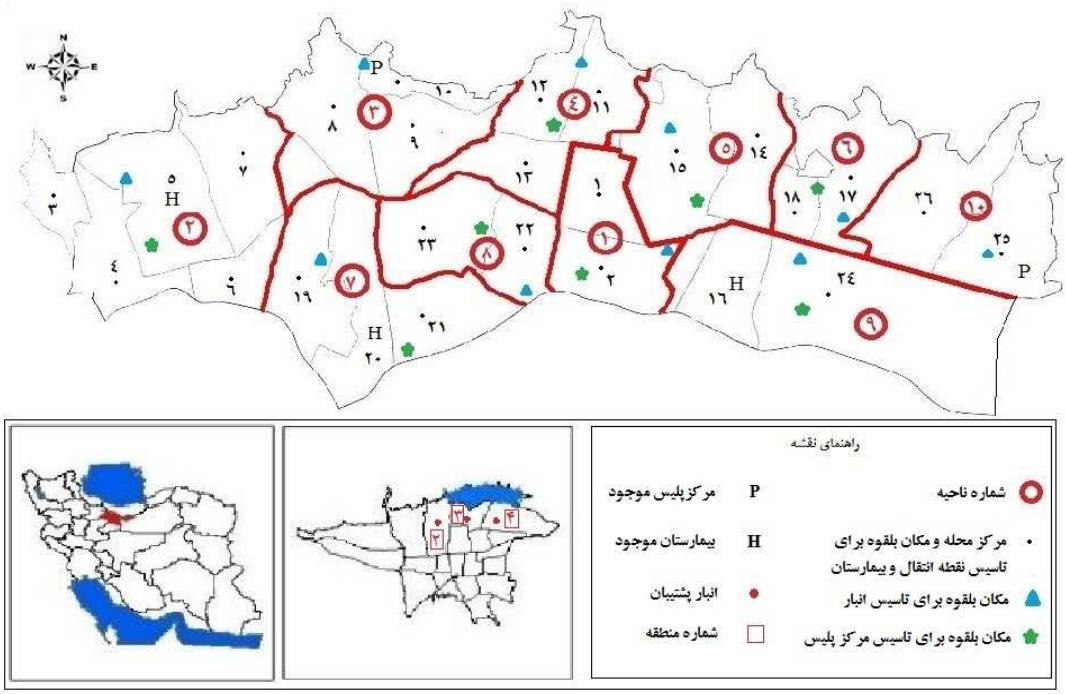
در این مطالعه‌ی موردی مفروضات به طورکامل به شرح زیر می‌باشد (شایان ذکر است که به واژه‌هایی هم‌چون ناحیه و محله وتفاوت این دو واژه در شکل(۱) دقت شود): ۱- در این منطقه ۲۶ محله وجود دارد که مرکز هر محله به عنوان نقطه‌ی آسیب در نظر گرفته شده‌است هم‌چنین این نقاط نیز، مکان بالقوه برای احداث بیمارستان‌ها و نقاط انتقال می‌باشد. ۲- در این منطقه تعداد ۶ بیمارستان با امکانات مناسب وجود دارد که با توجه به مطالعه‌ی 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 محله‌ی ولنجک، بیمارستان دکتر چمران واقع در محله‌ی اراج، بیمارستان تجریش واقع در محله‌ی تجریش، کاندید جهت مقاوم‌سازی و تعداد ۲۳ محله‌ی دیگر به عنوان کاندید برای احداث بیمارستان جدید درنظرگرفته شده است.۳- در این منطقه ۱۰ ناحیه وجود دارد که مراکز این نواحی به عنوان نقطه‌ی کاندید برای احداث مراکز پلیس در نظر گرفته شده‌است. شایان ذکر است تعداد ۴ کلانتری در منطقه‌ی یک تهران موجود

www.SID.ir

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 مکان بالقوه‌ی دیگر جهت احداث کلانتری در نظر گرفته شده‌است. ۴- در این منطقه ۱۰ ناحیه وجود دارد که در هر یک از این نواحی یک نقطه‌ی 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 نقطه‌ی کاندید جهت احداث انبارپشتیبان در نزدیکی راه‌های ارتباطی اصلی در این نواحی درنظر گرفته شده‌است. ۶- هر مرکز پلیس و هر انبارمواد غذایی و کالای پزشکی تاسیس شده در هر محله می‌تواند محله‌ی 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 منطقه‌ی آسیب‌دیده به‌وجود می‌آید [۳۴] به همین دلیل سرعت وسیله‌ی 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 آسیب‌دیدگی تنفسی و آسیب دیدگی سر و گردن از نظر اولویت رسیدگی جزء 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 نقلیه‌ی موجود به طور مستقیم، و یا توسط وسایل نقلیه‌ی 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 می‌شود. 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 سناریوی گسل مشا و شمال و۰/۲ برای سناریوی گسل ری در نظرگرفته شده‌است. ۱۳- با توجه به اینکه در منطقه‌ی 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 نقطه‌ی 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 مطالعه‌ی 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 و کالای پزشکی تا مکان‌های کاندید برای تاسیس

www.SID.ir

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

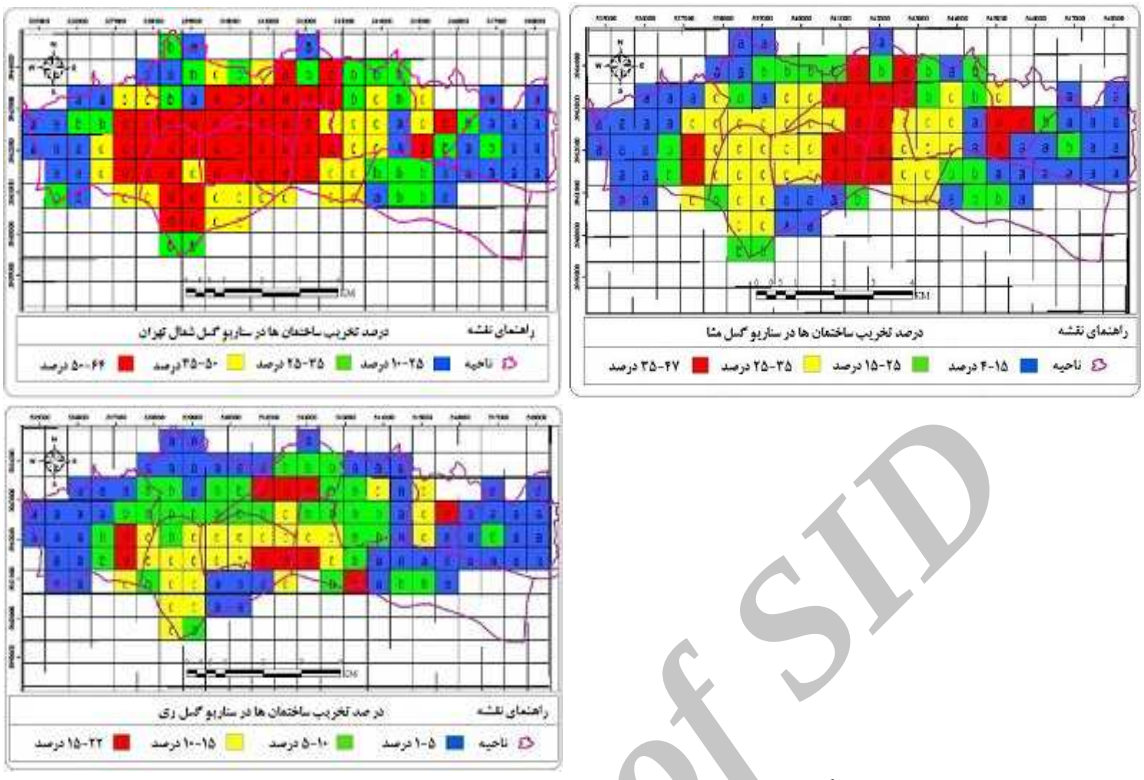


شکل ۱. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه و مکان‌های بالقوه برای تاسیس مراکز

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								

www.SID.ir



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				

Archive of SID
www.SID.ir

٤ روش حل

روش محدودیت اپسیلون اصلاح شده یکی از رویکردهای شناخته شده برای مواجهه 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 عمده‌ی 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 به مطالعه‌ی 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 شود، 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 β قسمت تقسیم‌بندی شده، یک جدول مقادیر با توجه به فرمول(۴۲) برای ε_α به‌دست می‌آید [۳۸]. ۴- هر بار مساله، با تابع هدف اصلی با هر یک از مقادیر ε_α 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.

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

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

مساله‌ی 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.

٤-١ روش آزادسازی لاگرانژ

یکی از ایده‌های مناسب محاسباتی در دهه‌ی ۱۹۷۰ مشاهده‌ی مسایل بسیار سختی است که می‌توان با مجموعه‌ی کوچکی از محدودیت‌های مرتبط، آن‌ها را به صورت مسایل آسانی دید. تاریخچه‌ی روش لاگرانژ به سال ۱۹۷۰ برمی‌گردد که در آن سال هلد و کارپ از یک مساله لاگرانژ بر پایه‌ی مساله‌ی حداقل درخت پوشا برای طراحی یک الگوریتم بسیار موفق برای مساله‌ی فروشنده‌ی 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.

Archive of SID

www.SID.ir

حال برای حل مساله، با آزمایش محدودیت‌ها، محدودیت (۳۰) به علت ارایه‌ی 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 رابطه‌ی (۴۳) با سایر محدودیت‌های مساله حل می‌شود.

$$Min \quad \varphi\sum_{f}\sum_{s}\sum_{i}\sum_{m}\sum_{h} w_i^{sf}\left(t_{imh}x_{imh}^{sf}+t_{ih}x_{ih}^{sf}\right)+(1-\varphi)\sum_{s}\sum_{h}\sum_{j} d_h^s y_{hj}^s t_{hj}\left(\Gamma_j^s\right) \quad (۴۳)$$
$$+\sum_{s}\sum_{h}\sum_{b}\sum_{j} d_h^s y_{hb}^s t_{hb}\left(1-\Gamma_j^s\right)+\lambda_1\left(\sum_{f}\sum_{h}\sum_{s}\sum_{i}\sum_{m}\left(\left(x_{ih}^{sf}+x_{imh}^{sf}\right)w_i^{sf}\right)-d_h^s\right)$$

٤-۲ 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 شده‌است. برای تابع هدف دوم ۵ بازه‌ی (β = ۵) درنظر گرفته شده که به دلیل محدودیت فضا فقط بازه‌ی سوم و چهارم (α=۳،۴)در جدول (۴) نمایش داده‌شده‌است. مساله با تعداد صفر، ۹،۶،۳،۲،۱ نقطه‌ی انتقال، و تعداد ۴و۶ انبار و سایر مفروضات، حل و نتایج در قالب جدول (۴) ارایه شده‌است.

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 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 منطقه‌ی یک، اکثر بیمارستان‌ها در این نواحی تاسیس شده است تا در هنگام زلزله بتواند به موقع به مصدومان خدمت رسانی کند. 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 منطقه‌ی یک احداث شده تا بتواند به مصدومان به موقع خدمت‌رسانی کند. انبارها با توجه به پوشش نقاط آسیب‌دیده و هم‌چنین تقاضای بیمارستان‌ها، در نقاط بالقوه‌ای که کم‌ترین درصد خرابی را دارند احداث شده است. 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

Archive of SID

www.SID.ir

به تخصیص مصدومان به بیمارستان‌هاوتخصیص بیمارستان‌ها به انبارها برای حالت ۳ نقطه‌ی انتقال و ۴ انبار و بازه‌ی ۸۰٪ می‌باشد، در جداول ۵ و۶ نمایش داده شده‌است. متغیرهای تصمیم مربوط به تخصیص مصدومان به بیمارستان‌ها وتخصیص بیمارستان‌ها به انبارها در سایر گسل‌ها برای حالت ۳ نقطه‌ی انتقال و ۴ انبار و بازه‌ی ۸۰٪ با توجه به تعداد کم نقاط انتقال و انبارها و ثابت بودن مراکز پلیس و بیمارستان‌ها، با تغییرات اندکی مانند جداول ۵و۶ می‌باشد. به عنوان مثال در جدول ۵، در هنگام زلزله در سناریوی گسل شمال تهران به مصدومان با تریاژ قرمز(اندیس۲ =S) آسیب‌دیده در محله‌ی ۱ توصیه می‌شود که به بیمارستان واقع در محله‌ی ۲ برونـد($x^{21}_{1,2}$) یا مصدومان با تریاژعادی (اندیس۱ =S) در محله‌ی ۳ توصیه می‌شود به نقطه‌ی 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 مساله‌ی 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. منطقه‌ی یک تهران به علت جمعیت و آسیب‌پذیری بالا، جهت انجام مطالعه‌ی موردی انتخاب و با استفاده از مدل به تحلیل نتایج حاصل از آن پرداخته شد. در این مطالعه‌ی موردی، برای تابع هدف فرعی ۵ بازه درنظر گرفته که به دلیل محدودیت فضا فقط بازه‌ی 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 مقایسه‌ی 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 اولیه‌ی 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.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤. نتایج محاسباتی

تعداد نقاط انتقال	تعداد انبارها	a/b	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 مراکز پلیس	نواحی انتخابی جهت مقاوم‌سازی
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	۱۰،۲،۲۶،۲۳،۲۰،۱۱	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	۲۴،۱۹،۱۸،۱۴،۱۳،۵	۷،۵،۴،۳،۱،۱۰	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.	$x_{1,2}^{11}, x_{1,2}^{21}, x_{2,2}^{11}, x_{2,2}^{21}, x_{4,20}^{11}, x_{6,20}^{11}, x_{6,20}^{21}, x_{8,23}^{11}, x_{8,10}^{21}, x_{9,23}^{11}$, $x_{9,23}^{21}, x_{10,10}^{11}, x_{10,10}^{21}, x_{11,13}^{11}, x_{11,13}^{21} x_{12,13}^{11} x_{12,13}^{21}, x_{13,13}^{11}, x_{13,13}^{21}$, $x_{14,2}^{11}, x_{15,2}^{11}, x_{15,2}^{21}, x_{16,1}^{11}, x_{16,1}^{21} x_{19,20}^{11}, x_{19,20}^{21}, x_{20,20}^{11}, x_{20,20}^{21}$, $x_{21,20}^{11}, x_{21,20}^{21}, x_{22,2}^{11}, x_{22,2}^{21}, x_{23,23}^{11}, x_{23,23}^{21}, x_{25,26}^{11}, x_{25,26}^{21}, x_{26,26}^{11}, x_{26,26}^{21}$
$x_{ih}^{f۱}$: اگر مصدوم با تریاژ f درسناریو گسل شمال در نقطه آسیب‌دیده i به صورت مستقیم، به بیمارستان h برود.	$x_{3,5,20}^{11}, x_{3,5,20}^{21}, x_{4,5,20}^{21}, x_{5,5,20}^{11}, x_{5,5,20}^{21}, x_{7,5,20}^{11}, x_{7,5,20}^{21}, x_{14,18,2}^{21}$, $x_{18,18,26}^{11}, x_{18,18,26}^{21}, x_{24,24,26}^{11}, x_{24,24,26}^{21}$

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	$y_{2,1}^{1}, y_{10,3}^{1}, y_{13,1}^{1}, y_{20,7}^{1}, y_{23,7}^{1}, y_{26,10}^{1}$

Archive of SID

www.SID.ir

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.

Archive of SID

www.SID.ir

[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.

Archive of SID

www.SID.ir