چشم‌انداز مدیریت صنعتی
سال یازدهم، شماره ۴۲، تابستان ۱۴۰۰
شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
ص‌ص ۱۲۴ – ۹۹

طراحی شبکه سلسله‌مراتبی مراکز درمان موقت شهری در شرایط بحران با رویکرد تلفیقی مدل ریاضی - شبیه‌سازی

سوگل موسوی*، سید مجتبی سجادی، اکبر عالم تبریز***،**
سید اسماعیل نجفی ***

چکیده

اثرات ویرانگر بلایای طبیعی، اهمیت لجستیک و برنامه‌ریزی منابع انسانی را در مراحل قبل و بعد از بحران نشان می‌دهد. هنگام بروز بحران به منظور امدادرسانی سریع، شبکه سلسله مراتبی سلامت که شامل درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها است، فعال می‌شود. در این پژوهش با استفاده از مدل ریاضی مختلط عدد صحیح و با درنظرگرفتن موقعیت فعلی بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها، مکان‌های بهینه‌ای با عنوان «مراکز درمان موقت» تعیین و نحوه تخصیص بهینه مصدومان از ناحیه‌های شهری به این مراکز پیشنهاد می‌شود. انتخاب مکان‌های بهینه، تخصیص بهینه سلسله‌مراتبی مصدومان، تعیین ظرفیت بهینه مراکز پذیرش، تعیین نقاط پشتیبان برای مراکز درمان موقت در قالب یک مدل تلفیقی ریاضی و شبیه‌سازی به‌صورت هم‌زمان از نوآوری‌های این پژوهش است. به کمک مدل شبیه‌سازی لحظه بروز بحران و فرایند امداد و نجات شبیه‌سازی‌شده و با رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی، ظرفیت بهینه مراکز موقت و اصلاح ظرفیت درمانگاه‌ها و بیمارستان‌های فعلی انجام شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد مدل سلسله مراتبی مکان‌یابی–تخصیص، بهینه‌سازی ظرفیت سبب کاهش ازدحام مصدومان و کاهش هزینه و زمان درمان می‌شود.

کلیدواژه‌ها: مدیریت بحران؛ مراکز درمان موقت؛ بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی؛ مدل ریاضی سلسله‌مراتبی؛ طراحی شبکه درمان.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۰۴، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۸.

* دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی.
** دانشیار، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول).
Email: msajadi@ut.ac.ir
*** استاد، دانشگاه شهید بهشتی.
**** استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی.

۱. مقدمه

بحران‌های ناشی از بلایای طبیعی یکی از موانع اصلی توسعه پایدار است. عدم‌آمادگی و مقابله مناسب کشورها در این رابطه تلفات و خسارات سنگینی را به ملت‌ها و دارایی‌های آن‌ها وارد می‌کند که جبران‌ناپذیر است. بر اساس آمار و اطلاعات در مبانی نظری موجود، سالانه حدود ۷۰،۰۰۰ نفر در سراسر جهان بر اثر بلایای طبیعی کشته می‌شوند و بیش از ۲۰۰ میلیون نفر از نظر مالی و جسمانی تحت تأثیر این‌گونه بلایا قرار می‌گیرند [۱۳]. در این میان کشور ایران نیز بر روی گسل زلزله واقع شده است و هر ساله زمین‌لرزه‌هایی با شدت‌های مختلف بعضی از شهرها را تهدید می‌کند. برای نمونه می‌توان به زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۷/۴ ریشتر در شهر کرمانشاه اشاره کرد. [۲۲]. چنین وقایع غم‌انگیز و مشابه آن‌ها در سال‌های اخیر، وضعیت بهتری را برای درک اهمیت تدارکات انسانی، مدیریت حوادث و افزایش مطالعات در این زمینه فراهم کرده است. به‌منظور برنامه‌ریزی برای مقابله با بحران، نیاز به طراحی مناسبی از شبکه سلامت وجود خواهد داشت. در زمینه طراحی شبکه تسهیلات سلامت، مفاهیمی مانند تعیین مکان بهینه تسهیلات، تخصیص آن تسهیلات به مناطق جمعیتی، ظرفیت هر تسهیل، برنامه‌ریزی منابع انسانی موردنیاز در هر یک از تسهیلات از جمله مهم‌ترین مفاهیمی هستند که استفاده از آن‌ها افزایش قابلیت اطمینان شبکه، کاهش هزینه‌های سیستم، افزایش رضایت‌مندی بیماران و نیروهای انسانی موجود، جلوگیری از احداث تسهیلات در مکان‌های نامناسب، استفاده کامل از تمام ظرفیت‌ها و اهدافی دیگر را به همراه خواهد داشت و کمک بسزایی به کاهش اثر بحران می‌کند [۱]. مدیریت بحران، بر چهار رکن اساسی پیشگیری، آمادگی، مقابله و بازسازی استوار است. تدارکات حوادث شامل فعالیت‌های مختلفی از قبیل تهیه، حمل‌ونقل، مکان‌یابی، توزیع، پیگیری و ذخیره‌سازی کالاهای موردنیاز است. مطالعات مکان‌یابی تسهیلات مربوط به بلایای طبیعی را می‌توان به سه دسته مراکز درمان موقت[۱]، انبار تجهیزات امدادی و مسائل مکان استقرار پناهگاه تقسیم کرد. مراکز فوریت‌های پزشکی از جمله بیمارستان‌ها و مراکز درمانی موقت، نقش مهمی در خدمت به کاهش تلفات دارند؛ ازاین‌رو با تعیین موقعیت بهینه مراکز درمان موقت در نقاط مختلف قبل از بحران، می‌توان در هنگام وقوع بلایا عکس‌العمل‌های مناسب‌تری برای روبه‌رویی با آن‌ها نشان داد [۱۴]. مکان‌یابی تسهیلات اضطراری، به‌ویژه در بخش موقت در زمینه‌هایی مانند مدیریت بلایا، توزیع امدادی و تدارکات اضطراری و خدمات اورژانسی وسایل نقلیه مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۵]؛ ازاین‌رو مکان‌یابی مراکز ارائه خدمات درمانی و بیمارستانی و تخصیص آن‌ها به متقاضیان، یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی برنامه‌ریزان شهری است. در هنگام بحران، هجوم مصدومان به بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها به‌طور غیرمنتظره‌ای افزایش می‌یابد و به علت

۱. Temporary medical centers (TMC)

فشار جمعیت ناگهانی، عملکرد خدمت‌رسانی به افراد، برنامه‌ریزی نشده و نامنظم است؛ بنابراین در این پژوهش سعی بر آن است تا شبکه‌ای طراحی شود که در آن مراکز درمان موقت به سیستم سلامت سه سطحی بیمارستان، درمانگاه و نواحی شهری به‌گونه‌ای افزوده شود که مصدومان در ابتدا به این مراکز ارجاع داده شوند و سپس با توجه به نوع جراحات و شدت صدمات آن‌ها به درمانگاه و نهایتاً به بیمارستان منتقل شوند. بدین ترتیب ساختار سلسله‌مراتبی چهارسطحی (نواحی شهری، مراکزدرمان موقت، درمانگاه‌ها، بیمارستان‌ها) برای پاسخ‌دهی به مصدومان تشکیل می‌شود. از طرفی در هنگام بحران، امدادگرانی که از نقاط مختلف شهرها و کشورهای دیگر برای کمک‌رسانی به مصدومان اعزام می‌شوند، با این طرح می‌دانند که باید در کدام مراکز درمان موقت درمان مستقر شوند. برای احداث این مراکز ، نقاط بالقوه مانند میدان‌ها، ورزشگاه‌ها و مدارس قابلیت تبدیل‌شدن به این مکان‌ها را با کمترین هزینه خواهند داشت. در مدل ریاضی پیشنهادی، بهترین مکان برای تأسیس مراکز درمان از میان نقاط بالقوه مشخص‌شده و نحوه تخصیص مصدومان از نواحی شهری به این مراکز بررسی شده است. هدف آن است که ضمن کوتاه‌شدن زمان و مسافت طی‌شده برای انتقال مصدومان، هزینه تأسیس این مراکز کمینه شود؛ همچنین در صورت خرابی یک مرکز درمان موقت، نقاط بهینه پشتیبان برای آن مرکز تعیین می‌شود.

بخش‌های مختلف مقاله به شرح زیر است: ابتدا مبانی نظری به‌طور جامع بررسی می‌شود. در بخش ۳، روش‌شناسی توضیح داده خواهد شد. در بخش ۴ تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش، صورت می‌گیرد. سرانجام در بخش ۵، نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی ارائه می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مسائل موجود در زمینه لجستیک انسان‌دوستانه در مبانی نظری به سه دسته اصلی مکان‌یابی تسهیلات اضطراری، مدیریت موجودی و مسائل طراحی شبکه تقسیم می‌شود [۱۷]. در مطالعات مکان‌یابی اغلب تسهیلات اضطراری، مسائل مکان‌یابی انبارهای پناهگاه‌ها و تجهیزات امدادی موردبررسی قرار می‌گیرد و تأثیر آن‌ها در عواملی مانند هزینه، خدمات و زمان پاسخ بررسی می‌شود. در تعداد نسبتاً کمی از مطالعات گذشته، مسائل موقعیت مراکز درمان موقت در نظر گرفته شده است. در مسائل مربوط به توزیع، مواد وحمل‌ونقل تلفات لحاظ شده است. از نظر سطح تصمیم‌گیری، مطالعات مربوط به موقعیت مکان‌یابی استراتژیک، مطالعات مدیریت موجودی تاکتیکی و طراحی شبکه شامل تصمیمات سطح عملیاتی است [۱۳].

در این پژوهش، موضوع مکان‌یابی مراکز درمان موقت و طراحی تخصیص سلسله‌مراتبی در شبکه تسهیلات سلامت و تعیین ظرفیت بهینه مراکز درمانی در زمان پس از بحران بررسی می

شود. مسائل مکان‌یابی تسهیلات و طراحی شبکه به دو صورت تصادفی یا قطعی مدل می‌شوند. در مسائل قطعی به‌منظور تصمیم‌گیری در مورد تعداد و مکان تسهیلات از مدل‌های P-Median، P-Center و پوشش خوشه‌ای استفاده می‌شود [۳۰]. در برخی از مطالعات نیز برای ارزیابی سیاست‌های مختلف به‌منظور پاسخگویی در شرایط اضطراری از تکنیک‌های شبیه‌سازی، مانند شبیه‌سازی مبتنی بر عامل و شبیه‌سازی پیشامدگسسته استفاده می‌شود [۵]. در ادامه به بررسی مکان‌یابی تسهیلات اضطراری، مکان‌یابی سلسله‌مراتبی، طراحی سیستم‌های شبکه سلامت و در نهایت شبیه‌سازی سیستم‌های سلامت به تفکیک پرداخته شده است.

مکان‌یابی تسهیلات اضطراری. مانوپینی و ایروهارا[1] (۲۰۱۷)، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح تصادفی چندهدفه ارائه کردند که شامل سه هدف مختلف مکان‌یابی تسهیلات و مکان موجودی (انبارها)، برنامه‌ریزی تخلیه و توزیع امداد برای پیش و پس از بحران است. علاوه بر هزینه، عامل عدالت در توزیع امداد به تلفات نیز در این مدل در نظر گرفته شده است. به‌حداقل-رساندن حداکثر زمان پاسخگویی بین تسهیلات و نقاط تقاضا برای به حداکثر رساندن عدالت به توابع هدف اضافه شده است. زمان پاسخگویی به مصدومان، خسارت به تسهیلات و تعداد مصدومان شامل عدم‌قطعیت است. به دلیل این عدم‌قطعیت‌ها، مسائل با برنامه‌نویسی تصادفی مدل‌سازی، تکنیک‌های تحقیق در عملیات و شبیه‌سازی حل می‌شوند. در این مدل‌ها اهداف مختلفی از جمله حداکثرسازی ارزش موردانتظار پوشش، به‌حداقل‌رساندن فاصله یا هزینه حمل‌ونقل موردانتظار و به‌حداقل‌رساندن زمان پاسخ متوسط در نظرگرفته شده است [۳۸، ۳۵، ۱۰]. آیدین[2] (۲۰۱۶)، یک مدل P-Median تصادفی را برای تعیین مکان مراکز درمان موقت که در صورت وقوع زلزله در استانبول پیش‌بینی می‌شود، پیشنهاد کرد. لیو[3] و همکاران (۲۰۱۹)، برای شناسایی حداکثر بقای موردانتظار و به حداقل‌رساندن کل هزینه عملیاتی، مکان مراکز درمان موقت و مسائل تخصیص تلفات را تلفیق کردند. احمدی جاوید[4] و همکاران (۲۰۱۷)، نشان دادندکه تعداد کمی برنامه‌نویسی تصادفی و مطالعات بهینه‌سازی استوار وجود دارد که عدم‌قطعیت از محل مراکز درمان موقت را در نظر می‌گیرد. جیا[5] و همکاران (۲۰۰۷)، یک مدل P-Median تصادفی را برای تعیین موقعیت مراکز درمانی پیشنهاد داد و عدم‌قطعیت تقاضا، احتمال خسارت به امکانات و نوسانات ظرفیت را در نظر گرفت. مدل پیشنهادی با درنظرگرفتن انواع مختلف بحران برای شهر سیاتل حل شد.

1. Manopiniwes & Irohara
2. Aydin
3. Liu
4. Ahmadi-Javid
5. Jia

متا و زابینسکی[1] (۲۰۱۰)، یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله‌ای را برای محل انبار پزشکی و عرضه آن‌ها پیشنهاد دادند. در مرحله نخست در مورد محل انبارها و نیاز هر نوع کالای پزشکی تصمیم‌گیری می‌شود. در مرحله دوم در مورد توزیع لوازم پزشکی به بیمارستان‌ها برنامه‌ریزی صورت می‌گیرد. اکسوز[2] و همکاران (۲۰۲۰)، با هدف تعیین موقعیت و تعداد مراکز درمان موقت یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله‌ای را تهیه کردند که هزینه کل مراکز پزشکی موقت و هزینه حمل‌ونقل را به حداقل می‌رساند. این مدل شاخص‌هایی مانند شدت حادثه، ضرایب زیرساخت شهری، زمان‌های متغیر حمل‌ونقل بین مراکز درمان را در نظر نمی‌گیرد.

احمدزاده و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی برنامه‌های ارزیابی زلزله کرمانشاه در نوامبر ۲۰۱۷ پرداختند. شارم و تاتاوارسی[3] (۲۰۱۹)، الگوی مناسبی برای سیستم امدادرسانی در برابر حوادث را بررسی کردند. ربه[4] و همکاران (۲۰۱۹)، به تئوری و عملکرد مدیریت بحران در شهرهای صنعتی پرداختند. این پژوهش در کلیه مراحل مدیریت بحران و بر چهار موضوع اصلی تسهیلات، منابع، سیستم‌های پشتیبانی و مدل‌سازی متمرکز شده است.

نیکجو و همکاران (۱۳۹۷)، یک مدل لجستیک چندهدفه برای مسئله مکان‌یابی مسیریابی در زمان بحران پیشنهاد دادند. مدل ریاضی موجود به دنبال پیداکردن مکان بهینه برای استقرار تسهیلات و سپس میزان تخصیص بهینه کالا میان این تسهیلات و تخصیص مصدومان به بیمارستان‌ها و همچنین یافتن مسیری بهینه برای رساندن نیروهای انسانی به مناطق آسیب‌دیده است. هدف این مقاله رسیدن به اهدافی چون کاهش هزینه، توزیع کالا و امداد پزشکی عادلانه میان مناطق آسیب‌دیده با استفاده از روش بهینه‌سازی استوار است.

موضوع تخصیص و مکان‌یابی ایستگاه‌های امداد جاده‌ای، به‌دلیل داشتن تأثیرات زیادی که بر نحوه خدمت‌دهی به مصدومان دارد، موردتوجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته است؛ بنابراین امیری و همکاران (۱۳۹۱)، در این راستا به مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های امداد جاده‌ای در بزرگراه تهران قم پرداختند. آن‌ها از مدل صف هاپیرکیوب (M/G/1) استفاده کرده و معیارهای عملکردی سیستم از جمله میزان بار کاری هر خدمت‌دهنده، مدت زمان انتظار مشتری را برای دریافت خدمت محاسبه کردند و باعث بهبود عملکرد سیستم شدند.

مکان‌یابی سلسله‌مراتبی تسهیلات اضطراری. در مسائل مکان‌یابی، ساختار مکان تسهیلات و نوع تخصیص به آن‌ها می‌تواند به‌صورت سلسله مراتبی باشد. بدیهی است که ایجاد تسهیلات

1. Mete & Zabinsky
2. Oksuz
3. Sharma & Tatavarthy
4. Rebeeh

سطح بالا (نظیر بیمارستان) نسبت به تسهیلات سطح پایین (نظیر درمانگاه) هزینه بیشتری را می‌طلبد. فراهانی و همکاران (۲۰۱۴)، با در نظرگرفتن احتمال خرابی تسهیلات مدلی را توسعه دادند که در آن یک سلسله مراتب تسهیلات به منظور بیشینه سازی کل تقاضای تحت پوشش مکان‌یابی شده‌اند. پائول[1] و همکاران (۲۰۱۶)، یک فرآیند سلسله‌مراتبی چندهدفه را برای مسئله مکان‌یابی حداکثر پوشش جمعیت در یک فاز پاسخ بررسی کردند؛ درحالی‌که تغییرات در ساختار موجود را به حداقل می‌رساند. پورعلی اکبری و همکاران (۲۰۱۷)، یک مدل مکان‌یابی برای مراکز بهداشتی انتخاب کردند. آن‌ها در مدل پیشنهادی خود، فضا را به صورت گسسته در نظر گرفتند و یک ساختار سلسله مراتبی نیز برای نشان‌دادن مراجعه سلسله مراتبی بیماران استفاده کردند. سهین و سورال[2] (۲۰۰۷)، مروری بر مدل‌های مکان‌یابی سلسله‌مراتبی تسهیلات داشتند. ارائه مدلی برای سیستم‌های سلسله‌مراتبی که هم‌زمان شامل مکان‌یابی، تخصیص و تعیین ظرفیت بهینه مراکز درمان در شرایط بحران باشد در مبانی صورت نگرفته است.

مسائل طراحی شبکه سیستم‌های سلامت. در مبانی نظری تعداد محدودی از مطالعات، تخصیص منابع امدادی و مسائل طراحی شبکه را با تصمیمات مکان‌یابی توأمان در نظر گرفته‌اند؛ همچنین تعداد محدودی از مطالعات گذشته با مکان تسهیلات، مدیریت موجودی و مسائل طراحی شبکه هم‌زمان سروکار داشته‌اند [۲۸]. فریدونی و شاهاناگی (۲۰۱۷)، یک مدل ریاضی تک‌هدفی را برای یک مسئله طراحی شبکه پیشنهاد کردند که در آن، مکان تسهیلات، توزیع و مسئله تخلیه به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته شده است. این مدل با هدف به‌حداقل‌رساندن کل هزینه حمل‌ونقل، نگهداری موجودی و ثابت بودن هزینه‌های نصب تسهیلات ارائه شده است. در مدل پیشنهادی، مسائل مکان‌یابی مراکز درمان موقت و همچنین بیمارستان‌ها در نظرگرفته شده است. موسی‌زاده و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل ریاضی غیرخطی عدد صحیح دوهدفه مختلط برای یک مسئله طراحی شبکه خدمات بهداشتی سه‌سطحی سلسله‌مراتبی ارائه دادند که هدف این مدل، به‌حداقل‌رساندن هزینه کل استقرار و فاصله کلی وزن بین مناطق بیمار و مراکز بهداشتی است. مالکی و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل ریاضی سلسله مراتبی در مورد تخصیص موقعیت مکانی به یک شبکه طراحی سرویس‌های بهداشت دنیای واقعی ارائه کردند. این مدل سلسله‌مراتبی چندسطحی دوطرفه با مراجعه به خدمات، عدم‌اطمینان در ارتباط با تقاضا، خدمات و دسترسی جغرافیایی، اولویت‌دادن به بیماران بر اساس فوریت آن‌ها و اتخاذ متفاوت استراتژی‌های خدماتی برای خدمت به آن‌ها و کیفیت خدمات را در نظر می‌گیرد. برخی از پژوهش‌ها خرابی و عدم دسترسی به تسهیلات را در مدل‌ها در نظر گرفته‌اند. کاراتاس و

1. Paul &MacDonald
2. Şahin &Süral

یاکیچی[1] (۲۰۱۹)، تأثیر تسهیلات پشتیبان را در مراکز اضطرار درمان بررسی کرد که در آن سیاست‌های مختلف تخصیص تقاضا ارائه شده و از شبیه‌سازی گسسته و بهینه‌سازی ترکیبی برای تعیین بهترین مکان پشتیبان با توجه به سطوح مختلف سرویس استفاده شده است. در پژوهش‌های اخیر نشان داده شده است که تعداد مراجعه‌کنندگان به بیمارستان‌ها بالاتر از ظرفیت آن‌ها بوده است و به همین دلیل این افراد به سایر بیمارستان‌های مناسب منتقل می‌شوند. این مشکلات مانع از پاسخ به موقع به مصدومان و ایجاد ازدحام بیش از حد در رسیدگی به آن‌ها می‌شود. این موارد و مشکلات مشابه نیز در مطالعات متعددی برای بحران‌های طبیعی در مقیاس بزرگ بیان شده است. هاوجون[2] و همکاران (۲۰۱۱)، به اهمیت بیمارستان‌های میدانی و مراکز درمانی موقت برای استفاده مؤثر از منابع محدود پزشکی و بسیج نمودن این منابع برای نجات بیشتر آسیب‌دیدگان اشاره کرده‌اند.

بزرگی امیری و همکاران (۲۰۱۷)، یک شبکه زنجیره امداد چندهدفه برای پاسخگویی به نیاز افراد در هنگام زلزله ارائه کردند. اهداف آن‌ها حداقل‌کردن مجموع تعداد افراد مجروحی که به بیمارستان‌ها منتقل نشده‌اند و مجموع تعداد افراد بی‌خانمانی که از ناحیه حادثه‌دیده تخلیه نشده‌اند و به‌حداقل‌رساندن مجموع تقاضاهای برآوردنشده کالاهای امدادی بود. در این مدل، پارامترهای تقاضا و زمان سفر غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند.

علی دوست و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل ریاضی چندهدفه برای زنجیره تأمین دارو در حوادث غیرمترقبه پیشنهاد کردند. آن‌ها سه هدف کاهش هزینه، کاهش درصد کمبود دارو و بیشینه‌سازی پراکنش مراکز توزیع با رویکرد امدادرسانی بهتر در زمان وقوع حادثه را در نظر گرفتند؛ سپس با درنظرگرفتن سناریوهای مختلف با استفاده از داده‌های شهر تهران، مدل خود را با استفاده از روش ترابی ـ حصینی حل کردند. نتایج نشان داد که بیشترین تقاضا در حالت فعال شدن گسل ری و کمترین تقاضا مربوط به فعال‌شدن گسل مشا است.

شبیه‌سازی در طراحی شبکه سلامت. استفاده از انواع شبیه‌سازی (مونت‌کارلو، گسسته پیشامد، عامل‌بنیان و سیستم داینامیک) به‌عنوان یک ابزار مؤثر در مطالعات سیستم‌های بهداشت و سلامت، به دلیل وجود تعداد زیادی پارامتر دارای عدم‌قطعیت، در سال‌های اخیر موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته است. قاسمی و همکاران (۲۰۱۹)، یک برنامه‌ریزی ریاضی مختلط خطی چندهدفه تصادفی برای قبل و پس از بحران پیشنهاد کردند. آن‌ها در مرحله نخست به مکان استقرار مراکز توزیع امداد و کالاهای ذخیره‌شده و در مرحله دوم به تعیین بهینه مراکز پرداختند. این مدل با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی محدودیت اپسیلون به معادل قطعی تبدیل می‌شود.

1. Karatas & Yakıcı
2. Haojun

بعضی از عوامل پیچیده برای تولید توزیع احتمالی با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی بر روی تقاضا از طریق چندین سناریو راه‌اندازی شده است.

گول[1] و همکاران (۲۰۱۹)، یک چارچوب ترکیبی از شبکه‌های عصبی مصنوعی در پنج منطقه استانبول برای ارزیابی آمادگی زلزله و تخمین تعداد تلفات برای بخش اورژانس در شهرها با استفاده از شبیه‌سازی رویداد گسسته انجام دادند. صالحی و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل تصادفی جدید دومرحله‌ای را برای طراحی شبکه خون‌رسانی با در نظرگرفتن یک فاجعه طبیعی احتمالی در تهران پیشنهاد کردند. مدل ریاضی با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو پیاده‌سازی اجرا و ارزیابی شد. شانگ[2] و همکاران (۲۰۲۰)، یک چارچوب ارزیابی برای تعداد بهینه بخش‌های اورژانس در شرایط عملیاتی عادی بر اساس روش درخت حالت پیشنهاد کردند.

مهابادی و همکاران (۲۰۱۵)، پارامترهای مؤثر بر انتظار بیماران در بخش اورژانس خدمات ارتوپدی بخش اورژانس یک بیمارستان را بررسی کردند. به‌منظور ایجاد یک مدل شبیه‌سازی، داده‌های موردنیاز بیماران در یک دوره زمانی برای خدمات ارتوپدی جمع آوری شد. ازآنجاییکه وقفه طولانی‌مدت در بخش اورژانس می‌تواند باعث کاهش خدمات سایر مصدومین نیاز به مراقبت اورژانس و نارضایتی آنها شود و مرگ‌ومیر ناشی از حوادث را افزایش دهد، سپهری و همکاران (۲۰۱۵)، یک مدل شبیه‌سازی با درنظرگرفتن دو سناریو انجام دادند. درسناریو نخست با یک پرستار تریاژ و همچنین یک کارمند پذیرش، قصد کاهش زمان انتظار بیمار را داشتند. با انجام سناریو دوم و قراردادن پرستار اضافه در بخش اورژانس، شاخص یادشده حدود ۵۰ درصد کاهش یافت.

در پژوهش سجادی و همکاران (۲۰۱۶)، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای زمان‌بندی ساعات کار برای پرستاران در بخش اورژانس ارائه شده است که می‌تواند باعث کاهش زمان انتظار بیمار و درنتیجه رضایت از خدمات ارائه‌شده شود. کمالی و همکاران (۲۰۱۸)، زمان پاسخ به درخواست‌های خدمات اورژانس پزشکی را با استفاده از تلفیق تکنیک‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی کاهش دادند. آن‌ها بر اساس شاخص‌هایی مانند تراکم جمعیت و میزان تماس‌های درخواست اورژانس پزشکی، مکان‌هایی را در بعضی نقاط شهر اصفهان برای استقرار پایگاه‌های اورژانس تعیین کردند. با تعیین عواملی همچون میزان تأثیر شرایط ترافیک بر زمان پاسخ، نرخ تقاضا و هزینه‌های عملیاتی، سناریوهای مختلف مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و بهترین سناریو که کوتاه‌ترین زمان پاسخ به درخواست‌های اورژانس را دارا بود، از میان آن‌ها انتخاب شد.

بر اساس این بررسی‌ها، مطالعه‌ای در خصوص برنامه‌ریزی یکپارچه برای تعیین مکان بهینه مراکز موقت درمان، تفکیک بیماران در محل حادثه (تریاژ)، نحوه تخصیص بهینه بیماران

1. Gul
2. Shang

به‌صورت سلسله‌مراتبی از نقاط حادثه‌دیده شهری به مراکز درمان موقت، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها و درنهایت تعیین ظرفیت بهینه این مراکز انجام نشده است. در پژوهش‌های قبلی، ضرورت انجام چنین پژوهشی و ارائه روش حل تلفیقی برای کاهش اثرات بلایا ذکر شده است. پرکردن این شکاف برای اقدامات بشردوستانه بسیار مهم است و پژوهشگران بر این باورند که این مطالعه نقش بسزایی در مبانی نظری و برای تصمیم‌گیرندگان خواهد داشت.

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش بعد از تعریف جزئیات مسئله سیستم سلسله‌مراتبی، پارامترها، متغیرهای تصمیم، محدودیت‌ها و توابع هدف در قالب یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط تعریف می‌شوند؛ سپس مدل بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی برای تعیین ظرفیت بهینه مراکز ارائه خواهد شد.

تعریف مسئله. در حوادث اضطراری در مقیاس های بزرگ مانند زلزله، طوفان و سونامی بیمارستان‌ها دارای ظرفیت کافی نیستند؛ بنابراین مراکز درمان موقت که بیمارستان‌های میدانی نیز خوانده می‌شوند، در مکان‌های مناسب برای خدمت‌رسانی به تلفات در مرحله پاسخ به فاجعه احداث می‌شوند. تعیین محل و تعداد مراکز درمان با درنظرگرفتن تعداد تلفات و بیمارستان‌های موجود برای مدیریت بحران امری بسیار حیاتی است. در این مطالعه شدت جراحات به سه گروه تقسیم شده است: شدت آسیب بالا (یک) فقط به بیمارستان‌ها منتقل می‌شوند؛ زیرا تعدادی از آسیب دیدگان به درمانهای پیشرفته‌ای نیاز دارند که در مراکز درمان موقت قابل‌انجام نیست. مصدومین با شدت جراحات ۲ و ۳ به صورت سلسله مراتبی ابتدا به مراکز درمان موقت، درمانگاه و سپس به بیمارستان منتقل می‌شوند. فرض بر این است که کارکنان بهداشتی پس از حادثه، طبقه‌بندی تریاژ را در مناطق ایمنی انجام می‌دهند.

مدل ریاضی. هدف مدل بهینه‌سازی، بررسی مکان و تعداد مراکز درمان موقت با درنظرگرفتن مکان بیمارستان‌های موجود، مراکز موقت درمان و هزینه راه‌اندازی مراکز درمان موقت است؛ به‌طوری‌که کل تقاضا پوشش داده شده و حداکثر زمان دسترسی و مجموع مسافت طی‌شده برای انتقال مصدومان برای دسترسی به تسهیلات در هر یک از سطوح سلسله مراتب کمینه شود.

اندیس‌ها:

i: نواحی شهری

e: مراکز درمان موقت

c : درمانگاه‌ها

h : بیمارستان‌ها

l: گروه بندی شدت جراحات

پارامترها:

d_{ch}: فاصله بین درمانگاه cام و بیمارستان h ام

d_{ec} : فاصله بین مرکز درمان موقت eام و درمانگاه c ام

d_{ie}: فاصله بین مرکز ناحیه شهری iام و مرکز درمان موقت eام

t_{ch}: زمان انتقال مصدوم از درمانگاه cام به بیمارستان h ام

t_{ec}: زمان انتقال مصدوم از مرکز درمان موقت eام به درمانگاه cام

t_{ie}: زمان انتقال مصدوم از مرکز منطقه iام به مرکز درمان موقت eام

$cost_e$: هزینه ثابت فعال‌سازی مرکز درمان موقت eام

$budget$: بودجه ایجاد مراکز درمان موقت

P_i: جمعیت مصدومان ناحیه شهری iام

α_i: ضریب آسیب زیرساخت‌های ناحیه شهری iام

r: ضریب شدت حادثه

S_i: ضریب کیفیت ساخت ناحیه‌ی شهری iام

ESI: درصد شدت جراحات وارده سطح lام در ناحیه شهری iام

P_{il} : تعداد افراد آسیب‌دیده ناحیه شهری iام با شدت جراحات سطح lام

cap_h: ظرفیت پذیرش بیمارستان hام

cap_e: ظرفیت پذیرش مرکز درمان موقت eام

cap_c: ظرفیت پذیرش درمانگاه cام

M: یک عدد بزرگ

β_c : درصد مصدومانی که به درمانگاه c ام ارجاع داده و نیازمند خدمات بیشتر در سطح بیمارستان‌ها هستند.

β_e : درصد مصدومانی که به مراکز درمان موقت e ام ارجاع داده و نیازمند خدمات بیشتر در سطح درمانگاه ها هستند.

تعداد افراد آسیب‌دیده ناحیه شهری iام با شدت جراحات سطح lام که تحت شدت حادثه $\mathbf{r}$ واقع شده‌اند، با توجه به ضریب آسیب زیرساخت‌ها (α_i) و ضریب کیفیت ساخت ناحیه شهری iام ($\mathbf{S_i}$) با استفاده از رابطه ۱، محاسبه می‌شود:

$$P_{il} = P_i \times \alpha_i \times r \times (1 - S_i) \times ESI_{il} \qquad (۱)$$

$0 \le s_i \le 1 \qquad 0 \le \alpha_i \le 1 \quad 0 \le r \le 1$

متغیرهای تصمیم:

α_i: اگر مرکز درمان موقت eام فعال شود، مقدار یک و درغیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

x_{ilech}: اگر مصدومان ناحیه شهری iام با شدت جراحات lام در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز درمان موقت e ام و سپس به درمانگاه c ام و پس از آن به بیمارستان hام منتقل شوند، مقدار یک و در غیر این‌صورت مقدار صفر می‌گیرد.

x_{ile}: اگر مصدومان ناحیه شهری iام با شدت جراحات lام در طی فرایند درمان خود به مرکز درمان موقت eام منتقل شوند، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

x_{ilec}: اگر مصدومان ناحیه شهری iام با شدت جراحات lام در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز درمان موقت eام و سپس به درمانگاه cام منتقل شوند، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

y_{ile}: تعداد مصدومان ناحیه شهری iام با شدت جراحات lام که در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز درمان موقت eام منتقل می‌شوند.

y_{ilec}: تعداد مصدومان ناحیه شهری iام با شدت جراحات lام که در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز درمان موقت eام و سپس به درمانگاه cام منتقل می‌شوند.

y_{ilech}: تعداد مصدومان ناحیه شهری iام با شدت جراحات lام که در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز درمان موقت e ام و به درمانگاه cام و سپس به بیمارستان h ام منتقل می‌شوند.

D_{ile} : تعداد مصدومان از ناحیه شهری iام با شدت جراحات lام به مرکز درمان موقت eام مراجعه کرده‌اند و خواستار خدمات در سطح درمانگاه ها هستند.

D_{ilec} : تعداد مصدومان از ناحیه شهری iام با شدت جراحات lام که به مرکز درمان موقت e ام و سپس به درمانگاه c ام مراجعه کرده‌اند و خواستار خدمات در سطح بیمارستان‌ها هستند.

تابع هدف و محدودیت‌ها:

در رابطه ۲، توابع هدف مسئله تعریف شده است. توابع اول و سوم مجموع هزینه‌ها و زمان انتقال مصدومان و تابع هدف دوم، میزان هزینه تحمیل‌شده برای فعال‌سازی مراکز درمان موقت است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$
\begin{aligned}
Min\ \ Z_1 = & [\sum_i \sum_e \sum_c \sum_h \sum_l d_{ch} \times y_{ilech} + \\
& \sum_i \sum_e \sum_c \sum_l d_{ec} \times y_{ilec} \\
& \sum_i \sum_e \sum_l d_{ie} \times y_{ile}] \\
Min\ Z_2 = & [\sum_e \cos t_e \times a_e] \\
\text{Min } Z_3 = & [\sum_i \sum_e \sum_c \sum_h \sum_l t_{ch} \times y_{ilech} + \\
& \sum_i \sum_e \sum_c \sum_l t_{ec} \times y_{ilec} + \\
& \sum_i \sum_e \sum_l t_{ie} \times y_{ile}]
\end{aligned}
\qquad (۲)
$$

Subject to

$$\sum_e y_{ile} = P_{il} \qquad \forall i, l \qquad (۳)$$

تمامی متقاضیان درمان با هر درجه از جراحت در تمامی نواحی شهری که باید به مراکز درمان تخصیص یابند، با رابطه ۳، نشان داده می‌شود.

$$y_{ile} \times \beta_e = D_{ile} \qquad \forall i,l,e \qquad (۴)$$

رابطه ۴، نمایانگر این مفهوم است که از میان افرادی که به مراکز درمان موقت مراجعه می‌کنند، درصدی از آن‌ها متقاضی دریافت خدمات بیشتر در لایه‌ی بالایی یا همان درمانگاه ها هستند که به تناسب آن، متغیر D_{il} بر اساس محاسبات به‌دست آمده است؛ بنابراین $(1-\beta_e)$ درصدی از آسیب‌دیدگان هستند که در مرکز درمان موقت می‌شوند و به درمانگاه‌ها منتقل نمی‌شوند.

$$\sum_c y_{ilec} = D_{ile} \qquad \forall i,l,e \qquad (۵)$$

رابطه‌ی ۵، مدل را ملزم می‌کند تا تقاضای درمانی تمامی متقاضی (D_{ile}) را برآورده کند و آن‌ها را به درمانگاه‌ها تخصیص دهد.

$$y_{ilec} \times \beta_c = D_{ilec} \qquad \forall i,l,e,c \qquad (۶)$$

رابطه ۶، به‌طور مشابه درصد مصدومانی که باید به بیمارستان منتقل شوند را محاسبه می‌کند؛ بنابراین $(1-\beta_c)$ درصدی از مصدومان هستند که از شبکه درمان در سطح درمانگاه‌ها ترخیص می‌شوند.

$$\sum_h y_{ilech} = D_{ilec} \qquad \forall\, i,l,e,c \qquad (۷)$$

رابطه ۷، برای تخصیص تمام مصدومان درمانگاه‌ها به بیمارستان‌ها (D_{ilec}) تعریف شده است.

$$y_{ile} \le M \times x_{ile} \qquad \forall\, i,l,e \qquad (۸)$$

$$y_{ile} \ge x_{ile} \qquad \forall\, i,l,e \qquad (۹)$$

روابط ۸ و ۹، برقراری رابطه بین متغیر مثبت y_{ile} و متغیر صفر و یک x_{ile} را نشان می‌دهند. به نوعی که هر گاه متغیر مثبت y_{ile} مقدار بگیرد، متغیر x_{ile} مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

$$y_{ilec} \le M \times x_{ilec} \qquad \forall\, i,l,e,c \qquad (۱۰)$$

$$y_{ilec} \ge x_{ilec} \qquad \forall\, i,l,e,c \qquad (۱۱)$$

$$y_{ilech} \le M \times x_{ilech} \qquad \forall\, i,l.e,c,h \qquad (۱۲)$$

$$y_{ilech} \ge x_{ilech} \qquad \forall\, i,l,e,c,h \qquad (۱۳)$$

روابط ۱۰ تا ۱۳، به جهت برقراری ارتباط بین متغیرهای صفر و یک و مثبت تعریف شده است.

$$x_{ilec} \le x_{ile} \qquad \forall\, i,l,e,c \qquad (۱۴)$$

رابطه ۱۴، دو متغیر x_{ile} و x_{ilec} را به همدیگر پیوند می‌دهد تا ساختار تخصیص سلسله‌مراتبی مسئله حفظ شود.

$$x_{ilech} \le x_{ilec} \qquad \forall\, i,l,e,c,h \qquad (۱۵)$$

رابطه ۱۵، نیز مانند رابطه ۱۴، عمل می‌کند.

$$x_{ile} \le a_e \qquad \forall\, i,l,e \qquad (۱۶)$$

رابطه ۱۶، نشان می‌دهد که هرگاه متغیر x_{ile} مقدار بگیرد، قبل از آن باید آن مرکز فعال شده و هزینه فعال‌سازی آن در تابع هدف لحاظ شده باشد.

$$\sum_i \sum_l \sum_e \sum_c y_{ilech} \leq Cap_h \qquad \forall\, h \tag{۱۷}$$

$$\sum_i \sum_l \sum_e y_{ilec} \leq Cap_c \qquad \forall\, c \tag{۱۸}$$

$$\sum_i \sum_l y_{ile} \leq Cap_e \qquad \forall\, e \tag{۱۹}$$

روابط ۱۷ تا ۱۹، مقدار ظرفیت‌های مربوط به هر یک از مراکز را تعریف می‌کند.

$$y_{il}\ , y_{ilec}\ , y_{ilech}\ , D_{iec}\ , D_{ile} \geq 0 \tag{۲۰}$$

$$x_{ile}\ , x_{ilec}\ , x_{ilech}\ , a_e\ \in \{0\ , 1\} \tag{۲۱}$$

روابط ۲۰ و ۲۱، نوع متغیرها را نشان می‌دهد.

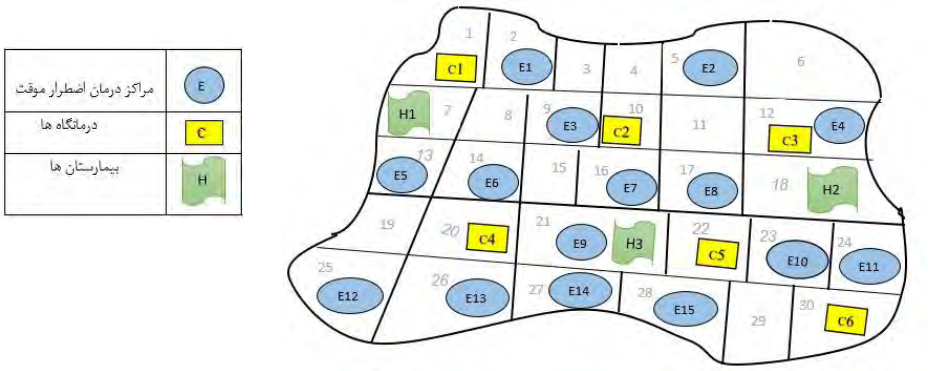
روش حل. مدل ریاضی برای داده‌های یک مسئله نمونه در محیط نرم‌افزار گمز کدنویسی و در سیستم با مشخصات RAM 3.00 GB و CPU 2.53 GHz در نرم‌افزار GAMZ win 6424.3.3 به مدت‌زمان ۳۵ ثانیه حل شد. مدل ریاضی پیشنهادی برای داده‌های یک مسئله نمونه در محیط نرم‌افزار گمزکدنویسی و حل شد. ساختار سلسله‌مراتبی مدل ریاضی در شکل ۱، نشان داده شده است.

شکل ۱. ساختار سیستم سلسه‌مراتبی پاسخگویی مرکز پزشکی فوریت‌های پزشکی پس از فاجعه

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

تحلیل داده‌های بخش مدل‌سازی ریاضی. مطالعه موردی بر اساس داده‌های شبیه‌سازی‌شده برای یک منطقه نمونه شهری طراحی و حل شده است. مکان‌های کاندید مراکز درمان موقت بر اساس معیارهای زیر تعیین می‌شود: ۱. در برابر خسارت وارده ایمن باشد؛ ۲. زمین اطراف ناهموار نباشد؛ ۳. هیچ امکانات خطرناکی در اطراف آن وجود نداشته باشد؛ ۴. به‌راحتی در دسترس باشد؛ ۵. زیرساخت‌های موردنیاز برای ایجاد آن به‌راحتی دردسترس باشد. با توجه به این معیارها

ناحیه‌های شهری با استفاده از Google Maps و وب‌سایت راهنمای شهر به‌تفصیل بررسی شد. ظرفیت بیمارستان‌ها از وب‌سایت‌های «وزارت بهداشت» گرفته شده است. فرض بر این است که درصدی از ظرفیت بیمارستان‌ها در حال حاضر توسط بیماران موجود استفاده می‌شود. تعداد جمعیت در هر منطقه فرعی از مؤسسه‌های آماری اخذ شده است. شکل ۲، مکان بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها و مراکز درمان موقت را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نقشه (نقاط تقاضا)، بیمارستان‌ها و مکان‌های پیشنهادی مراکز درمان موقت

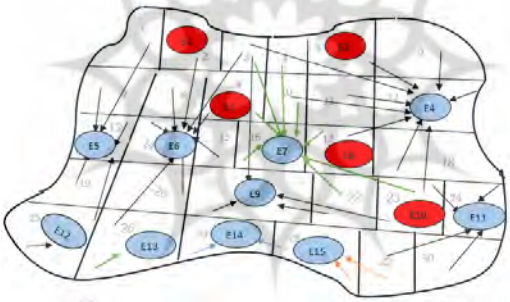
به‌منظور ارزیابی و تحلیل مدل ریاضی پیشنهادی، فرایند استقرار مراکز درمان موقت و تخصیص سلسله‌مراتبی مصدومان به سطوح بالاتر (درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها) ۳۰ ناحیه شهری، پانزده مرکز کاندید ایجاد مراکز درمان موقت، شش درمانگاه و سه بیمارستان در نظر گرفته شده است. در این مسئله نواحی شهری به ۳ منطقه شمالی، مرکزی و جنوبی تقسیم می‌شود. تراکم جمعیت در نواحی شمالی کمتر و به سمت نواحی جنوبی بیشتر می‌شود. کیفیت ساخت از مناطق شمالی شهر به سمت مناطق جنوبی کاهش می‌یابد. ضریب آسیب زیرساخت‌های ناحیه شهری واقع‌شده بر روی گسل‌ها، در مناطق شمالی به نسبت جنوبی بدتر است. شدت حادثه برای تمام مناطق شهری یکسان فرض شده است. سایر اطلاعات مسئله در جداول ۱، آورده شده است. شاخص شدت جراحات برای سه طبقه بالا، متوسط و پایین به‌ترتیب، ۴۰، ۴۰ و ۲۰ درصد لحاظ شده است.

جدول ۱. جمعیت مناطق شهری

ناحیه‌های شهری	جمعیت شهری	محله‌ها	ضریب آسیب زیرساخت شهری	بیمارستان‌ها	تعداد درمانگاه‌ها	نقاط مراکز درمان موقت
شمالی	۲۰،۰۰۰	۱۲	۰/۰۱۰	۱	۳	۴
مرکزی	۴۰،۰۰۰	۱۲	۰/۰۴	۲	۲	۷
جنوبی	۶۰،۰۰۰	۶	۰/۰۸	۰	۱	۴

نتایج حاصل از مدل. برای تعیین وزن‌های اهداف از تکنیک دلفی استفاده شده است. این روش فرایندی ساختاریافته برای جمع‌آوری و طبقه‌بندی دانش موجود در نزد گروهی از کارشناسان و خبرگان است که از طریق توزیع پرسشنامه و دریافت پاسخ‌ها و نظرهای خبرگان طی چند دور رفت‌وبرگشتی صورت می‌گیرد تا اجماع نظر حاصل شود. این وزن‌ها به‌ترتیب W_1 =۲، W_2=۱۰ و W_3 =۴ با رویکرد دلفی محاسبه شده است. پس از حل مدل به کمک نرم‌افزار گمز، ۱۰ مرکز درمان موقت هنگام بحران فعال می‌شود. نحوه تخصیص مصدومان از نواحی شهری به مراکز درمان موقت در شکل ۳، نشان داده شده است. مراکز ۱، ۲، ۳، ۴ و ۱۰ غیرفعال است. تخصیص مراکز درمان موقت به درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها در شکل ۴، نشان داده شده است.

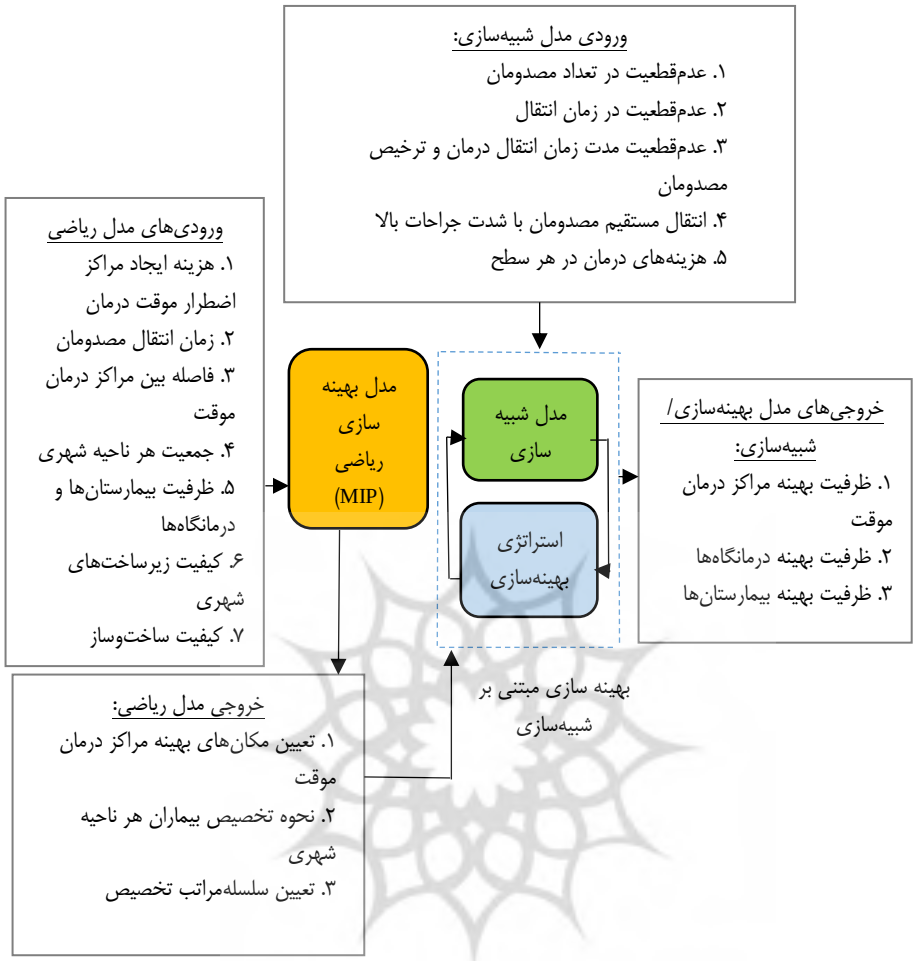
شکل ۳. تخصیص نواحی شهری به مراکز درمان موقت



شکل ۴. تخصیص نواحی شهری به درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها

مدل شبیه‌سازی. انتخاب بهترین مکان برای ایجاد مراکز درمان موقت و تخصیص آن‌ها به مصدومان با استفاده از مدل ریاضی مشخص شده است. ساختار طراحی‌شده در هنگام بروز بحران شبیه‌سازی‌شده است. تعیین ظرفیت بهینه مراکز درمان موقت، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها هدف این بخش پژوهش است؛ بنابراین خروجی مدل ریاضی به‌عنوان ورودی مدل شبیه‌سازی مورداستفاده قرار گرفته است. در مدل شبیه‌سازی دو تابع هدف در نظر گرفته می‌شود. هزینه ایجاد تخت‌ها که باید حداقل شود و دیگری زمان انتظار که باید به مدل افزوده شود. زمان و

هزینه رابطه عکس با یکدیگر خواهند داشت. در پژوهش حاضر، شبیه‌سازی سیستم مفروض با استفاده از نرم‌افزار ARENA 14.0 انجام شده است. ساختار مدل شبیه‌سازی شکل ۵، مشاهده می‌شود.



شکل ۵. ارتباط بین مدل شبیه‌سازی و ریاضی

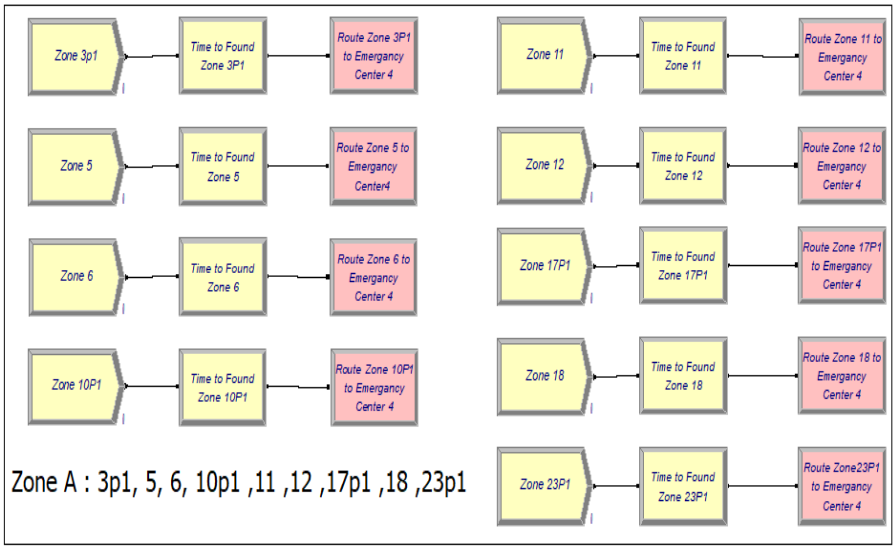
ویژگی‌های مدل شبیه‌سازی و ریاضی. در مدل شبیه‌سازی، تعداد تقاضا و تعداد مصدومان هر ناحیه شهری و مدت‌زمان انتقال (انتقال از ناحیه‌های شهری به درمانگاه‌ها و سپس به بیمارستان‌ها) تصادفی در نظر گرفته شده است. بیماران با شدت درجه جراحات بالا مستقیم به بیمارستان‌ها منتقل می‌شوند. در لحظه‌ی وقوع بحران (زلزله) در مدل ریاضی فرض بر آن است که همه مصدومان در لحظه صفر بحران در دسترس هستند؛ در صورتی که در مدل شبیه‌سازی طی ساعات اولیه بحران به مرور، حادثه‌دیدگان شناسایی و به مراکز درمان موقت اعزام می‌شوند.

مدل شبیه‌سازی امکان بررسی دینامیک عملیات امداد و نجات، اعزام، بستری و ترخیص مصدومان را در طی ساعات و روزهای اولیه بحران به‌خوبی نشان می‌دهد. ساختار سلسله‌مراتبی طراحی‌شده تحت شرایط بار شبکه برای ۱۶۸ ساعت اولیه بحران (۷ روز) شبیه‌سازی‌شده است.

تعریف متغیرها و پارامترهای مدل شبیه‌سازی. در ابتدای مدل شبیه‌سازی، پارامترها و متغیرهای مدل مفروض تعیین می‌شوند. ظرفیت بهینه مراکز درمان موقت، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها به‌عنوان متغیرهای تصمیم در نظر گرفته می‌شوند. با استفاده از ابزار بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی OptQuest، مقادیر آن‌ها بهینه شده است.

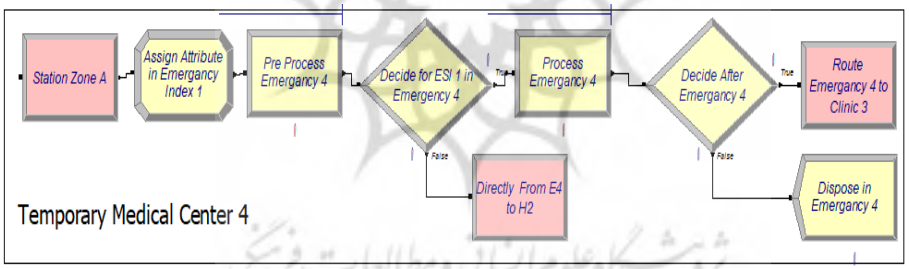
ورود مصدومان: تعداد مصدومان هر ناحیه شهری توزیع پواسون با میانگین متناسب با جمعیت ناحیه شهری (مدل ریاضی) در نظر گرفته شده است. در ابتدای مدل زمان تأخیری صرف یافتن مصدومان هر ناحیه خواهد شد؛ سپس شدت جراحات هر فرد توسط امدادگران مشخص می‌شود. اگر درجه جراحات بالا باشد، ارسال مستقیم به بیمارستان‌ها صورت می‌گیرد؛ در غیر این صورت به مراکز اضطرار موقت درمان منتقل خواهند شد. به‌طورکلی $(1-\beta_e)$ درصد از افراد حادثه‌دیده ترخیص می‌شوند و β_e درصد از مراکز درمان موقت به درمانگاه‌ها اعزام می‌شوند. از این تعداد $(1-\beta_c)$ از درمانگاه‌ها مرخص می‌شوند و مابقی به بیمارستان‌ها منتقل خواهند شد. بدین ترتیب همه نواحی به‌صورت سلسله‌مراتبی به مصدومان تخصیص داده می‌شوند. ضریب ترخیص مصدومان در هر مرحله با توجه به داده‌های آماری گذشته احصا و استفاده شده است. شکل ۶ نحوه تخصیص مصدومین به نواحی شهر را نشان می‌دهد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



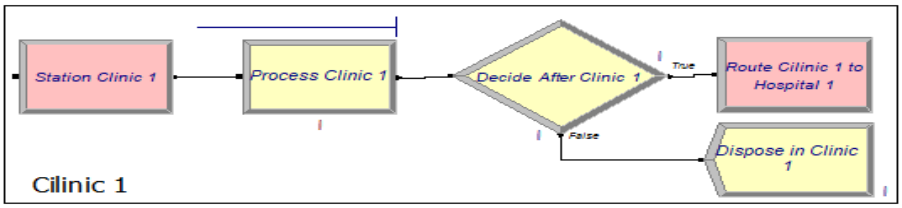
شکل ۶. نحوه تخصیص مصدومین به ناحیه‌های شهری

بخش مراکز درمان موقت. پانزده مرکز درمان موقت به‌صورت کاندید در ناحیه‌های شهری در نظر گرفته شده است. با استفاده از مدل ریاضی، تعداد بهینه ۱۰ مرکز درمان موقت (مراکز ۴، ۵، ۶ ، ۷، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵) انتخاب شده است. مصدومان نواحی شهری به مراکز درمان موقت منتقل می‌شوند. برای مثال، در شکل ۷، نواحی شهری که به مرکز درمان موقت چهارم تخصیص و با عنوان Zone A نامگذاری شده‌اند، نشان داده شده است.



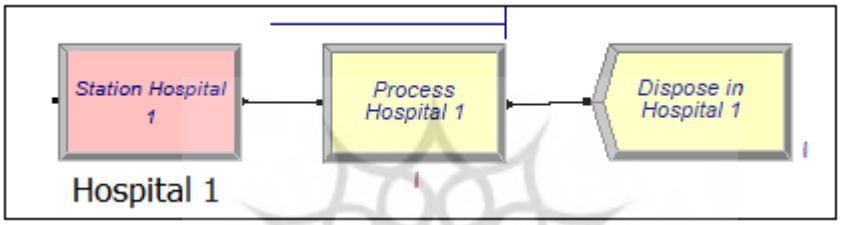
شکل ۷. نحوه تخصیص ناحیه‌های شهری به مراکز درمان موقت

بخش درمانگاه‌ها .مصدومانی که از مرکز درمان موقت ترخیص نمی‌شوند، به درمانگاه‌ها برای فرایند درمان منتقل می‌شوند. برای نمونه در شکل ۸، درمانگاه اول نشان داده شده است. مصدومانی که به مرکز درمان موقت پنجم اعزام شده‌اند، در صورت نیاز به خدمات درمانی بیشتر به این درمانگاه منتقل خواهند شد.



شکل ۸. تخصیص بیماران از مرکز درمان موقت به درمانگاه (نمونه کلینیک ۱)

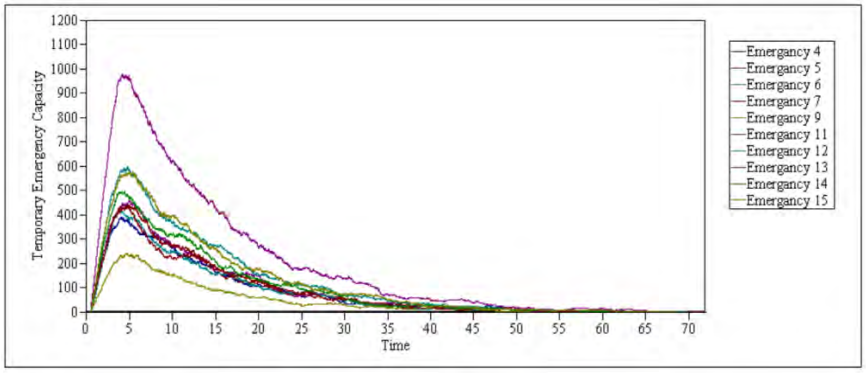
بخش بیمارستان‌ها. سه بیمارستان در ناحیه شهری موردمطالعه قرار دارد. از ابتدای بحران، بعضی از مصدومان به علت شدت جراحت بالای خود مستقیم به این بیمارستان‌ها ارجاع داده می‌شوند و بقیه بیماران پس از طی‌کردن سلسله‌مراتب از درمانگاه‌ها به بیمارستان منتقل می‌شوند. در شکل ۹، نحوه انتقال آسیب‌دیدگان از کلینیک‌ها به بیمارستان‌ها (به‌عنوان نمونه بیمارستان شبیه‌سازی‌شده است.



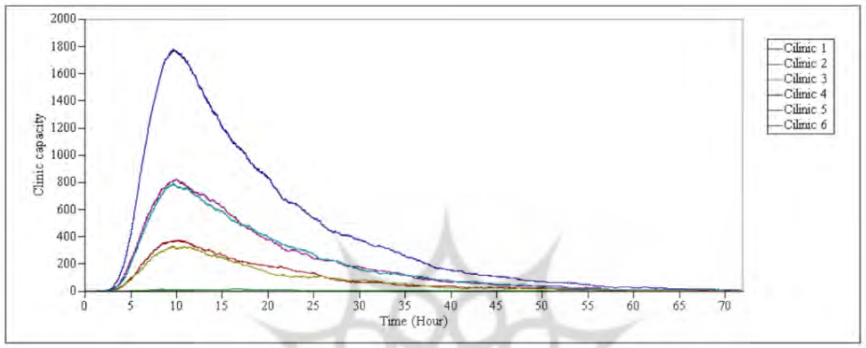
شکل ۹. تخصیص بیماران از درمانگاه ها به بیمارستان‌ها

نمودار ظرفیت مراکز درمان موقت، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها. پس از اجرای مدل شبیه‌سازی نمودارهای اشغال ظرفیت مراکز درمانی در ادامه نشان داده شده است. این نمودارها نحوه تخصیص مصدومان را در هر لحظه از شبیه‌سازی ثبت می‌کنند. هر چه ارتفاع (قله) نمودارها بیشتر باشد، برای رسیدگی به مصدومان تجهیزات، نیروی انسانی و امکانات بیشتری نیاز خواهد بود. نمودارهای ۱ الی ۳ گویای این تخصیص هستند.

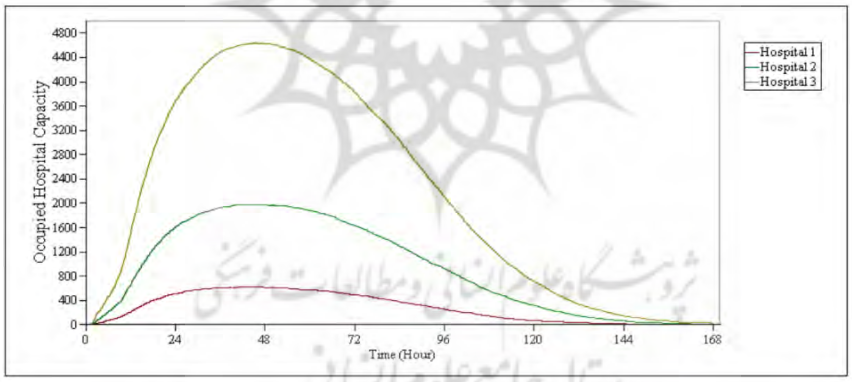
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



نمودار ۱. ظرفیت اشغال‌شده مراکز درمان موقت در زمان بحران



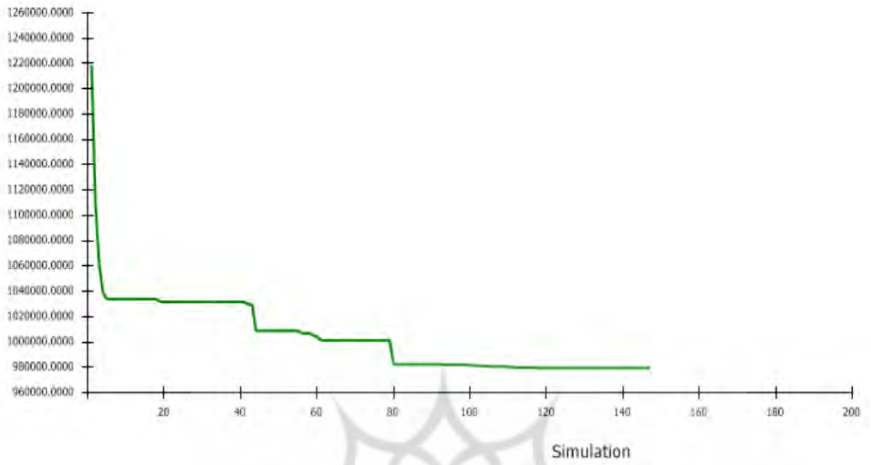
نمودار ۲. ظرفیت اشغال‌شده درمانگاه‌ها در هنگام بحران



نمودار ۳. ظرفیت اشغال‌شده بیمارستان‌ها در هنگام بحران

بهینه‌سازی مدل با استفاده از ابزار OptQuest. در مدل شبیه‌سازی به‌منظور تعیین ظرفیت بهینه تخت‌ها در مراکز اضطرار درمان موقت، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها نیاز به بررسی توابع هزینه و زمان است. ازآنجاکه بهینه‌بودن این مقادیر برای هر مرکز، مشخص نیست، باید

به‌گونه‌ای مقدار بهبود آن‌ها مشخص شود. به این منظور با استفاده از ابزاری به نام OptQuest حالت‌های مختلف مقادیر زمان و هزینه آزمون شده و درنهایت بهترین سناریوی ممکن از ترکیب آن‌ها ایجاد می‌شود. نمودار ۴ خروجی مدل بهینه‌سازی در نرم‌افزار را نشان می‌دهد. سرانجام شبیه‌سازی با تعداد بیش از ۱۰۰۰ مرتبه تکرار به ظرفیت بهینه خود دست پیدا کرده است. منظور از حالت بهینه در تکرارهای متوالی رسیدن به یک حالت ثابت است که «میرا» نامیده می‌شود.



نمودار ۴. کاهش مقدار تابع هدف در فرایند بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی

ظرفیت بهینه مراکز درمانی و مقدار بهینه تابع هدف در جدول ۲، ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار بهبود تابع هدف ۳۵ درصد (از ۱،۲۲۰،۰۰۰ به ۷۸۳،۲۹۳) است.

جدول ۲. مقادیر بهینه ظرفیت مراکز درمان (خروجی مدل بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی)

مراکز درمان موقت	درمانگاه‌ها	بیمارستان‌ها
۴۱۵-۶۰۰-۵۰۰-۸۱۰-۱۰۰۵-۱۱۱۷-۸۰۱-۸۱۰-۷۲۰	۳۷۷-۱۰۰-۳۰۰-۱۳۲۵-۸۲۲-۱۶۰۱	۶۳۷-۱۹۰۷-۴۴۳۶

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه هدف، تعیین موقعیت و تعداد مراکز درمانی موقت در صورت بروز بحران با درنظر گرفتن موقعیت بیمارستان‌های موجود، ظرفیت پذیرش مراکز درمانی و هزینه‌های ایجاد مراکز درمان موقت می باشد. با درنظرگرفتن فاصله بین نقاط وقوع بحران و مراکز درمان موقت، برنامه‌ریزی برای تخصیص مصدومان با شدت جراحات مختلف به این مراکز درمان، از تعداد تلفات زیاد جلوگیری می‌شود. برای این منظور، یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته برای به‌حداقل‌رساندن کل هزینه راه‌اندازی مراکز درمان موقت و کل هزینه اعزام پیش‌بینی‌شده

از تلفات ارائه شده است. علاوه بر این، برای تجزیه‌وتحلیل تأثیر طبقه‌بندی مصدومان (تریاژ)، فرایند امداد و نجات در طول ساعات اولیه بحران، عدم‌قطعیت در تعداد و زمان اعزام و مدت‌زمان درمان مصدومان، ترافیک و ازدحام در مراکز درمانی در مدل شبیه‌سازی انجام شده است. این مطالعه با توجه به داده‌های شبیه‌سازی‌شده یک ناحیه شهری صورت گرفت. مدل به‌صورت هم‌زمان سه هدف مجموع زمان انتقال مصدومان، میزان هزینه‌ی ایجاد مراکز درمان موقت و درنهایت مسافت طی‌شده برای انتقال مصدومان را کمینه می‌کند؛ همچنین نقاط پشتیبان مراکز درمان موقت با توجه به تراکم جمعیت ناحیه‌های شهری، کیفیت ساخت و ضریب زیرساخت‌های شهری تعیین می‌شود.

در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شدهدراین حیطه، به موضوع مکان‌یابی–تخصیص و تکنیک‌های شبیه‌سازی به‌صورت جداگانه پرداخته شده است؛ در صورتی که در این پژوهش تلفیقی از مدل ریاضی و شبیه‌سازی (مدل ترکیبی) استفاده شده است. همچنین نوع تخصیص به‌کار رفته در این پژوهش در مقایسه با پژوهش‌های دیگر از نوع سلسله‌مراتبی است. در مدل بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی نیز ظرفیت بهینه منابع در نظر گرفته شده که در مقالات مشابه این مورد بررسی نشده است. مفهوم پوشش پشتیبان درمدل ریاضی وجه تمایز دیگر این پژوهش با پژوهش‌های پیشین است؛ یعنی در مواقعی که یک یا چند مرکز درمان موقت در حین بحران از دسترس خارج می‌شوند، پشتیبان آن‌ها در فرایند کمک به مصدومان فعالیت کند.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی برنامه‌ریزی کارکنان درمانی درمانگاه‌ها، بیمارستان‌ها و مراکز اضطرار موقت در نظر گرفته شود.درنظرگرفتن ناوگان حمل‌ونقل اورژانس و محدودیت‌های مرتبط با آن در هنگام بحران از دیگر پیشنهادهایی است که به پژوهشگران توصیه می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

1. Ahmadi-Javid, A., Seyedi, P., & Syam, S. S. (2017). A survey of healthcare facility location. *Computers & Operations Research*, *79*, 223-263.
2. Ahmadzadeh, F., Mohammadi, N., & Babaie, M. (2019). Evaluation the Emergency Response Program of Emergency Operations Command Center of the Alborz University of Medical Sciences in Response to Kermanshah Earthquake in November 2017. *Health in Emergencies and Disasters*, *4*(3), 135-146.
3. Aydin, N. (2016). A stochastic mathematical model to locate field hospitals under disruption uncertainty for large-scale disaster preparedness. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA)*, *6*(2), 85-102.
4. Amiri, M., Khatami Firuozabadi, M. A., & Mobin, M. S. (2012). Emergency Medical Service Ambulance Allocation, on the Tehran-Qom Highway, using the Hypercube Queuing Model. *Journal of Industrial Management Perspective*, *2*(3, Autumn 2012), 45-70. (In Persian)
5. Alidost, F., Bahrami, F., & Safari. (2020). Multi-Objective Pharmaceutical Supply Chain Modeling in Disaster (Case Study: Earthquake Crisis in Tehran). *Journal of Industrial Management Perspective*, *3*(39, Autumn 2020), 99-123. (In Persian)
6. Beamon, B. M., & Kotleba, S. A. (2006). Inventory management support systems for emergency humanitarian relief operations in South Sudan. *The International Journal of Logistics Management*.
7. Farahani, R. Z., Hekmatfar, M., Fahimnia, B., & Kazemzadeh, N. (2014). Hierarchical facility location problem: Models, classifications, techniques, and applications. *Computers & Industrial Engineering*, *68*, 104-117.
8. Fereiduni, M., & Shahanaghi, K. (2017). A robust optimization model for distribution and evacuation in the disaster response phase. *Journal of Industrial Engineering International*, *13*(1), 117-141.
9. Ghasemi, P., Khalili-Damghani, K., Hafezalkotob, A., & Raissi, S. (2020). Stochastic optimization model for distribution and evacuation planning (A case study of Tehran earthquake). *Socio-Economic Planning Sciences*, *71*, 100745.
10. Gul, M., Fuat Guneri, A., & Gunal, M. M. (2020). Emergency department network under disaster conditions: The case of possible major Istanbul earthquake. *Journal of the Operational Research Society*, *71*(5), 733-747.
11. Galindo, G., & Batta, R. (2013). Prepositioning of supplies in preparation for a hurricane under potential destruction of prepositioned supplies. *Socio-Economic Planning Sciences*, *47*(1), 20-37.
12. Haojun, F., Jianqi, S., & Shike, H. (2011). Retrospective, analytical study of field first aid following the Wenchuan Earthquake in China. *Prehospital and disaster medicine*, *26*(2), 130.
13. Jia, H., Ordóñez, F., & Dessouky, M. (2007). A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies. *IIE transactions*, *39*(1), 41-55.
14. Kılcı, F., Kara, B. Y., & Bozkaya, B. (2015). Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey. *European journal of operational research*, *243*(1), 323-332.

15. Kohn, S., Eaton, J. L., Feroz, S., Bainbridge, A. A., Hoolachan, J., & Barnett, D. J. (2012). Personal disaster preparedness: an integrative review of the literature. *Disaster medicine and public health preparedness*, *6*(3), 217-231.
16. Karatas, M.,. & Yakıcı, E. (2019). An analysis of p-median location problem: effects of backup service level and demand assignment policy. *European Journal of Operational Research*, *272*(1), 207-218.
17. Kamali, A, Sajjadi, S.M., & July, F. (2018). Location of medical emergency bases with the help of a combination of optimization and simulation methods **(**Case study: Isfahan urban emergency stations) *Journal of Health Information Management, 15(2)*, 61 67. (In Persian)
18. Leiras, A., de Brito Jr, I., Peres, E. Q., Bertazzo, T. R., & Yoshizaki, H. T. Y. (2014). Literature review of humanitarian logistics research: trends and challenges. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*.
19. Liu, Y., Cui, N., & Zhang, J. (2019). Integrated temporary facility location and casualty allocation planning for post-disaster humanitarian medical service. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, *128*, 1-16.
20. Manopiniwes, W., & Irohara, T. (2017). Stochastic optimisation model for integrated decisions on relief supply chains: preparedness for disaster response. *International Journal of Production Research*, *55(4)*, 979-996.
21. Mete, H. O., & Zabinsky, Z. B. (2010). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *International Journal of Production Economics*, *126(1)*, 76-84.
22. Maleki Rastaghi, M., Barzinpour, F., & Pishvaee, M. S. (2018). A multi-objective hierarchical location-allocation model for the healthcare network design considering a referral system. *International Journal of Engineering*, *31(2)*, 365-373.
23. Makui, A., Ashouri, F., & Barzinpour, F. (2019). Assignment of injuries and medical supplies in urban crisis management. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, *6(3)*, 232-250.
24. Mahabadi, A., Ketabi, S., & Sajadi, S. M. (2014). Investigate the parameters which affect the patients waiting time in emergency department of orthopedic services in Ayatollah Kashani hospital with the lean management approach.
25. Mousazadeh, M., Torabi, S. A., Pishvaee, M. S., & Abolhassani, F. (2018). Health service network design: a robust possibilistic approach. *International transactions in operational research*, *25(1)*, 337-373.
26. Nikjoo, N., & Javadian, N. (2019). A Multi-Objective Robust Optimization Logistics Model in Times of Crisis under Uncertainty. *Journal of Industrial Management Perspective*, *8*(4, Winter 2019), 121-147. (In Persian).
27. Oksuz, M. K., & Satoglu, S. I. (2020). A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *44*, 101426.
28. Paul, J. A., & MacDonald, L. (2016). Location and capacity allocations decisions to mitigate the impacts of unexpected disasters. *European Journal of Operational Research*, *251(1)*, 252-263.
29. Pouraliakbari, M., Mohammadi, M., & Mirzazadeh, A. (2017). Location of heath care facilities in competitive and user choice environment. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, *10*(special issue on healthcare), 24-54.

30. Rebeeh, Y. A., Pokharel, S., Abdella, G. M., & Hammuda, A. S. (2019). Disaster management in industrial areas: Perspectives, challenges and future research. *Journal of Industrial Engineering and Management*, *12(1)*, 133-153.
31. Salman, F. S., & Gül, S. (2014). Deployment of field hospitals in mass casualty incidents. *Computers & industrial engineering*, *74*, 37-51.
32. Şahin, G., & Süral, H. (2007). A review of hierarchical facility location models. *Computers & Operations Research*, *34(8)*, 2310-2331.
33. Salehi, F., Mahootchi, M., & Husseini, S. M. M. (2019). Developing a robust stochastic model for designing a blood supply chain network in a crisis: a possible earthquake in Tehran. *Annals of Operations Research*, *283*(1), 679-703.
34. Sepehri, Z., Arabzad, S. M., & Sajadi, S. M. (2015). Analysing the performance of emergency department by simulation: the case of Sirjan Hospital. *International Journal of Services and Operations Management*, *20(3)*, 289-301.
35. Sajadi, S. M., Ghasemi, S., & Vahdani, H. (2016). Simulation optimisation for nurse scheduling in a hospital emergency department (case study: Shahid Beheshti Hospital). *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, *23(4)*, 405-419.
36. Salman, F. S., & Yücel, E. (2015). Emergency facility location under random network damage: Insights from the Istanbul case. *Computers & Operations Research*, *62*, 266-281.
37. Sharma, S. D., & Tatavarthy, S. R. (2019, September). Development of optimized solution for a generic disaster management problem through construction of responsive supply chain a review. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2148, No. 1, p. 030049). AIP Publishing LLC.
38. Shang, Q., Wang, T., & Li, J. (2020). Seismic resilience assessment of emergency departments based on the state tree method. *Structural Safety*, *85*, 101944.
39. Toro-Díaz, H., Mayorga, M. E., Chanta, S., & McLay, L. A. (2013). Joint location and dispatching decisions for emergency medical services. *Computers & Industrial Engineering*, *64(4)*, 917-928.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Designing a Hierarchical Network of Temporary Urban Medical Centers in a Disaster through a Hybrid Approach of Mathematical Model – Simulation

Sogol Mousavi[*], Seyed Mojtaba Sajadi[**], Akbar AlemTabriz[***], Seyed Esmaeil Najafi[****]

Abstract

The destructive impact of natural disasters emphasizes the importance of logistics and human resource planning in the pre- and post- disaster periods. In the event of a disaster, in order to provide immediate relief, the Health Hierarchical Network, which includes clinics and hospitals, will be activated. In this paper, using a mixed integer mathematical model and assuming the current location of hospitals and clinics, optimal locations are determined as temporary treatment emergency centers and the optimal allocation of casualties from urban areas to these centers and then clinics and hospitals are recommended in disaster. Using the simulation model, the moment of disaster and the rescue process were simulated and then the optimization approach was adopted based on simulating the optimal capacity of temporary centers and improving the capacity of current centers and hospitals. The results of the study show that the hierarchical model of location allocation of capacity optimization reduces the density of casualties, costs and treatment time in disaster.

Keywords: Disaster Management; Temporary Medical Centers; Simulation-based Optimization; Hierarchical Mathematical Model; Treatment Network Design.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Received: May. 24, 2020; Accepted: Sep. 8, 2020.

* Ph.D Student, Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University.
** Associate Professor, University of Tehran (Corresponding Author).
E-mail: msajadi@ut.ac.ir
*** Professor, Shahid Beheshti University.
**** Assistant Professor, Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University.