

# ارائه مدل ریاضی به منظور طراحی شبکه سلسله مراتبی تسهیلات اضطراری موقت در شرایط بحران

سوگل موسوی: دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران  
Email: msajadi@ut.ac.ir، تهران، ایران، دانشگاه تهران، تهران، ایران، msajadi@ut.ac.ir  
اکبر عالم تبریز: استاد، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
سید اسماعیل نجفی: استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۹

چکیده

طراحی تسهیلات سلامت از دیرباز یکی از مهم‌ترین موضوع‌های مورد توجه برنامه‌ریزان حوزه سلامت بوده است. در هنگام بحران به منظور امداد رسانی به مصدومان، شبکه سلامت شامل مجموعه‌ای از درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها فعالیت می‌کند. هدف این تحقیق تشکیل ساختاری سلسله مراتبی در راستای ارائه خدمت به مصدومان با افزودن مراکز اضطرار موقت درمان به شبکه مزبور، برای جلوگیری از هجوم و ازدحام مصدومان در دو سطح درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها است. در این مقاله از روش برنامه‌ریزی چند هدفی خطی آمیخته با اعداد صحیح استفاده شده است. برای حل مدل، نرم‌افزار بهینه‌ساز GAMS، به کار رفته است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که مدل سلسله مراتبی نسبت به مدل ساده، سبب کاهش ازدحام جمعیت در بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها در هنگام بحران می‌شود. در این مدل ضمن بهینه شدن هزینه ایجاد مراکز درمان اضطرار موقت، زمان و مسافت طی شده برای انتقال مصدومان کمینه شده است. با استفاده از مدل پیشنهادی بهترین مکان‌ها جهت تأسیس مراکز اضطرار درمان از بین نقاط منتخب و سپس نحوه تخصیص بهینه مصدومان به طور سلسله مراتبی از نواحی شهری به مراکز درمان اضطرار و از آنجا به درمانگاه‌ها و در نهایت به بیمارستان‌ها مشخص می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ساختار سلسله مراتبی، مراکز درمان اضطرار موقت، مدل‌سازی ریاضی، مدیریت بحران

## A Novel Mathematical Model for Designing of Hierarchical Temporary Emergency Facilities Network in Disaster Situation

Sogol Mousavi<sup>1</sup>, Seyed Mojtaba Sajadi<sup>\*2</sup>, Akbar Alem Tabriz<sup>3</sup>, Seyed Esmaeil Najafi<sup>4</sup>

Abstract:

Designing health facilities has long been one of the most important issues for health planners. During the disaster, the health network, which includes a set of clinics and hospitals, are activated to help the injured people. The purpose of this study is to add temporary emergency treatment centers to the network, in order to prevent the influx and overcrowding at the two levels of clinics and hospitals during the disaster and to create a hierarchical structure to serve the casualties. In this paper, a mixed linear integer programming with integers is used. Gams optimization software was used to solve the model. The results showed that the hierarchical model reduced the crowding in hospitals and clinics during disaster compared to the simple model. In this model, while optimizing the cost of setting up emergency treatment centers, the time and distance traveled for casualties are minimized. Using the proposed model of the best places to establish emergency treatment centers among the selected candidate points and then the optimal allocation of injuries is determined hierarchically from city areas to temporary emergency treatment centers, and from there to clinics and ultimately to hospitals.

**Keywords:** Hierarchical Structure, Temporary Emergency Treatment Centers, Mathematical Modeling, Disaster Management

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>2\*</sup>New Business Department, Faculty of Entrepreneurship, University of Tehran, Tehran, Iran, msajadi@ut.ac.ir

<sup>3</sup>Department of Industrial Management, Management and Accounting Faculty, Shahid Beheshti University G.C., Tehran, Iran

<sup>4</sup>Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

۸۵

شماره بیستم

پاییز زمستان  
۱۴۰۰

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



## مقدمه

بحران‌های ناشی از بلایای طبیعی یکی از موانع اصلی توسعه پایدار است. عدم آمادگی و مقابله مناسب کشورها در این رابطه تلفات و خسارات سنگینی را به ملت‌ها و دارائی‌های آن‌ها وارد نموده که گاهی جبران‌ناپذیر است. مدیریت بحران، بر چهار رکن اساسی پیشگیری، آمادگی، مقابله و بازسازی استوار است. عملیات مربوط به دو فاز پیشگیری و آماده‌سازی قبل از وقوع حادثه انجام می‌شوند که هدف آن جلوگیری از پیشروی اثرات نامطلوب حادثه است. زمانی که بحران رخ می‌دهد دو فاز مقابله و بازسازی به مرحله اجرا درمی‌آیند. جهت برنامه‌ریزی مناسب برای مقابله با بحران، نیاز به طراحی مناسبی از یک شبکه سلامت خواهیم داشت. در زمینه طراحی شبکه تسهیلات سلامت مفاهیمی مانند تعیین مکان بهینه، تخصیص آن تسهیلات به مناطق جمعیتی، ظرفیت هرکدام، برنامه‌ریزی منابع انسانی مورد نیاز در هر یک از تسهیلات فعال شده و سایر موارد از جمله مهم‌ترین مفاهیمی هستند که استفاده از آن‌ها افزایش قابلیت اطمینان شبکه سلامت، کاهش هزینه‌های سیستم، افزایش رضایتمندی مصدومان و نیروهای انسانی موجود، جلوگیری از احداث تسهیلات در مکان‌های نامناسب، بهره‌گیری کامل از تمام ظرفیت و اهدافی دیگر را به همراه خواهد داشت و استفاده از آن‌ها کمک بسزایی در یک برنامه‌ریزی شبکه سلامت به منظور کاهش اثر بحران با کمترین تلفات جانی خواهد داشت [۱].

هدف اصلی سیستم خدمات اضطراری ارائه پاسخی به موقعیت‌های اضطراری است. مدل‌های طراحی شده برای حل مشکلات مکان‌یابی مربوط به این سیستم‌ها، زمان و مسافت لازم برای برآورده شدن درخواست خدمات اضطرار بین نقاط تقاضا، بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها را به حداقل می‌رساند [۲]. در موارد اضطراری، اگر نزدیک‌ترین مرکز درمان موقت در زمان بروز حادثه مشغول ارائه خدمت باشد، مصدومان خدمات فوری دریافت نمی‌کنند. 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 [۳].

بخش مهمی از ادبیات موضوع در مدیریت عملیات امدادی مربوط به تعریف بحران‌های شهری است. از این رو مکان‌یابی مراکز ارائه خدمات درمانی و بیمارستانی و تخصیص آن‌ها به متقاضیان، یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی برنامه ریزان شهری است. دلایل چرایی انجام این تحقیق به صورت خلاصه عبارت‌اند از:

- بحران‌های زیادی به خصوص زلزله کشور را تهدید می‌کند.
- زیرساخت‌های شهری کشور مناسب نیست. در هنگام بروز حادثه، به علت زیرساخت‌های نامناسب شهری مانند راه‌های دسترسی، واقع شدن ساختمان‌ها در مناطق زلزله خیز، عدم توجه به اندازه نامناسب خیابان‌ها و کوچه‌ها، رسیدگی به موقع به مصدومان دشوار است.
- ناهمگونی توزیع مراکز درمانی و جمعیت در شهرها از دیگر عوامل نیاز به مراکز اضطرار درمان است. تعداد مراکز درمانی

در بعضی از نقاط بیشتر از قسمت‌های دیگر و نامتناسب با پراکندگی جمعیت شهری است.

- ظرفیت مراکز درمان محدود است و در زمان بروز حادثه تعداد زیادی از مصدومان به مراکز درمان منتقل می‌شود که خود باعث اختلال در نوع رسیدگی به مصدومان با اولویت بالاتر خواهد بود.
- بنابراین در هنگام بروز حادثه، ستاد بحران نیازمند آن است که به صورت متمرکز مدیریت عملیات امداد و نجات را بر عهده گیرد و بتواند عکس‌العمل سریع‌تری را نشان دهد. در نتیجه به‌طور کلی نیازمند دو راهکار است: (الف) ایجاد مراکز جدید جهت غربالگری که مصدومان قبل از اعزام به مراکز درمانی، از این‌رو در این مقاله به مکان‌یابی این مراکز پرداخته می‌شود. (ب) نحوه تخصیص مصدومان به صورت سلسله مراتبی مشخص شود. به عبارتی پوشش نواحی شهری توسط مراکز اضطرار موقت مربوطه تعیین شود و پس از درمان و غربالگری اولیه، مصدومانی که نیازمند دریافت خدمات بیشتری هستند به درمانگاه‌ها و یا بیمارستان‌ها به صورت بهینه منتقل شوند.

مطالعه و بررسی تحقیقات و پژوهش‌های قبلی صورت گرفته در زمینه مراکز اضطرار موقت درمان در هنگام بحران و موضوعات مشابه نشان می‌دهد که معیارهای اصلی و رایج در بیشترین ادبیات موضوع، امداد رسانی در زنجیره تأمین مواد به آسیب دیدگان است؛ بنابراین تمایز این تحقیق نسبت به تحقیقات دیگر، تمرکز بر احداث مراکز اضطرار موقت درمان به صورت سلسله مراتبی و استفاده از نقاط پوشش چندگانه برای درمان افراد حادثه دیده است.

## پیشینه تحقیق

در ادامه، مرور مقالاتی مورد بررسی قرار گرفته است که به بررسی طراحی شبکه سلامت اضطرار درمان و مکان‌یابی سیستم‌های اضطرار در زمان قبل و پس از بحران پرداخته‌اند.

در مطالعه گندرو و همکاران، آرایش مجدد مکان تسهیلات اورژانسی در زمان دلخواه بررسی شده است [۳]. ترو-دیاز و همکاران مدلی را پیشنهاد دادند که تصمیمات مکان‌یابی و اعزام را باهم ترکیب می‌کند. در این مدل ریاضی، مکان‌یابی و تخصیص به صورت هم‌زمان انجام شده و ویژگی‌هایی مانند سیستم صف و پدیده ازدحام در نظر گرفته شده است [۴]. ساهین و سورال مروری بر مدل‌های مکان‌یابی سلسله مراتبی تسهیلات داشتند [۵]. فراهانی و همکاران مدلی را با در نظر گرفتن احتمال خرابی تسهیلات توسعه دادند که در آن یک سلسله‌مراتب تسهیلات به‌منظور پیشینه‌سازی کل تقاضای تحت پوشش مکان‌یابی شده‌اند [۵]. در پژوهشی که توسط پائول و همکاران انجام شد، فرآیندی سلسله مراتبی چند هدف برای مسئله مکان‌یابی بیشترین پوشش جمعیت در یک فاز پاسخ بررسی شده است، درحالی‌که تغییرات در ساختار موجود را به کمترین می‌رساند [۶]. پور علی‌اکبری و همکاران یک مدل مکان‌یابی برای مراکز بهداشتی

انتخاب کرده‌اند. در مدل پیشنهادی آن‌ها، فضا به صورت گسسته و هر بیمارستان شامل بخش‌های پایین و سطوح بالا بود. یک ساختار سلسله مراتبی نیز برای نشان دادن مراجعه بیماران از یک سرور سطح پایین به یک سرور سطح بالا استفاده شده است [۷]. موسی زاده و همکاران، یک مدل ریاضی غیرخطی عدد صحیح دو هدف مختلط را برای یک مسئله طراحی شبکه خدمات بهداشتی سه سطحی سلسله مراتبی ارائه دادند که هدف این مدل، کمینه کردن هزینه کل استقرار و فاصله کلی وزن بین مناطق بیمار و مراکز بهداشتی است [۸].

یک مدل بهینه‌ساز سه هدف برای برنامه‌ریزی پیش از بحران توسط محمدی و جولای انجام شده است. هدف اول بشینه‌سازی مقدار مورد انتظار تقاضای پوشش داده شده، هدف دوم حداقل کردن هزینه‌های کل و هدف سوم کمینه‌سازی اختلاف نرخ پاسخ‌دهی به گره‌ها است [۹]. در تحقیق رضایی و توکلی مقدم، یک مدل ریاضی تصادفی دومرحله‌ای، غیرخطی و یکپارچه را برای پیشگیری در مدیریت بلایا ارائه شد. این مدل، امکان استفاده از مجموعه مسیرهای جایگزین برای هر یک از روش‌های حمل‌ونقل کاربردی را در نظر می‌گیرد [۱۰]. مقاله‌ای توسط مانوپینی و همکاران، به مدل‌سازی ریاضی در جهت بیشینه‌سازی پاسخگویی در فاز پیش و پس از بحران پرداخت که در فاز پیش از بحران در قسمت مکان‌یابی متمرکز شد و در فاز پس از بحران در فاز بهینه‌سازی اقلام مورد نیاز مشخص گردید [۱۱]. کاراتاس و همکاران، تأثیر تسهیلات پشتیبان را مورد بررسی قرار دادند که در آن سیاست‌های مختلف تخصیص تقاضا ارائه و بهترین مکان پشتیبان جهت خدمت‌دهی به مصدومان با توجه به سطوح مختلف سرویس با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی انتخاب شدند [۱۲].

لئو و همکاران با استفاده از حداکثر تعداد بقای مورد انتظار و به حداقل رساندن کل هزینه عملیاتی در استفاده از آمبولانس‌ها و بالگردها، یک مدل ریاضی دو هدف را برای تعیین مکان‌های مطلوب سرویس موقت پزشکی و برنامه تخصیص خدمات پزشکی معرفی کردند [۱۳]. معماری و همکاران مطالعه‌ای با هدف تعیین برخی مراکز اضطرار موقت در سراسر منطقه با پوشش بیشینه پس از بحران انجام داده‌اند. برای این منظور، یک مدل پویا و دو منظوره مکان‌یابی-تخصیص و مسیریابی-تخصیص آمبولانس‌ها ارائه شده است. تابع هدف اول هزینه‌های عملیاتی مربوط به خدمات فوریت‌های پزشکی و میزان تلفات انسانی را کاهش می‌دهد. تابع هدف دوم زمان رسیدن آسیب دیدگان به این مراکز را به حداقل می‌رساند [۱۴].

چن و همکاران در مقاله‌ای با هدف طرح‌ریزی زمان‌بندی اورژانس عملیات نجات در بلایای طبیعی، یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی برای اورژانس بر اساس انبارهای متعدد و مکان‌های آسیب‌دیده طراحی کردند. در سطح اول توزیع و در سطح دوم مسیر مناسب در نظر گرفته می‌شود. پس از آن، یک الگوریتم کلونی زنبور عاملی بهبودیافته برای حل مسئله ارائه شده است [۱۵]. در مطالعه قاسمی و همکاران، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح

مختلط تصادفی، با استفاده از رویکرد برنامه‌نویسی محدودیت شانس برای توزیع لجستیک و برنامه‌ریزی تخلیه در هنگام وقوع زلزله برای قبل و بعد از بحران پیشنهاد شده است.

خواسته‌های تصادفی به‌عنوان ورودی برای مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط تصادفی پیشنهاد شده است [۱۶]. یک الگوی دومرحله‌ای برای اختصاص افراد آسیب‌دیده و تجهیزات پزشکی به مراکز درمانی توسط ماکویی و همکاران انجام شده است. در مرحله اول، یک مدل ریاضی چند هدف جهت تخصیص افراد به مراکز و در مرحله دوم، اختصاص منابع پزشکی از نقاط عرضه به مراکز درمانی اختصاص صورت گرفت [۱۷]. آکسوز و ساتوگلو در مقاله‌ای، با هدف تعیین موقعیت و تعداد مراکز درمانی موقت یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله‌ای تهیه کردند که هزینه کل مراکز پزشکی موقت و هزینه حمل‌ونقل را به کمترین می‌رساند [۱۸]. چالشی اساسی برای یافتن مراکز توزیع در پی بروز بحران در تعادل بین محدودیت‌های زمانی و منابع است. برای رفع این مشکل، بهارمند و همکاران یک مدل مکان‌یابی-تخصیص ارائه دادند که توپوگرافی مناطق آسیب‌دیده را به چندلایه تقسیم می‌کند. این مدل با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و متناسب با روند کار بشردوستانه است. استفاده از مدل پیشنهادی کاهش هزینه‌های لجستیک تا ۸ درصد بود که می‌تواند در دستیابی به ذینفعان بیشتر و به‌طور بالقوه نجات جان بیشتر افراد کمک کند [۱۹].

مدل‌سازی‌هایی جهت بهبود عملکرد اورژانس‌ها در شرایط متفاوت و عادی توسط محققان صورت گرفته است که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود. طولانی شدن فرایند درمان می‌تواند سبب شود که بیماران سیستم را قبل از اتمام درمان و با رضایت شخصی ترک نمایند. لذا شوندی و همکاران در مقاله خود با مدل‌سازی و زمان‌سنجی خدمات یک مرکز اورژانس و همچنین با در نظر گرفتن سناریوهایی که وجود منابع اضافی را با کمترین هزینه‌ها در نظر می‌گیرد، باعث بهبود فرایند درمان، جلوگیری از ایجاد صفوف طولانی و کاهش ترخیص بیماران با رضایت شخصی آن‌ها شده است [۲۰]. ملکی و همکاران در مقاله‌ای، جریان بهبودیافته فرایند درمان، برای ارائه طراحی مناسبی از فضا، منابع و هزینه‌ها را در بخش اورژانس انجام دادند. این مدل نسبت به مدل قبلی اورژانس سبب طبقه‌بندی مناسب جریان کار و بهبود شاخص‌های عملکردی در اورژانس می‌شود. هم‌چنین با تغییر تعداد منابع و تخت‌ها به‌طور مناسب می‌توان ارائه خدمات به بیماران و نارضایتی‌های آن‌ها را بهبود بخشید [۲۱]. سپهری و همکاران در مقاله‌ای، با استفاده از یک مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی با افزودن دو پرستار در بخش‌های پذیرش و تریاژ، زمان انتظار بیماران را کاهش و کیفیت بهبود را افزایش دادند [۲۲]. در مطالعه شانگ و همکاران، یک چارچوب ارزیابی جهت تعداد بهینه بخش‌های اورژانس در شرایط عملیاتی عادی بر اساس روش درخت حالت پیشنهاد شد [۲۳]. تحقیق مهابادی و همکاران با هدف بررسی پارامترهای مؤثر بر انتظار بیماران در بخش اورژانس خدمات ارتوپدی بخش اورژانس یک بیمارستان انجام شد.

جدول ۱. خلاصه ادبیات موضوع

ردیف	مؤلف	روش حل		محیط مسئله	نوع تابع هدف	تعداد تابع هدف	مرحله مورد بررسی	نوع مدل	خروجی
		غیر دقیق	دقیق						
				قطعی					
				غیر قطعی					
				خطی					
				غیر خطی					
				برنامه ریزی تصادفی					
				استوار					
				بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی					
				اینکاری					
				فرا اینکاری					
۱	پانول (۲۰۱۶)	✓		✓	✓	✓	✓	✓	طراحی شبکه
۲	مانوینی (۲۰۱۷)	✓		✓	✓	✓	✓	✓	موجودی
۳	پورعلی‌آکبری (۲۰۱۷)	✓		✓	✓	✓	✓	✓	تخصیص
۴	موسی‌زاده (۲۰۱۸)			✓	✓	✓	✓	✓	مکان‌یابی
۵	کارائاس (۲۰۱۸)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	سلسله مراتبی
۶	اکسوز (۲۰۲۰)	✓		✓	✓	✓	✓	✓	ساده
۷	محقق (۲۰۲۰)	✓		✓	✓	✓	✓	✓	پاراسازی

مورد بررسی قرار گرفته است؛ بنابراین بحث هم‌زمانی مکان‌یابی و تخصیص در مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی آمیخته با هدف بیشترین پوشش دهی، کمترین هزینه و زمان، از نوآوری‌های تحقیق به شمار می‌آید که سعی در پر کردن شکاف تحقیق دارد.

در این پژوهش، مدلی چهار سطحی برای طراحی شبکه تسهیلات سلامت ارائه شده است. طراحی شبکه شامل مکان‌یابی مراکز درمان اضطرار، تخصیص آسیب دیدگان هر ناحیه شهری به این مراکز و سپس اعزام به سطح سوم (کلینیک‌ها) و در نهایت سطح چهارم (بیمارستان‌ها) به صورت سلسله مراتبی است. در مدل پیشنهادی، تابعی سه هدف ارائه شده است. تابع هدف اول مجموع هزینه‌های انتقال مصدومان و تابع هدف دوم مجموع هزینه‌های تأسیس تسهیلات اضطراری موقت را کمترین می‌کند و تابع هدف سوم میزان پاسخ‌دهی به مصدومان (کاهش زمان اعزام) را بیشترین می‌کند. جهت حل مدل نیز از روش وزن دهی استفاده شده است. مدل ریاضی برای داده‌های مشخص شده اجرا و در نهایت نتایج تحلیل حساسیت‌های مختلف گزارش شده است. ساختار مقاله در ادامه به این صورت است: در بخش سوم جزئیات مسئله پیشنهادی شرح داده شده است. در بخش چهارم مدل ریاضی مسئله و در بخش پنجم روش حل و نتایج محاسباتی آورده شده است. در نهایت در بخش ششم و هفتم نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی بیان شده است.

### تشریح مسئله

مسئله مورد بررسی در این مقاله، تعیین مکان‌های بهینه در بحران زلزله جهت تأسیس مراکز درمان اضطرار موقت با رویکرد کاهش هزینه و بیشترین پوشش دهی است. در هنگام زلزله، هجوم مصدومان به بیمارستان‌ها و کلینیک‌ها به طور غیرمنتظره‌ای افزایش می‌یابد و به علت فشار جمعیت ناگهانی

به منظور ایجاد یک مدل شبیه‌سازی، داده‌های مورد نیاز بیماران در یک دوره زمانی برای خدمات ارتوپدی جمع‌آوری شده است [۲۴].

در ادامه نیز به برخی از مقالات مروری مکان‌یابی در شرایط بحران پرداخته می‌شود. احمدزاده و همکاران، در پاسخ ستاد فرماندهی عملیات دانشگاه علوم پزشکی البرز در مورد زلزله کرمانشاه در نوامبر ۲۰۱۷ مقاله‌ای مروری نوشتند [۲۵]. شام و تاتاواری در مقاله مروری خود الگوی مناسبی برای سیستم امداد رسانی در برابر حوادث ارائه کردند که می‌تواند به عنوان یک برنامه مؤثر برای کمک به قربانیان منطقه آسیب‌دیده با حداقل زمان پاسخگویی استفاده شود [۲۶]. پوخار و همکاران در مقاله‌ای مروری به تئوری و عملکرد مدیریت بحران در شهرهای صنعتی پرداختند. این تحقیق در کلیه مراحل مدیریت بحران و بر چهار موضوع اصلی تسهیلات، منابع، سیستم‌های پشتیبانی و مدل‌سازی متمرکز شده است [۲۷]. صابریان و همکاران در مقاله مروری خود برخی از اطلاعات و یافته‌های سه زمین‌لرزه در ایران از جمله زمین‌لرزه‌های بم، ورزقان، سرپل ذهاب را بررسی و اقدامات انجام شده توسط خدمات فوریت‌های پزشکی برای آن‌ها را نیز با یکدیگر مقایسه نمودند [۲۸]. در جدول ۱ خلاصه تحقیقاتی ارائه شده است که نزدیک‌ترین ارتباط را با مقاله فعلی دارد.

جهت تلخیص و جمع‌بندی پیشینه تحقیق، با توجه به ادبیات موضوع و شکاف موجود در تحقیقات گذشته، به طراحی هم‌زمان شبکه تسهیلات مقابله با بحران به صورت سلسله مراتبی با رویکرد تسهیلات پشتیبان و تخصیص مصدومان پرداخته شده است. در مقالات، بیشتر به صورت انفرادی و تنها یکی از جنبه‌های مکان‌یابی، مسیریابی، آرایش مجدد مکان تسهیلات، خرابی تسهیلات، کاهش اختلال نرخ پاسخ‌دهی، تعیین مسیرهای جایگزین انتقال بیماران، تخصیص بهینه اقلام مورد نیاز بحران، مقایسه و ارزیابی اقدامات پس از بحران و توزیع منابع پزشکی

عملکرد خدمت‌رسانی به افراد، برنامه‌ریزی نشده است. از این رو در این مقاله، سعی بر آن است شبکه‌ای طراحی شود که در آن مراکز اضطراب درمان موقت به سیستم سلامت سه سطحی بیمارستان و کلینیک و نواحی شهری به‌گونه‌ای افزوده شود که مصدومان در ابتدا به این مراکز ارجاع و سپس با توجه به نوع جراحات و شدت صدمات آن‌ها به کلینیک‌ها و در نهایت به بیمارستان‌ها منتقل شوند. بدین ترتیب ساختار سلسله مراتبی چهار سطحی (نواحی شهری، مراکز اضطراب درمان، کلینیک‌ها، بیمارستان‌ها) برای پاسخ‌دهی به مصدومان تشکیل می‌شود. از طرفی امدادگران اعزامی از شهرها و کشورها دیگر جهت کمک‌رسانی به مصدومان در هنگام بحران می‌توانند به راحتی با این طرح در مراکز اضطراب موقت درمان مستقر شوند. همچنین جهت احداث مراکز درمان اضطراب موقت، نقاط بالقوه از جمله میدان‌ها، ورزشگاه‌ها و مدارس قابلیت تبدیل شدن به این مکان‌ها با کمترین هزینه را خواهند داشت. در مدل ریاضی پیشنهادی، بهترین مکان برای تأسیس این مراکز از بین نقاط بالقوه مشخص شده و تخصیص مصدومان از نواحی شهری متعدد به این مراکز، مورد بررسی قرار گرفته است. هدف آن است که ضمن کاهش زمان و مسافت طی شده برای انتقال مصدومان، هزینه تأسیس این مراکز کمینه شود. در صورت خرابی یک مرکز اضطراب درمان، نقاط بهینه پشتیبان برای آن مرکز تعیین می‌شود. همچنین در مدل‌سازی ریاضی پارامترهای طبقه‌بندی شدت جراحات مصدومان، شدت حادثه، ضریب زیرساخت شهری، کیفیت ساخت و پراکندگی جمعیت هر ناحیه در نظر گرفته شده است. با توجه به ادبیات موضوع و شکاف موجود در تحقیقات گذشته، ایجاد مراکز اضطراب موقت درمان به منظور تعیین محل استقرار گروه‌های امداد نجات و همچنین طراحی شبکه مقابله با بحران، به صورت چهار سطحی با رویکرد تسهیلات پشتیبان از نوآوری‌های این مقاله است. توسعه مدل ریاضی، برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی آمیخته با هدف بیشترین پوشش دهی، حداقل هزینه، زمان و مسافت نوآوری دیگر تحقیق به شمار می‌آید.

### مدل‌سازی ریاضی

مدل ریاضی با اندیس‌ها، پارامترها، متغیرهای تصمیم‌گیری، محدودیت‌ها و توابع هدف در ادامه توضیح داده شده است.

#### ۳-۱- اندیس‌ها

i: نواحی شهری (zone)

e: مراکز درمان اضطراب موقت (نقاط منتخب)

c: کلینیک‌ها و درمانگاه‌ها

h: بیمارستان‌ها

l: گروه‌بندی شدت جراحات

#### ۳-۲- پارامترها

$d_{ch}$ : فاصله بین کلینیک c و بیمارستان h ام

$d_{ec}$ : فاصله بین مراکز اضطراب درمان e ام و کلینیک c ام

$d_{ie}$ : فاصله بین مرکز ناحیه شهری i ام و مراکز اضطراب e ام

$t_{ch}$ : زمان انتقال مصدوم از کلینیک c ام به بیمارستان h ام

$t_{ec}$ : زمان انتقال مصدوم از مراکز اضطراب e ام به کلینیک c ام

$t_{ie}$ : زمان انتقال مصدوم از مراکز منطقه i ام به مراکز اضطراب e ام

$\cos t_e$ : هزینه‌ی ثابت فعال‌سازی مراکز اضطراب درمان e ام

budget: بودجه ایجاد مراکز اضطراب درمان

$P_i$ : جمعیت مصدومان ناحیه شهری i ام

$a_i$ : ضریب آسیب زیرساخت‌های ناحیه شهری i ام

r: ضریب شدت حادثه

$s_i$ : ضریب کیفیت ساخت ناحیه‌ی شهری i ام

ESI<sub>il</sub>: درصد شدت جراحات وارده سطح l ام در ناحیه‌ی شهری i ام

p<sub>il</sub>: تعداد افراد آسیب‌دیده ناحیه شهری i ام با شدت جراحات سطح l ام

cap<sub>h</sub>: ظرفیت پذیرش بیمارستان h ام

cap<sub>e</sub>: ظرفیت پذیرش مراکز اضطراب درمان e ام

cap<sub>c</sub>: ظرفیت پذیرش کلینیک c ام

M: یک عدد بزرگ

$\beta_c$ : درصد مصدومانی ارجاعی به کلینیک c و نیازمند خدمات بیشتر در سطح بیمارستان‌ها

$\beta_e$ : درصد مصدومانی ارجاعی به مراکز اضطراب درمان و نیازمند خدمات بیشتر در سطح کلینیک‌ها

تعداد افراد آسیب‌دیده ناحیه شهری i ام با شدت جراحات سطح l ام که تحت شدت حادثه T واقع شده‌اند، با توجه به ضریب آسیب زیرساخت‌ها ( $a_i$ ) و ضریب کیفیت ساخت ناحیه شهری i ام

( $s_i$ ) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$p_{il} = p_i \times a_i \times r \times (1 - s_i) \times ESI_{il} \quad (1) \text{ رابطه}$$

$$0 \leq s_i \leq 1 \quad 0 \leq a_i \leq 1 \quad 0 \leq r \leq 1$$

#### ۳-۳- متغیرهای تصمیم

$a_e$ : اگر مرکز اضطرابی e ام فعال شود، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

اگر مصدومان ناحیه شهری i ام با شدت جراحات l ام در طی فرایند درمان خود ابتدا به مراکز اضطرابی e ام و سپس به کلینیک c ام و پس از آن به بیمارستان h ام منتقل شوند، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

$x_{ilech}$

اگر مصدومان ناحیه شهری  $i$  ام با شدت جراحات  $l$  ام در طی فرایند درمان خود به مرکز اضطراری  $e$  ام منتقل شود، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

$$x_{ile}$$

اگر مصدومان ناحیه شهری  $i$  ام با شدت جراحات  $l$  ام در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز اضطراری  $e$  ام و سپس به کلینیک  $c$  ام منتقل شود، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

$$x_{ilec}$$

تعداد مصدومان ناحیه شهری  $i$  ام با شدت جراحات  $l$  ام در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز اضطراری  $e$  ام و سپس به کلینیک  $c$  ام منتقل شود، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

$$y_{ile}$$

تعداد مصدومان ناحیه شهری  $i$  ام با شدت جراحات  $l$  ام که در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز اضطراری  $e$  ام و سپس به کلینیک  $c$  ام منتقل می‌شوند.

$$y_{ilec}$$

تعداد مصدومان ناحیه شهری  $i$  ام با شدت جراحات  $l$  ام که در طی فرایند درمان خود ابتدا به مرکز اضطراری  $e$  ام و به کلینیک  $c$  ام و سپس به بیمارستان  $h$  ام منتقل می‌شوند.

$$y_{ilech}$$

تعداد مصدومان از ناحیه شهری  $i$  ام با شدت جراحات  $l$  ام به مرکز اضطراری  $e$  ام مراجعه کرده‌اند و خواستار خدمات در سطح کلینیک‌ها هستند.

$$D_{ile}$$

تعداد مصدومان از ناحیه شهری  $i$  ام با شدت جراحات  $l$  ام به مرکز اضطراری  $e$  ام و سپس به کلینیک  $c$  ام مراجعه کرده‌اند و خواستار خدمات در سطح بیمارستان‌ها هستند.

$$D_{ilec}$$

### ۳-۴- تابع هدف و محدودیت‌ها

رابطه (۲)

$$\text{Min } Z_1 = \left[ \sum_i \sum_e \sum_c \sum_h \sum_l dCtoH_{ch} \times y_{ilech} + \sum_i \sum_e \sum_c \sum_l dEtoC_{ec} \times y_{ilec} + \sum_i \sum_e \sum_l dCPTtoE_{ie} \times y_{ile} \right]$$

$$\text{Min } Z_2 = [\text{fix cost } E_e \times a_e]$$

$$\text{Min } Z_3 = \left[ \sum_i \sum_e \sum_c \sum_h \sum_l tCH_{ch} \times y_{ilech} + \sum_i \sum_e \sum_c \sum_l tEC_{ec} \times y_{ilec} + \sum_i \sum_e \sum_l tIE_{ie} \times y_{ile} \right]$$

در رابطه (۲) توابع هدف مسئله تعریف شده است. تابع اول، مجموع هزینه‌های انتقال مصدومان به بیمارستان‌ها، کلینیک‌های درمانی و مراکز اضطرار درمان را محاسبه می‌کند. عبارت دوم، میزان هزینه تحمیل شده برای فعال‌سازی مراکز اضطرار درمان بوده و تابع هدف سوم مجموع زمان انتقال مصدومان به مراکز اضطرار موقت درمان، کلینیک‌ها و بیمارستان‌ها است.

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

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

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

رابطه (۴) بیانگر این مفهوم است که از میان افرادی که به مراکز اضطرار درمان مراجعه می‌نمایند، درصدی از آن‌ها متقاضی دریافت خدمات بیشتر در لایه بالایی یا همان کلینیک‌ها هستند که به تناسب آن، متغیر  $D_{ile}$  بر اساس محاسبات به دست آمده است؛ بنابراین  $(1 - \beta_e)$  درصدی از آسیب دیدگان در مرکز اضطرار درمان شده و به کلینیک‌ها و درمانگاه‌ها منتقل نمی‌شوند.

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

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

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

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

$$\sum_h y_{ilech} = D_{iec}, \quad \forall i, l, e, c \quad \text{رابطه (۷)}$$

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

$$y_{ile} \leq M \times x_{ile}, \quad \forall i, l, e \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$y_{ile} \geq x_{ile}, \quad \forall i, l, e \quad \text{رابطه (۹)}$$

رابطه (۸) و (۹) به جهت برقراری رابطه بین متغیر مثبت  $y_{ile}$  و متغیر صفر و یک  $x_{ile}$  تعریف شده است. به نوعی که هرگاه متغیر مثبت  $y_{ile}$  مقدار بگیرد، متغیر  $x_{ile}$  مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

$$y_{ilec} \leq M \times x_{ilec}, \quad \forall i, l, e, c \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$y_{ilec} \geq x_{ilec}, \quad \forall i, l, e, c \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

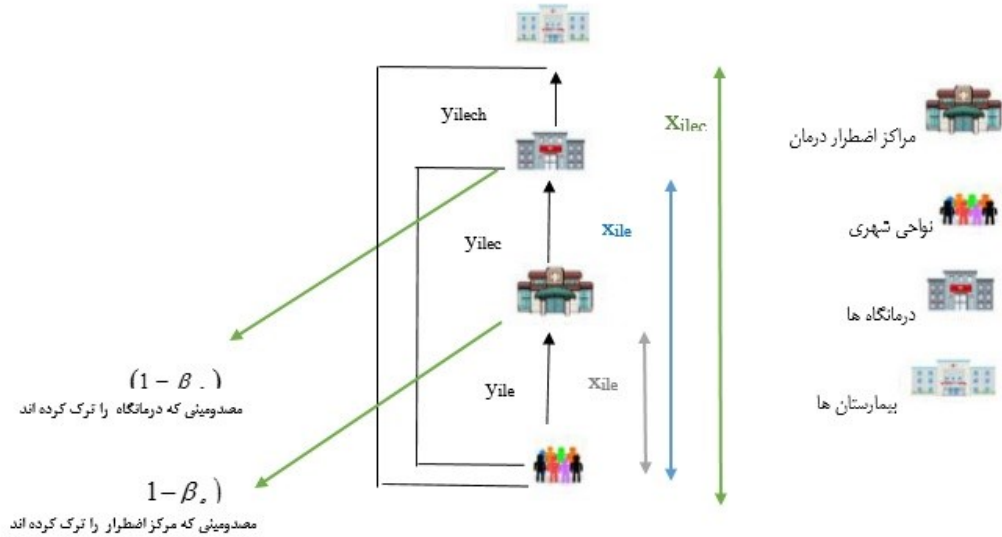
$$y_{ilech} \leq M \times x_{ilech}, \quad \forall i, l, e, c, h \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$y_{ilech} \geq x_{ilech}, \quad \forall i, l, e, c, h \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

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

$$x_{i,l,e,c} \leq x_{i,l,e}, \quad \forall i, l, e, c \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

رابطه (۱۴) دو متغیر یک  $(x_{ile})$  و  $(x_{ilec})$  را به هم پیوند می‌دهد تا از این رو ساختار تخصیص سلسله مراتبی مسئله حفظ شود.



شکل ۱. ساختار سلسله مراتبی سیستم سلامت

در شکل زیر ساختار سلسله مراتبی سیستم درمان مطابق با متغیرهای موجود در مدل رسم شده است.

### حل یک مسئله عددی

به منظور ارزیابی و تحلیل مدل ریاضی پیشنهادی، فرایند استقرار مراکز اضطرار درمان و تخصیص سلسله مراتبی مصدومان به سطوح بالاتر (درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها) در قالب یک مثال عددی مدل‌سازی شده است. در جدول ۱ که نشان‌دهنده این مسئله است، ۳۰ ناحیه شهری، ۸ مرکز کاندید ایجاد مراکز اضطرار درمان، ۴ درمانگاه و در نهایت ۲ بیمارستان در نظر گرفته شده است. نواحی شهری به ۳ منطقه شمالی، مرکزی و جنوبی تقسیم می‌شوند. تراکم جمعیت با نزدیک شدن به نواحی جنوبی بیشتر می‌شود (۲۰ هزار نفر در منطق شمالی، ۴۰ هزار نفر در مناطق مرکزی و ۶۰ هزار نفر در مناطق جنوبی). کیفیت ساخت از مناطق شمالی شهر به سمت مناطق جنوبی کاهش یافته است. ضریب آسیب زیرساخت‌های ناحیه شهری واقع شده بر روی گسل‌ها، در مناطق شمالی به نسبت جنوبی بدتر است. شدت حادثه برای تمام مناطق شهری یکسان فرض شده است. اطلاعات مسئله به صورت خلاصه در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۳ نشان‌دهنده درصد شدت جراحات (شاخص ESI) است. در مسئله مورد مطالعه چنین فرض شده است که ۱۰ درصد افراد دچار شدت جراحات خیلی بالا و ۲۰ درصد دچار شدت

$$x_{ilech} \leq x_{ilec}, \forall i, l, e, c, h \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

رابطه (۱۵) نیز مانند رابطه (۱۴) عمل می‌کند.

$$x_{ile} \leq a_e, \forall i, l, e \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

رابطه (۱۶) بیانگر آن است که هرگاه متغیر  $x_{pile}$  مقدار بگیرد، قبل از آن باید آن مرکز فعال شده باشد و هزینه فعال‌سازی آن در تابع هدف لحاظ شده باشد.

$$\sum_i \sum_e \sum_c \sum_l y_{iechl} \leq cap_h \quad \forall h \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$\sum_i \sum_e \sum_l y_{iecl} \leq cap_c \quad \forall c \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$\sum_i \sum_e \sum_c \sum_l y_{ile} \leq cap_e \quad \forall e \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

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

$$y_{il}, y_{iecl}, y_{iechl}, D_{iec}, D_{ile} \geq 0 \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

$$x_{ile}, x_{ilec}, x_{ilech}, a_e \in \{0, 1\} \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

روابط (۲۰) و (۲۱) نوع متغیرها را نشان می‌دهد.

جدول ۲. جمعیت مناطق شهری

تعداد نقاط کاندید مراکز درمان اضطرار موقت	تعداد درمانگاه‌ها	تعداد بیمارستان‌ها	ضریب آسیب زیرساخت شهری	تعداد محله	جمعیت شهری	نواحی شهری
۲	۲	۱	۰/۱۰	۱۲	۲۰,۰۰۰	شمالی
۴	۱	۱	۰/۰۴	۱۲	۴۰,۰۰۰	مرکزی
۲	۱	۰	۰/۰۸	۶	۶۰,۰۰۰	جنوبی
۸	۴	۳	-	۳۰	۱۲۰,۰۰۰	مجموع

جدول ۳. درصد شاخص شدت جراحات‌ها

شاخص شدت جراحات‌ها (ESI)	شدت خیلی زیاد	شدت زیاد	شدت متوسط	شدت کم	شدت خیلی کم
درصد	۱۰	۲۰	۲۰	۳۰	۲۰















می‌شوند، ابتدا به این مرکز اضطرار منتقل می‌شوند، سپس با توجه به ساختار سلسله مراتبی، پس از بررسی شدت جراحاتشان به درمانگاه سوم واقع در ناحیه بیستم و در صورت نیاز به خدمات بیشتر به بیمارستان یکم واقع در ناحیه هفتم ارجاع داده می‌شوند. شایان ذکر است که در هر مرحله تعدادی از مصدومان ترخیص خواهند شد و دیگر نیاز به انتقال به لایه‌های بالایی ندارند.

در شکل ۵ نحوه تخصیص مصدومان نواحی شهری در هنگام حادثه به مراکز درمانی نشان داده شده است و اینکه در هنگام بحران آسیب دیدگان را از چه نواحی شهری به یک مرکز اضطرار منتقل می‌کنند. برای مثال مصدومان از نواحی ۱۵، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۷ به مرکز اضطرار ششم ارجاع داده می‌شوند. سپس در صورت نیاز به درمان بیشتر به درمانگاه سوم و در نهایت به بیمارستان اول انتقال می‌یابند. بعضی از نواحی شهری به دو یا چند مرکز اضطرار موقت نزدیک تخصیص داده می‌شوند. برای نمونه تعدادی از جمعیت ناحیه پانزدهم به مرکز اضطرار ششم و تعدادی از آن‌ها به مرکز اضطرار چهارم منتقل می‌شوند. همچنین گاهی اوقات یک یا چند مرکز اضطرار موقت درمان دچار اختلال می‌شود، در این صورت باید مرکز پشتیبانی برای آن‌ها در نظر گرفته شود که مسئولیت امدادسانی به مصدومان را بر عهده بگیرد. در شکل ۵ مراکز درمان

جراحات زیاد می‌شوند. این افراد نیازمند درمان در بیمارستان‌ها هستند. افراد با شدت جراحات متوسط و کم برابر ۲۰ درصد بوده که پس از انتقال به کلینیک‌ها ترخیص خواهند شد و در نهایت ۲۰ درصد افراد دچار شدت جراحات خیلی کم شده که پس از انتقال به مراکز درمان موقت، ترخیص خواهند شد و به سطوح بالاتر منتقل نمی‌شوند.

نسبت اهمیت توابع هدف به ترتیب  $w_1=2$ ،  $w_2=10$  و  $w_3=4$  در نظر گرفته شده است. پراکندگی نواحی شهری، نقاط منتخب برای ایجاد مراکز درمان اضطرار موقت، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها در شکل ۲ ارائه شده است.

پس از حل مدل به کمک نرم‌افزار GAMS، متغیرهای تصمیم‌نشان‌دهنده لزوم فعال شدن تمام ۸ مرکز درمان اضطرار هنگام بحران است. نحوه تخصیص سلسله مراتبی مصدومان در شرایط بحران در شکل ۴ و ۵ ارائه شده است. این شکل‌ها ایجاد مراکز اضطرار موقت درمان و نحوه تخصیص آن‌ها به کلینیک‌ها و بیمارستان‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۴ گویای فعال بودن تمام ۸ مرکز اضطرار به عنوان نقاط منتخب در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال مرکز اضطرار ششم (۶) باید در ناحیه شهری بیست و یکم (۲۱) واقع شود. این ناحیه واقع در جنوب شهر، تعداد ۸۰۰ نفر مصدوم دارد. مصدومانی که از ناحیه شهری ۲۱ شناسایی

۱	۲	۳	۴	۵	۶
					
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
					
۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
					
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
					
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
					

شکل ۲. پراکندگی نقاط شهری، مراکز اضطرار، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها

نقاط کاندید مراکز درمان اضطرار موقت



درمانگاه‌ها



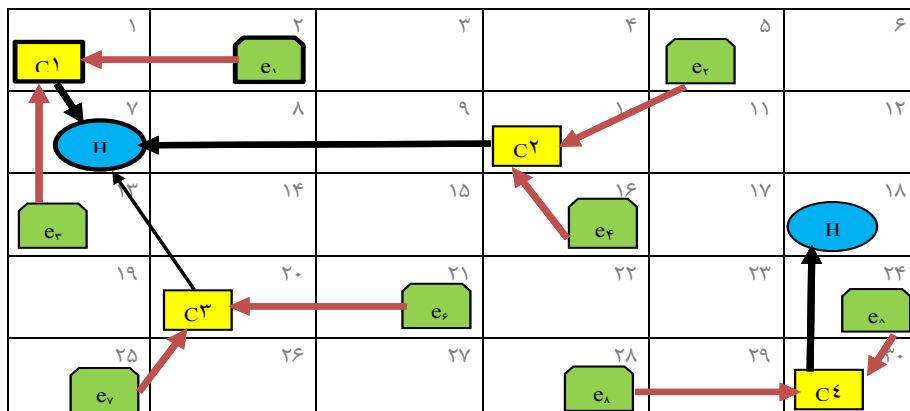
بیمارستان‌ها



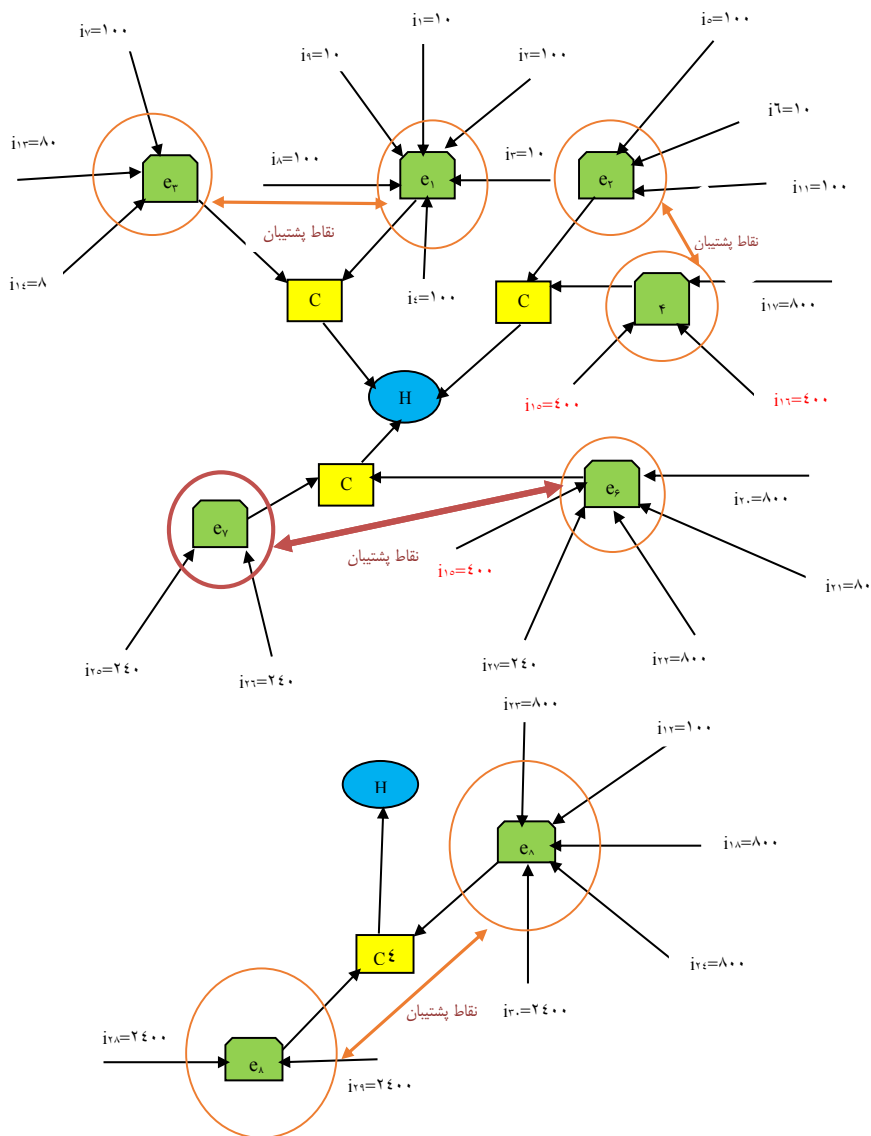
شکل ۳. تصاویر مربوط به مراکز اضطرار درمان موقت، درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها



موقت (e۶-e۷)، (e۴-e۲) و همچنین (e۳-e۱) به عنوان نقاط پشتیبان یکدیگر لحاظ شده‌اند.



شکل ۴. محل قرارگیری پاسخ‌های نمونه ذکر شده در مدل



شکل ۵. نحوه نمایش مراکز اضطراب به درمانگاه‌ها و سپس به بیمارستان‌ها

هدف این تحقیق بررسی مفهوم ساختار ساده و ساختار سلسله مراتبی است. در ساختار ساده (مدل فعلی) در هنگام بحران ازدحام مصدومان در مراکز درمان لایه‌های بالایی درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها بدون اولویت‌بندی بیماران، بسیار زیاد و بدون برنامه‌ریزی خواهد بود. از طرفی هزینه درمان در درمانگاه‌ها و به خصوص بیمارستان‌ها به علت وجود تجهیزات گران‌قیمت و پیشرفته‌تر، بسیار زیاد است؛ بنابراین صرفه نظر از موضوع عدم رسیدگی به موقع به همه مصدومان، هزینه زیادی نیز در این نوع ساختار به وجود می‌آید.

در ساختار سلسله مراتبی پیشنهادی موجود در این مقاله مراکز موقت درمان به سطوح درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها افزوده می‌شود؛ بنابراین در هنگام بحران، درصد زیادی از آسیب دیدگان در مراکز موقت، درمان شده و در همین سطح ترخیص می‌شوند و دیگر نیاز به انتقال به لایه‌های بالاتر را نخواهند داشت؛ اما مصدومانی که نیاز به خدمات بالاتر دارند به ترتیب به درمانگاه‌ها و در نهایت به بیمارستان‌ها تخصیص داده می‌شوند. در سطح درمانگاه نیز ترخیص بعضی از افراد صورت می‌گیرد. بدین ترتیب با یک برنامه‌ریزی از پیش تعیین شده، همه آسیب دیدگان درمان خواهند شد و از ازدحام در سطوح بالاتر کاسته خواهد شد. اگرچه استقرار مراکز درمان موقت هزینه خواهد داشت؛ اما از هزینه‌ای بزرگ‌تر که اختلال در سطوح بالای درمان در اوج بحران است جلوگیری خواهد شد.

به منظور مقایسه ساختار بهینه پیشنهادی با مدل فعلی با استفاده از مسئله عددی تحلیل و مقایسه هزینه‌ها در هر دو سناریو فقط برای هزینه‌های ایجاد مراکز درمان موقت و هزینه‌های درمان انجام شده است. ساختار مدل فعلی را به عنوان سناریو ۱ و مدل بهینه ساختار سلسله مراتبی پیشنهادی، سناریو ۲ در نظر گرفته شده است. در جدول ۴ مفروضات برای مقایسه دو سناریو لحاظ شده است. هزینه متوسط برای درمان بیماران در بیمارستان‌ها ۸ برابر بیشتر از هزینه درمان در مراکز اضطرار درمان موقت است (۸۰ در برابر ۱۰). این موضوع نشان‌دهنده این است که مدل طراحی شده اجازه انتقال بیماران با شدت جراحات کم را به بیمارستان‌ها نمی‌دهد تا از ظرفیت آن‌ها برای خدمت‌رسانی به مصدومان با نیاز بالا استفاده شود. هزینه درمان برای کلینیک‌ها ۳۰ در نظر گرفته شده که نسبت به بیمارستان‌ها کمتر (کمتر از ۵۰ درصد) و نسبت به کلینیک‌ها بیشتر (۳ برابر) است.

#### جدول ۴. هزینه‌های درمان

هزینه متوسط برای درمان هر مصدوم در بیمارستان	۸۰ واحد
هزینه متوسط برای درمان هر مصدوم در درمانگاه (کلینیک‌ها)	۳۰ واحد
هزینه متوسط برای درمان هر مصدوم در مراکز اضطرار درمان موقت	۱۰ واحد

با توجه به هزینه‌های بالای زیرساختی و مدیریتی بیمارستان‌ها، هزینه‌های درمان مصدومان در بیمارستان‌ها بیشتر از درمانگاه‌ها و هر دو بیشتر از هزینه‌های درمان موقت در

مراکز اضطرار درمان لحاظ شده است. در سناریو اول ۶۰ درصد بیماران مستقیم به بیمارستان‌ها مراجعه می‌کنند و ۴۰ درصد در درمانگاه‌ها معالجه و ترخیص می‌شوند در صورتی که در سناریو دوم ابتدا تمام مصدومان توسط مراکز اضطرار درمان موقت غربالگری و ۶۰ ترخیص شده و فقط ۴۰ درصد مصدومان به سطح درمانگاه‌ها اعزام می‌شوند. از این تعداد ۶۰ درصد ترخیص و ۴۰ درصد (۱۶ درصد کل مصدومان) دوباره به بیمارستان‌ها منتقل می‌شوند. این موضوع باعث می‌شود که بار درمانی درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها کاهش یافته که این امر سبب کاهش هزینه‌های درمان در مراکز درمانی بالاتر می‌شود. هزینه ثابت ایجاد مراکز درمان اضطرار موقت ۴۰ هزار واحد و تعداد کل مصدومان بر اساس فرضیات مسئله ۲۵۲۰۰ مصدوم لحاظ شده است. محاسبات برای سناریوی ۱ در جدول ۵ قید شده است. بر اساس جمعیت نواحی شهری (جدول ۱) تعداد مصدومان مراجعه‌کننده به بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها محاسبه شده و با توجه به هزینه‌های درمان که در جدول ۴ ذکر شد، هزینه کل درمان ۱۵۱۲۰۰ واحد پول محاسبه شده است. در این سناریو هزینه‌ای برای ایجاد مراکز اضطرار درمان (به دلیل عدم وجود آن‌ها) در این جدول لحاظ نشده است.

#### جدول ۵. هزینه‌های سناریو ۱ (وضعیت فعلی)

تعداد کل مصدومان انتقال یافته به درمانگاه‌ها	۱۰۰۸۰	مصدوم
تعداد کل مصدومان انتقال یافته به بیمارستان‌ها	۱۵۱۲۰	مصدوم
هزینه کل درمان مصدومان در درمانگاه‌ها	۳۰۲۴۰۰	واحد
هزینه کل درمان مصدومان در بیمارستان‌ها	۱۲۰۹۶۰۰	واحد
هزینه سناریو اول (وضعیت فعلی)	۱۵۱۲۰۰۰	واحد

در جدول ۶ محاسبات مربوط به سناریو شماره ۲ ارائه شده است. تعداد کل مصدومان نسبت به سناریو ۱ تغییری نکرده (۲۵۲۰۰ نفر) فقط تخصیص بیماران به صورت سلسله مراتبی انجام می‌شود به گونه‌ای که فقط مصدومانی که نیاز به درمان بیشتری دارند (شدت جراحات بالا) با سطوح بالاتر (بیمارستان‌ها و کلینیک‌ها) منتقل می‌شوند. بنابراین مجموع هزینه درمان با توجه به اختلاف هزینه موجود کاهش می‌یابد. در این جدول هزینه کل ثابت ایجاد مراکز درمان اضطرار موقت ۳۲۰ هزار واحد پول در نظر گرفته شده (برای هر واحد ۴۰ هزار واحد پول) که با جمع هزینه‌های درمان، هزینه کل این سناریو ۱،۲۷۷،۶۰۰ واحد پول شده است.

بنابراین طبق محاسبات جدول‌های ۴ و ۵، حتی اگر از هزینه‌های اعزام و هزینه‌های ناشی از تأخیر در فرایند درمان به دلیل ازدحام مصدومان در بیمارستان‌ها در هنگام بروز حادثه و بحران صرفه نظر کنیم و فقط روی هزینه‌های درمان تمرکز شود، سناریوی غربالگری و اعزام سلسله مراتبی مصدومان به کمک ایجاد مراکز درمان موقت، سناریوی مناسب‌تری (۱۵/۵ درصد) است.

جدول ۶. هزینه‌های سناریو ۲ (وضعیت بهینه سلسله مراتبی بعد از حل مدل ریاضی)

تعداد کل مصدومان انتقال یافته به مراکز درمان موقت	۲۵۲۰۰	مصدوم
تعداد کل مصدومان انتقال یافته به درمانگاه‌ها	۱۰۰۸۰	مصدوم
تعداد کل مصدومان انتقال یافته به بیمارستان‌ها	۵۰۴۰	مصدوم
تعداد مراکز درمان اضطرار موقت	۸	مرکز
هزینه کل درمان مصدومان در مراکز درمان موقت	۲۵۲۰۰۰	واحد
هزینه کل درمان مصدومان در درمانگاه‌ها	۳۰۲۴۰۰	واحد
هزینه کل درمان مصدومان در بیمارستان‌ها	۴۰۳۲۰۰	واحد
هزینه کل ثابت ایجاد مراکز درمان اضطرار موقت	۳۲۰۰۰۰	واحد
هزینه سناریو بهینه (سلسله مراتبی)	۱,۲۷۷,۶۰۰	واحد

## نتیجه‌گیری

در این مقاله هدف تعیین: (۱) مکان بهینه مراکز درمان اضطرار موقت، (۲) تخصیص بهینه سلسله مراتبی مصدومان و (۳) تعیین نقاط پشتیبان به نوحی شهری در هنگام بحران با رویکرد: (الف) جلوگیری از ازدحام مصدومان (ب) کاهش هزینه‌های ایجاد مراکز درمان اضطرار موقت و هزینه‌های اعزام و (ج) کاهش زمان انتقال سلسله مراتبی مصدومان است. به این منظور یک مدل ریاضی مختلط عدد صحیح توسعه داده شد (در بخش ۴ مدل‌سازی ریاضی) و مسئله برای داده‌های نمونه حل شد. نتایج شکل ۵ نشان می‌دهد که چگونه نواحی شهری به صورت بهینه به مراکز اضطرار درمان موقت تخصیص داده می‌شود. این شکل همچنین نقاط بهینه پشتیبان برای حمایت از مراکز درمان اضطرار موقت را ترسیم می‌کند.

برای نشان دادن تفاوت بین وضعیت موجود و وضعیت بهینه پیشنهادی (خروجی مدل ریاضی) میزان هزینه‌های در قالب دو سناریو در جدول‌های ۵ و ۶ محاسبه شده است. نتایج نشان‌دهنده آن است که میزان کاهش هزینه مربوط به حذف انتقال غیرضروری مصدومانی که امکان درمان آن‌ها در سطوح پایین‌تر وجود دارد باعث کاهش ۱۵ درصدی هزینه‌های درمان می‌شود که این درصد کاهش، در سایر پژوهش‌های پیشین گزارش نشده است.

برای مقایسه نتایج حاصل با نتایج سایر محققان، ذکر این نکته ضروری است که جامعیت توسعه داده شده در این مدل ریاضی، در سایر مقالات مورد بررسی قرار نگرفته است. نزدیک‌ترین مقالات به موضوع این مقاله با بررسی نتایج مشاهده می‌شود که پائول (۲۰۱۶) به بررسی مکان‌یابی و تخصیص منابع در هنگام بحران پرداخته است و تخصیص بهینه سلسله مراتبی که در این مقاله انجام شده را مورد توجه قرار نداده است. ضمن اینکه روش حل دقیق ارائه نکرده است [۶]. مانوینی (۲۰۱۷) به بررسی مکان‌یابی و موجودی پرداخته است و از تخصیص سلسله مراتبی مصدومان که در این تحقیق ذکر شده صرف‌نظر کرده است [۱۱]. در تحقیق حاضر هزینه‌های تأسیس، تخصیص و زمان انتقال مصدومان مدل شده است که در کارهای پور علی اکبری (۲۰۱۷) و موسی زاده (۲۰۱۸) این موارد مورد بررسی قرار نگرفته است [۸، ۷]. مدل‌سازی مربوط به ضریب کیفیت ساخت ناحیه‌های شهری، ضریب آسیب زیرساخت‌های ناحیه شهری و ضریب شدت حادثه در این مدل بررسی شده که در کارهای کاراتاس (۲۰۱۸) و اکسوز

(۲۰۲۰) مدل‌سازی نشده است [۱۲، ۱۸]. طراحی شبکه سلسله مراتبی با رویکرد مکان‌یابی-تخصیص در کارهای پیشین مورد توجه قرار نگرفته است.

با محاسبه کاهش هزینه‌های ایجاد مراکز اضطرار درمان موقت به منظور غربالگری در هنگام بروز بحران، کاهش زمان جابجایی غیرضروری مصدومان و کاهش هزینه‌های مربوط به تأخیر در فرایند درمان به دلیل ازدحام در بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها، مدل پیشنهادی می‌تواند به شکل مؤثری نسبت به سایر کارهای پیشین در هنگام بروز بحران مورد استفاده قرار گیرد.

## پیشنهاد‌های آتی

به منظور تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود مدل در محیط عدم قطعیت مورد مطالعه قرار گیرند. در این مقاله فرض شده که خرابی یگانه باشد، حال آنکه در عمل ممکن است هم‌زمان چند مرکز اضطرار از دسترس خارج شوند. برای حل مدل ریاضی مسئله، می‌توان از روش‌های دیگر از جمله الگوریتم‌های فرا ابتکاری (در ابعاد بزرگ) استفاده کرد. همچنین می‌توان تخصیص منابع انسانی به هر یک از مراکز به‌عنوان یکی از تصمیمات مدل را در نظر گرفت.

## تشکر و قدردانی

گردآورندگان مقاله وظیفه خود می‌دانند از همکاری مدیریت محترم سازمان بحران تهران، جهت اطلاعات شهری و زیرساختی قدردانی به عمل آورند. لازم به ذکر است که این مقاله حاصل پایان‌نامه دکتری و بدون حمایت مالی از سازمان یا ارگان خاصی انجام گرفته است.

## پی‌نوشت

1. Emergency Service System (ESS)

## منابع

- Ahmadi-Javid A, Seyedi P, Syam SS. A survey of health-care facility location. *Computers & Operations Research*. 2017;79:223-63.
- Karatas M, Razi N, Tozan H. A multi-criteria assessment of the p-median, maximal coverage and p-center

- portation Review, 128, 1-16.
14. Memari, P., Tavakkoli-Moghaddam, R., Navazi, F., Jolai, F. (2020). Air and ground ambulance location-allocation-routing problem for designing a temporary emergency management system after a disaster, Institution of Mechanical Engineers, Proc IMechE Part H: J Engineering in Medicine, 1-17. IMechE 2020, DOI: 10.1177/0954411920925207.
  15. Chen, T., Wu, Sh., Yang, J., Cong, G., & Li, G. (2020). Modeling of Emergency Supply Scheduling Problem Based on Reliability and Its Solution Algorithm under Variable Road Network after Sudden-Onset Disasters. Volume 2020, Article ID 7501891, 15 pages. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/7501891>.
  16. Ghasemi, P., Khalili-Damghani, K., Hafezalkotob, A., & Raissi, S. (2019). Stochastic optimization model for distribution and evacuation planning (A case study of Tehran earthquake). Socio-Economic Planning Sciences. <http://www.elsevier.com/locate/seps>.
  17. Makui A, Ashouri F, Barzinpour F. Assignment of injuries and medical supplies in urban crisis management. Journal of Applied Research on Industrial Engineering. 2019;6(3):232-50.
  18. Oksuz MK, Satoglu SI. A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2020;44:101426.
  19. Baharmand, H., Comes, T., & Lauras, M., (2019). Bi-objective multi-layer location-allocation model for the immediate aftermath of sudden-onset disasters. Transportation Research Part E 127 (2019) 86-110.
  ۲۰. شوندى زهرا، سجادی سيد مجتبی، سلطانی رؤیا (۱۳۹۹). شبیه‌سازی سیستم ترخیص با رضایت شخصی بیماران بیمارستان تخصصی و فوق تخصصی خاتم‌الانبیا (ص) تهران. مدیریت اطلاعات سلامت. ۱۳۹۹: (۲): ۵۹-۵۴.
  ۲۱. عباس ملکی، سيد مجتبی سجادی، بابک رضایی خوشان (۱۳۹۳). تبیین و بهبود شاخص‌های عملکردی در سیستم اورژانس با استفاده از شبیه‌سازی گسسته پیشامد: (مطالعه موردی بیمارستان امام خمینی (ره) اراک). مدیریت اطلاعات سلامت. ۱۳۹۳: (۱): ۱۶-۴.
  22. Sepehri, Z., Sajadi, S.M., & Arabzad, S.M. (2015). Analysing the performance of emergency department by simulation: *The case of Sirjan Hospital*. *International Journal of Services and Operations Management*. Vol. 20, No. 3, 2015.
  23. Shang, Q., Wang, T., & Li, J. (2020). Seismic resilience assessment of emergency departments based on the state tree method. *Structural Safety* 85 (2020) 101944. [www.elsevier.com/locate/strusafe](http://www.elsevier.com/locate/strusafe).
  24. Mahabadi, A., Ketabi, S., Sajadi, S.M. (2015), "Investigate the parameters which affect the patients location models. *Technical Gazette*. 2017;24(2):399-407.
  3. Gendreau M, Laporte G, Semet F. The maximal expected coverage relocation problem for emergency vehicles. *Journal of the Operational Research Society*. 2006;57(1):22-8.
  4. Toro-DíAz H, Mayorga ME, Chanta S, Mclay LA. Joint location and dispatching decisions for emergency medical services. *Computers & Industrial Engineering*. 2013;64(4):917-28.
  5. Şahin G, Süral H. A review of hierarchical facility location models. *Computers & Operations Research*. 2007;34(8):2310-31.
  6. Paul JA, MacDonald L. Location and capacity allocations decisions to mitigate the impacts of unexpected disasters. *European Journal of Operational Research*. 2016;251(1):252-63.
  7. Pouraliakbari M, Mohammadi M, Mirzazadeh A. Location of health care facilities in competitive and user choice environment. *Journal of Industrial and Systems Engineering*. 2017;10(special issue on health-care):24-54.
  8. Mousazadeh M, Torabi SA, Pishvae MS, Abolhassani F. Health service network design: a robust possibilistic approach. *International transactions in operational research*. 2018;25(1):337-73.
  9. Mohammadi R, Ghomi SF, Jolai F. Prepositioning emergency earthquake response supplies: A new multi-objective particle swarm optimization algorithm. *Applied Mathematical Modelling*. 99,5183:(10-9)40;2016.
  10. Rezaei-Malek M, Tavakkoli-Moghaddam R, Cheikhrouhou N, Taheri-Moghaddam A. An approximation approach to a trade-off among efficiency, efficacy, and balance for relief pre-positioning in disaster management. *Transportation research part E: logistics and transportation review*. 2016;93:485-509.
  11. Manopiniwes W, Irohara T. Stochastic optimisation model for integrated decisions on relief supply chains: preparedness for disaster response. *International Journal of Production Research*. 2017;55(4):979-96.
  12. Karatas M, Yakıcı E. An analysis of p-median location problem: Effects of backup service level and demand assignment policy. *European Journal of Operational Research*. 2019;272(1):207-18.
  13. 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*. 2019;272(1):207-18.

waiting time in emergency department of orthopedic services in Ayatollah Kashani hospital with the lean management approach”, Health Inf Manage, 11 (7), 1016-1025.

25. Ahmadzadeh F, Mohammadi N, Babaie M .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. 2019;4(3):135-46.
26. Sharma SD, Tatavarthy SR, editors. Development of optimized solution for a generic disaster management problem through construction of responsive supply chain a review. AIP Conference Proceedings; 2019: AIP Publishing LLC.
27. Rebeeh YA, Pokharel S, Abdella GM, Hammuda AS. Disaster management in industrial areas: Perspectives, challenges and future research. Journal of Industrial Engineering and Management. 2019;12(1):133-53.
28. Saberian P, Kolivand P-H, Hasani-Sharamin P, Dadashi F, Farhoud D. Iranian emergency medical service response in disaster; report of three earthquakes. Advanced journal of emergency medicine. 2019;3(2).

