Archive of SID

Industrial Management Journal
Print ISSN: 2008-5885
Online ISSN: 2423-5369

Optimal Allocation of City Districts to Emergency Resettlement Sites, Hospitals, and Clinics after the Earthquake (Case Study: Bojnord City)

Sakine Beigi
*Corresponding Author, Lecture, Department of Industrial Engineering, Faculty of Basic Science and Engineering, Kosar University of Bojnord, Bojnord, Iran. E-mail: beigi@kub.ac.ir

Hasan Yaghoubi
MSc., Department of Industrial Engineering, Eshragh Institute of Higher Education, Bojnord, Iran. E-mail: hyaghuobi@chmail.ir

Hossein Karimi
Assistant Prof., Department of Industrial Engineering, Faculty of Enginnering, Bojnord University, Bojnord, Iran. E-mail: h.karimi@ub.ac.ir

Abstract

Objective: The occurrence of natural disasters, such as earthquakes, is sometimes associated with many financial and personal injuries. Proper allocation of each city district to emergency resettlement sites, hospitals and clinics will accelerate the relief process and reduces injuries. The purpose of this research is to present an integer linear mathematical programming model for optimal locating and allocating of emergency resettlement points to city districts.

Methods: In this research, the volume of flow between the demand points and emergency resettlement sites, clinics, and hospitals is determined. The objective function of the presented mathematical model is to minimize the mathematical expectation the of total transfer time of people, so that the coefficient of fines is considered for the later transmission of the affected persons to the treatment centers. Due to the accidental nature of natural disasters, uncertainty in this study is seen as a scenario. In this study, the probability of occurrence of different scenarios, the probability of injury in each area in different scenarios, the classification of injured persons, and the limited reception capacity at resettlement and treatment centers are considered.

Results: The proposed research model was coded and solved using Bojnord city information. The optimal allocation of each district of Bojnord to temporary hospitals, clinics and resettlement sites has been determined.

Conclusion: Although the probability of injury was considered small in different city districts, the hospitals did not have the capacity to repost to the injured persons and it is

www.SID.ir

Archive of SID

necessary to use the adjacent city hospital for hospitalization. Locating temporary treatment centers is also needed in areas close to the villages before such events occur.

Keywords: Location-allocation, Emergency resettlement, Earthquake, Emergency logistics.

Citation: Beigi, S., Yaghoubi, H., & Karimi, H. (2020). Optimal Allocation of City Districts to Emergency Resettlement Sites, Hospitals, and Clinics after the Earthquake (Case Study: Bojnord City). *Industrial Management Journal*, 12(1), 82- 110. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2020, Vol. 12, No.1, pp. 82-110
DOI: 10.22059/imj.2020.297927.1007719
Received: August 03, 2019; Accepted: January 08, 2020
© Faculty of Management, University of Tehran

www.SID.ir

Archive of SID

مدیریت صنعتی
شاپا چاپی: ۵۸۸۵-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۵۳۶۹-۲۴۲۳

تخصیص بهینه نقاط اسکان اضطراری، بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها به ناحیه‌های شهری پس از وقوع زلزله (مطالعه موردی: شهر بجنورد)

سکینه بیگی
* نویسنده مسئول، مربی، گروه مهندسی صنایع، دانشکده علوم پایه و فنی مهندسی، دانشگاه کوثر بجنورد، بجنورد، ایران. رایانامه: beigi@kub.ac.ir

حسن یعقوبی
کارشناس ارشد، گروه مهندسی صنایع، مؤسسه آموزش عالی اشراق، بجنورد، ایران. رایانامه: hyaghuobi@chmail.ir

حسین کریمی
استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران. رایانامه: h.karimi@ub.ac.ir

چکیده

هدف: وقوع حوادث طبیعی، از جمله زلزله، گاهی با صدمه‌های مالی و جانی بسیاری همراه است. تخصیص صحیح هر یک از ناحیه‌های شهری به نقاط اسکان اضطراری، بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها باعث سرعت بخشیدن به فرایند امدادرسانی و کاهش آسیب‌های جانی خواهد شد. هدف از این پژوهش ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی عدد صحیح برای مکان‌یابی و تخصیص نقاط اسکان اضطراری به ناحیه‌های شهری است.

روش: در این مدل، حجم جریان بین نقاط تقاضا و نقاط اسکان اضطراری و همچنین درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها تعیین می‌شود. در مدل ریاضی ارائه شده، هدف کمینه‌سازی امید ریاضی کل زمان حمل‌ونقل افراد است، به‌طوری که برای انتقال دیرتر افراد آسیب‌دیده به مراکز درمانی ضریب جریمه در نظر گرفته شده است. با توجه به ماهیت تصادفی بودن بلایای طبیعی، نبود قطعیت در این پژوهش به‌صورت سناریو دیده شده است. در این پژوهش، احتمال وقوع سناریوهای مختلف، احتمال آسیب به هر ناحیه در سناریوهای مختلف، دسته‌بندی جراحت‌های واردشده به افراد و ظرفیت محدود پذیرش در نقاط اسکان و مراکز درمانی در نظر گرفته شده است.

یافته‌ها: مدل پیشنهادی پژوهش با استفاده از اطلاعات شهر بجنورد کدنویسی و حل شده است. تخصیص بهینه هر یک از ناحیه‌های شهر بجنورد به بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها و نقاط اسکان موقت تعیین شده است.

نتیجه‌گیری: با وجود آنکه احتمال آسیب در ناحیه‌های مختلف شهری مقداری اندک در نظر گرفته شد، ظرفیت بیمارستان‌های شهر پاسخ‌گوی مجروحان نبود و برای بستری بیماران، به استفاده از بیمارستان شهر مجاور نیز نیاز است. همچنین نیاز است، مراکز درمانی موقت در مناطقی نزدیک به روستاها پیش از وقوع چنین حوادثی مکان‌یابی شوند.

کلیدواژه‌ها: مکان‌یابی ـ تخصیص، اسکان اضطراری، زلزله، لجستیک اضطراری.

استناد: بیگی، سکینه؛ یعقوبی، حسن؛ کریمی، حسین (۱۳۹۹). تخصیص بهینه نقاط اسکان اضطراری، بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها به ناحیه‌های شهری پس از وقوع زلزله (مطالعه موردی: شهر بجنورد). *مدیریت صنعتی*، ۱۲(۱)، ۸۲- ۱۱۰.

مدیریت صنعتی، ۱۳۹۹، دوره ۱۲، شماره ۱، صص. ۸۲- ۱۱۰
DOI: 10.22059/imj.2020.297927.1007719
دریافت: ۹۸/۰۵/۱۲، پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۸
© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

امروزه، با وجود پیشرفت‌های چشمگیر بشر در علوم مختلف همچنان امکان پیش‌بینی برخی از بلایای طبیعی مانند زلزله وجود ندارد. از این رو، بایستی قبل از وقوع چنین بحران‌هایی برای مواجهه با آنها برنامه‌ریزی‌های لازم انجام شود. چنانچه زلزله‌ها باعث تخریب بناها و آسیب‌های عمده در شهرها شوند، برای افراد حادثه‌دیده و مسئولان مشکلات اساسی ایجاد می‌شود.

اسکان اضطراری جمعیت یکی از گام‌های اولیه در مدیریت بحران است. اسکان افراد حادثه‌دیده از بلایای طبیعی شامل سه مرحله اسکان اضطراری، اسکان موقت و اسکان دائم است. از اسکان اضطراری برای سامان‌دهی مردم و جلوگیری از سرگردانی آنها به‌منظور خدمت‌رسانی بهتر در روزهای نخست بعد از رخ دادن بحران استفاده می‌شود. این مرحله، از زمان وقوع زمین لرزه تا چند روز پس از آن را شامل می‌شود. در این دوره، افراد در پناهگاه‌های جمعی مانند ورزشگاه‌ها، سالن‌های ورزشی، پارک‌ها و... اسکان داده می‌شوند. در پایان این مرحله وضعیت به ثبات نسبی می‌رسد و اسکان موقت در مکان‌های مناسب با استفاده از چادرهای هلال احمر، خانه‌های از پیش ساخته و... آغاز می‌شود.

طراحی مناسب زنجیره امداد، نقش مهمی در دستیابی به پاسخ سریع، مؤثر و کارا ایفا خواهد کرد. تأخیر در تحویل کالا یا امدادرسانی در شرایط بحرانی می‌تواند به از دست رفتن جان انسان‌ها منجر شود (قاسمی، علی دوستی، حسنوی و نوروزیان ریکنده، ۱۳۹۷). تخصیص صحیح ناحیه‌های شهری به نقاط اسکان اضطراری در روزهای نخست بعد از رخ دادن زلزله، می‌تواند خدمت‌رسانی به افراد را تسهیل کند. اگر چه مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات در مدیریت بلایا جزء مباحث کلیدی هستند، اما در این زمینه، به‌صورت کاربردی، پژوهش‌های به‌نسبت کمی انجام شده است.

این پژوهش از نوع کاربردی ـ توسعه‌ای است و به‌دنبال ارائه مدلی برای مکان‌یابی ـ تخصیص بهینه نقاط برای اسکان اضطراری افراد حادثه‌دیده از بلایای طبیعی قادر خواهد بود سیاست‌گذاران و مجریان امور را در فرایندهای سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، هدایت و اجرا در سطوح راهبردی و عملیاتی راهنمایی کند تا با توجّه به اصول متناسب با مقتضیّات بومی و تجربه‌ها در این حوزه، اولویت‌ها را انتخاب و اجرای آن را پیگیری کنند.

ادبیات موجود در زمینه لجستیک امداد را می‌توان به دو دسته قبل و بعد از بحران تقسیم کرد. در دسته قبل از بحران، برای کاهش اثر بحران، فعالیت‌هایی مانند مکان‌یابی تسهیلات و انبارهای مواد غذایی (برنامه‌ریزی استراتژیک) و رعایت اصول پدافند غیرعامل انجام می‌گیرد. فعالیت‌ها در دسته بعد از بحران را می‌توان به دو دسته کوتاه‌مدت و بلندمدت تقسیم کرد. فعالیت‌های کوتاه‌مدت بلافاصله بعد از وقوع بحران آغاز شده و به‌طور عمده شامل مواردی مانند اسکان افراد بی‌سرپناه، توزیع مواد غذایی و اقلام امدادی و انتقال و درمان آسیب‌دیدگان می‌شوند. فعالیت‌های بلندمدت نیز شامل احداث پناهگاه‌های موقت و دائم و مواجهه با بحران‌های هم‌زمان است (گل محمدی و ماهوتچی، ۱۳۹۶). مدل ارائه‌شده در این پژوهش می‌تواند هم در مرحله قبل از بحران و هم پس از بحران استفاده شود.

بر اساس آمار و ارقام، استان خراسان شمالی جزء ده استان نخست کشور در حوزه زلزله‌خیزی قرار دارد. در این استان در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۵ میلادی تعداد ۵۹۳ زلزله ثبت شده است که ۲۱۵ زلزله در بازه سه تا چهار ریشتر، ۲۲۲ زلزله در بازه چهار تا پنج ریشتر و ۳۴ زلزله در بازه پنج تا شش ریشتر رخ داده‌اند (گزارش پژوهشگاه بین‌المللی زلزله

www.SID.ir

Archive of SID

و زلزله‌شناسی، ۱۳۹۶)[1]. در شهر بجنورد، مرکز استان خراسان شمالی، در چند سال اخیر چندین زلزله با بزرگی بیشتر از چهار ریشتر رخ داده که موجب نگرانی ساکنان این شهر شده است. بنابراین، نیاز است برای آمادگی اصولی در رویارویی با زلزله در این شهر تمهیدات لازم اندیشیده شود. مدل پیشنهادی پژوهش حاضر می‌تواند در دو فاز قبل و بعد از بحران استفاده شود. در فاز قبل از بحران، برای اینکه بدانیم با توجه به احتمال‌های موجود، مراکز اسکان اضطراری موجود در شهر کافی هستند یا خیر و ظرفیت فعلی مراکز درمانی با پیش‌بینی‌هایی که در رابطه با میزان خسارت داریم کفایت می‌کنند یا نه، می‌توان از مدل پیشنهادی استفاده کرد. در فاز پس از بحران نیز، در صورت فعال شدن یک گسل مشخص و با توجه به خسارت‌هایی که در هر یک از ناحیه‌های شهر تخمین زده می‌شود (با دریافت گزارش‌های حاصل از مشاهده میدانی یا...) افراد سالم و مجروح به‌طور مناسب به مراکز اسکان و درمان هدایت خواهند شد تا خدمت‌رسانی به افراد بهتر انجام شود. در شرایط نابسامان روزهای نخست بعد از رخ دادن زلزله، وجود مدلی که بتواند نحوه تخصیص مناسب افراد به مراکز اسکان و درمان را تعیین کند، می‌تواند برای مسئولان مدیریت بحران مفید باشد.

در بخش‌های بعدی مقاله به‌ترتیب پیشینه پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه لجستیک امداد، مدل‌سازی مسئله، اعتبارسنجی مدل و یک مثال واقعی آورده شده است. در پایان در خصوص نتیجه‌های به‌دست‌آمده از حل مثال واقعی بحث، تجزیه و تحلیل شد.

پیشینه پژوهش

از سال ۲۰۰۵ تاکنون، پژوهش‌های زیادی در زمینه لجستیک امداد انجام شده است. در پژوهشی که محمدی، یعقوبی و نهفته (۱۳۹۳) انجام داده‌اند، مدلی شامل مکان‌یابی بیمارستان‌ها و نقاط انتقال و تخصیص مصدومان به بیمارستان‌ها، مکان‌یابی مراکز پلیس و مکان‌یابی انبارهای مواد غذایی و دارو و لوازم و تجهیزات پزشکی و انبارهای پشتیبان و تخصیص بیمارستان‌ها برای دریافت نیازهای پزشکی از این مراکز در زمان بحران ارائه شده است.

برزین‌پور، صفاریان و تیموری (۱۳۹۳) در پژوهش خود، برای مکان‌یابی دوره‌ای انبارهای موقت و همچنین نحوه تخصیص کالا به مناطق آسیب‌دیده یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه را توسعه داده‌اند.

در پژوهش بزرگی امیری، جبل‌عاملی و عمرانی (۱۳۹۴)، یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دوهدفه برای مدل‌سازی زنجیره امداد با تقاضاها، عرضه‌ها و هزینه‌های غیرقطعی ارائه شده است. ایده تأمین‌کننده‌های غیرمطمئن نیز در مدل گنجانده شده است.

بزرگی امیری، صبوحی، توکلی و مرادحاصلی (۱۳۹۵) در پژوهش خود با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط علاوه بر مکان‌یابی نقاط انتقال، مکان‌یابی پناهگاه‌ها برای اسکان افراد سالم را انجام داده‌اند.

در پژوهش اسدی، شفیعا و یعقوبی (۱۳۹۶)، به ارائه مدلی برای مکان‌یابی انبارهای توزیع امداد و تسهیلات پشتیبان و تخصیص مناطق آسیب‌دیده به این انبارها در عملیات لجستیک بحران پرداخته شده است. برای ارزیابی و اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، زلزله در شهر تهران به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب و روی مدل پیاده‌سازی شده است.

1. http://www.iiees.ac.ir.

www.SID.ir

Archive of SID

در پژوهش صبوحی، حیدری و بزرگی امیری (۱۳۹۶)، به معرفی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای تعیین هم‌زمان مسیر و زمان حرکت وسایل امدادی با در نظر گرفتن امکان تراکنش بین پناهگاه‌ها پرداخته شده است.

در پژوهش صفاریان، برزین پور و اقبالی[1] (۲۰۱۵)، یک مدل چندهدفه غیرقطعی برای فاز پاسخ مدیریت بحران ارائه شده است. در این پژوهش زمان سفر و مقدار تقاضا در نقاط آسیب به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است.

در پژوهش ین و مو[2] (۲۰۱۲) مدل دوهدفه‌ای برای تعیین مکان بهینه اورژانس‌های موقت، تخصیص وسایل نقلیه اورژانسی به نقاط آسیب‌دیده و تعیین تعداد بهینه مجروحانی که هر اورژانس موقت باید پوشش دهد، ارائه شده است.

در پژوهش مرت و ادیوار[3] (۲۰۱۰) یک معیار اعتبارسنجی غیرخطی فازی مبتنی بر زمان دریافت کمک ارائه شده و فرض شده است که کالاهای مختلف زمان‌های تحویل غیرقطعی و متفاوتی دارند. مقدار عرضه کالاهای مختلف، قیمت آنها و اطمینان از دریافت کالاها به‌صورت یک عدد فازی غیرخطی در نظر گرفته شده است.

در پژوهشی دیگر ینیس و سامانلیوگلو[4] (۲۰۲۰)، مدلی در حالت احتمالی و با در نظر گرفتن چندین هدف برای طراحی شبکه خدمات‌رسانی بعد از زلزله ارائه کردند. در این پژوهش، شهر استانبول بررسی شد. علاوه بر این، موضوع پوشش مواد غذایی و خدمت‌رسانی به مجروحان نیز بررسی شد.

به‌تازگی در پژوهشی، کورشی و تانیکوچی[5] (۲۰۲۰) برای لجستیک بشردوستانه مدلی چنددوره‌ای ارائه دادند که در ژاپن و برای زلزله در نظر گرفته شده است. در این پژوهش، موضوع دسترسی نداشتن شبکه ارتباطی بررسی شد. آنها برای حل مدل، از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند.

در پژوهش حاضر، سعی شده تا برخی از اشکال‌های موجود در ادبیات پژوهش رفع شوند. برای مثال، در پژوهش بزرگی امیری و همکاران (۱۳۹۵)، برای انتقال افراد از نقاط حادثه‌دیده به بیمارستان‌ها مراکز انتقال در نظر گرفته شده است. در مدل ریاضی ارائه‌شده، مجروحان زمانی به نقاط انتقال برده می‌شوند که مجموع زمان حمل‌ونقل از نقطه آسیب به نقطه انتقال و از نقطه انتقال به بیمارستان کمتر از زمان حمل‌ونقل از نقطه آسیب به بیمارستان باشد. چنانچه فاصله بین نقاط از نامساوی مثلثی تبعیت کند، در نظر گرفتن نقطه انتقال فایده‌ای نخواهد داشت و فقط زمانی مجروحان به نقاط انتقال منتقل می‌شوند که ظرفیت بیمارستان‌ها تکمیل شده باشد. در این صورت، نقاط انتقال در عمل مراکز درمانی موقت خواهند بود. این مسئله در مطالعه موردی بررسی‌شده در مقاله نیز واضح است و حجم جریانی از نقاط انتقال به بیمارستان‌ها وجود ندارد. از طرفی دیگر نیاز است تا وخامت حال مجروحان حادثه در مدل‌سازی در نظر گرفته شود. همچنین در صورت اشغال ظرفیت بیمارستان‌ها و مراکز درمانی، این ظرفیت بعد از گذشت مدت زمانی آزاد خواهد شد و امکان پذیرش مجدد بیماران وجود خواهد داشت. این موارد در مدل‌سازی پژوهش حاضر در نظر گرفته شده‌اند.

برای رعایت اختصار، در جدول ۱ به‌طور خلاصه به تعدادی از پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه لجستیک امداد اشاره شده است.

1. Saffarian, Barzinpour & Eghbali
2. Yin & Mu
3. Mert & Adivar
4. Yenice & Samanlioglu
5. Qureshi & Taniguchi

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه لجستیک امداد

نویسندگان	تعداد تابع هدف		توضیحات	ورودی‌های مطالعه موردی					روش یا ابزار حل
	تک هدفه	چند هدفه		شبیه‌سازی‌شده	واقعی	قطعی	غیرقطعی		
							سناریو محور	فازی	برنامه‌ریزی استوار	
محمدی و همکاران (۱۳۹۳)		✓	کمینه‌سازی میزان تقاضا ضرب در زمان بیشینه‌سازی تقاضای تحت پوشش مراکز خدماتی		✓		✓			روش محدودیت اپسیلون
برزین‌پور و همکاران (۱۳۹۳)		✓	بیشینه‌سازی حداقل نسبت‌های تقاضای پوشش یافته کمینه‌سازی هزینه‌های عملیاتی		✓			✓		روش معیار جامع الگوریتم ژنتیک شبیه‌سازی تبرید
بزرگی امیری و همکاران (۱۳۹۴)		✓	بیشینه‌سازی میزان رضایتمندی نقاط آسیب‌دیده کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های ایجستیکی	✓			✓			محدودیت اپسیلون
محمدی، فاطمی قمی، جولای (۱۳۹۴)		✓	کمینه کردن تعداد افراد سرویس داده‌نشده کمینه کردن میزان تقاضای برآورده‌نشده کمینه کردن تعداد کل وسایل نقلیه		✓				✓	بهینه‌سازی استوار و رویکرد سلسله مراتبی
بزرگی امیری و همکاران (۱۳۹۵)	✓		کمینه‌سازی کل زمان تخلیه افراد و توزیع اقلام امدادی	✓						حل کننده CPLEX
اسدی و همکاران (۱۳۹۶)		✓	کمینه‌سازی هزینه‌های ساخت تسهیلات و حمل کالای امداد بیشینه‌سازی امید ریاضی دریافت امداد توسط افراد		✓		✓			رویکرد تعاملی فازی TH رویکرد اکتساب آرمانی
صبوحی و همکاران (۱۳۹۶)	✓		کمینه کردن کل زمان امدادرسانی	✓		✓				حل کننده CPLEX
گل محمدی و ماهوتچی (۱۳۹۶)	✓		کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره امدادرسانی در یک مدل دو سطحی		✓			✓		حل کننده CPLEX
صادقی مقدم، قاسمیان صاحبی (۱۳۹۷)		✓	بیشینه‌سازی پوشش تقاضا کمینه‌سازی زمان امداد و نجات	✓		✓				شبیه‌سازی تبرید
رحمانی، صفائی و پایدار (۱۳۹۷)		✓	کمینه‌سازی تعداد افراد آسیب‌دیده سرویس داده نشده کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های ایجستیکی		✓	✓				روش معیار جامع (Lp-metric)

www.SID.ir

ادامه جدول ۱. مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه لجستیک امداد

نویسندگان	تعداد تابع هدف			ورودی‌های مطالعه موردی						روش یا ابزار حل
	تک هدفه	چند هدفه	توضیحات	شبیه‌سازی‌شده	واقعی	قطعی	غیرقطعی			
							سناریو محور	فازی	برنامه‌ریزی استوار	
دریکوند و خلیل‌زاده (۱۳۹۷)		✓	کمینه‌سازی هزینه کل بیشینه‌سازی سطح رضایت افراد		✓				✓	روش معیار جامع
طیبی و یزدانی (۱۳۹۸)	✓		کمینه‌سازی میزان تلفات و آسیب‌های ناشی از زلزله		✓	✓				الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری الگوریتم فراابتکاری ژنتیک
سیدی، خاتمی فیروز آبادی، امیری و تقوی‌فرد (۱۳۹۸)		✓	کمینه‌سازی زمان کل انتقال مجروحان به نقطه انتقال، بیمارستان و مراکز امداد کمینه‌سازی جریمه ناشی از عدم انتقال مجروحان		✓	✓				رویکرد تئوری فازی برای تبدیل مدل دوهدفه به یک‌هدفه
مرت و ادیوار (۲۰۱۰)		✓	کمینه کردن هزینه بیشینه کردن قابلیت اعتماد	✓				✓		برنامه‌ریزی خطی فازی
ین و مو (۲۰۱۲)		✓	بیشینه کردن کل تقاضای پوشش داده‌شده کمینه کردن فاصله نقاط تقاضای پوشش داده‌نشده با تسهیلات تخصیص داده‌شده		✓	✓				روش وزن‌دهی برای تبدیل به یک تابع هدف
موافا، کنچو و رامیرز مارکوز[1] (۲۰۱۴)		✓	کمینه‌سازی کل هزینه استراتژی پاسخ کمینه‌سازی زمان پاسخ‌گویی	✓		✓				الگوریتم ابتکاری «کشف راه‌حل احتمالی»
مهدوی، پایدار و شهاب نیا[2] (۲۰۱۵)		✓	کمینه کردن هزینه انتقال کالاها و خدمات بیشینه کردن تقاضای پاسخ داده‌شده		✓			✓		برنامه‌ریزی آرمانی وزن‌دهی‌شده
صفاریان و همکاران (۲۰۱۵)		✓	کمینه کردن مجموع زمان رسیدن به نقاط آسیب ضرب در مقدار تقاضا بیشینه کردن حداقل نسبت تقاضای پاسخ داده‌شده		✓				✓	روش معیار جامع
رضایی مالک، توکلی مقدم، ظهیری و بزرگی امیری[4] (۲۰۱۶)		✓	کمینه‌سازی میانگین زمان پاسخ وزن‌دهی‌شده کمینه‌سازی هزینه‌های عملیاتی پیش از بلایا و هزینه جریمه تقاضای برآورده‌نشده و کالاهای استفاده‌نشده پس از بلایا		✓		✓		✓	روش سطح رزرو Tchebycheff[3]

1. Muaafa, Concho & Ramirez-Marquez
2. Mahdavi, Paydar & Shahabnia
3. Reservation Level Tchebycheff Procedure (RLTP)
4. Rezaei-Malek, Tavakkoli-Moghaddam, Zahiri & Bozorgi-Amiri

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۱. مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه لجستیک امداد

نویسندگان	تعداد تابع هدف			ورودی‌های مطالعه موردی					روش یا ابزار حل
	تک هدفه	چند هدفه	توضیحات	شبیه‌سازی‌شده	واقعی	قطعی	غیرقطعی		
							سناریو محور	فازی	برنامه‌ریزی استوار	
بورکارت، نولز و گوتجاهر[1] (۲۰۱۷)		✓	کمینه‌سازی تقاضای برآورده‌نشده کمینه‌سازی هزینه راه‌اندازی مراکز توزیع کالاهای امدادی		✓	✓				روش محدودیت اپسیلون روش فراابتکاری برای ابعاد بزرگ
رابتا، وانکمولر و رینر[2] (۲۰۱۸)	✓		کمینه‌سازی مسافت (زمان یا هزینه) طی‌شده توسط پهپادها با محدودیت ایستگاه‌های شارژ انرژی	✓		✓				نرم‌افزار GAMS
برونی، برادلی وخداپرستی[3] (۲۰۱۸)	✓		کمینه‌سازی مجموع زمان رسیدن وسایل نقلیه	✓						روش ابتکاری حریصانه
ژانگ، لیو، یو، روآن و چان[4] (۲۰۱۹)		✓	کمینه‌سازی زمان حمل‌ونقل کمینه‌سازی هزینه حمل‌ونقل کمینه‌سازی تقاضای ارضانشده		✓			✓		استفاده از متغیرهای کمکی فازی برای تبدیل به یک هدف
قاسمی، خلیلی دامغانی، حافظ الکتب و رئیسی[5] (۲۰۱۹)		✓	کمینه‌سازی تعداد افراد مجروح خدمت‌دهی نشده کمینه‌سازی هزینه‌های امدادی		✓		✓			محدودیت اپسیلون الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب
ینیس و سامانلیوگلو (۲۰۲۰)		✓	کمینه‌سازی فاصله رفت‌وآمدها کمینه‌سازی ریسک فاکتورهای پوشش ندادن غذا بعد از زلزله کمینه‌سازی هزینه‌های کل		✓		✓			روش مجموع وزنی نرمال‌شده
کورشی و تانیکوچی (۲۰۲۰)	✓		کمینه‌سازی هزینه کمبود		✓	✓				الگوریتم ژنتیک

1. Burkart, Nolz & Gutjahr
2. Rabta, Wankmüller & Reiner
3. Bruni, Beraldi & Khodaparasti
4. Zhang, Liu, Yu, Ruan & Chan
5. Ghasemi, Khalili-Damghani, Hafezalkotob & Raissi

Archive of SID
www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به توضیح‌های بالا، برخی از وجوه تمایز مدل ریاضی ارائه‌شده در این پژوهش در مقایسه با عمده پژوهش‌های موجود در ادبیات به شرح زیر هستند:

۱. بازه‌های زمانی مختلف برای اشغال ظرفیت و آزاد شدن آن در بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها و همچنین مراکز اسکان اضطراری در نظر گرفته شده است.
۲. افراد آسیب‌دیده از زلزله در سه دسته افراد سالم، افراد نیازمند به بستری و افراد نیازمند به درمان سرپایی دسته‌بندی شده‌اند که هر یک با نرخ متفاوتی ظرفیت اشغال‌شده را آزاد می‌کنند.
۳. برای انتقال دیرتر مجروحان هر دسته به مراکز درمانی ضریب جریمه در نظر گرفته شده است.
۴. امکان در نظر گرفتن چند سناریوی مختلف برای وقوع زلزله وجود دارد. به این ترتیب، می‌توان از مدل پیشنهادی پژوهش در دو فاز مختلف قبل و بعد از بحران استفاده کرد.
۵. مدل ارائه‌شده با استفاده از اطلاعات شهر بجنورد مرکز استان خراسان شمالی پیاده‌سازی شده است. تاکنون برای این شهر پژوهش مشابهی انجام نشده است.

در این پژوهش، سعی شده تا با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و شرایط دنیای واقعی تا حد امکان به برنامه‌ریزی بهتر در زمان وقوع بحران کمک شود.

مدل‌سازی ریاضی مسئله

در پژوهش حاضر، برای مکان‌یابی پناهگاه‌ها و تعیین حجم جریان بین نقاط تقاضا و درمانگاه‌ها، بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها یک مدل ریاضی ارائه شده است. تابع هدف در این پژوهش شامل حداقل کردن امید ریاضی زمان حمل‌ونقل افراد است. در مسئله پژوهش حاضر، نقاط حادثه‌دیده به‌عنوان مبدأ و بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها و پناهگاه‌ها به‌عنوان مقصدهای مسئله در نظر گرفته شده‌اند که همه این مکان‌ها دارای ظرفیت محدود هستند.

تمام پارامترهای مسئله، مانند تقاضای هر نقطه حادثه‌دیده در هر بازه زمانی و زمان سفر از نقاط حادثه‌دیده به بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها و پناهگاه‌ها اعدادی قطعی هستند. نبود قطعیت در این پژوهش به‌صورت سناریو دیده شده است. فرض شده که سناریوهای مختلف، هر یک با احتمالی مشخص می‌توانند در یک شهر رخ دهند. همچنین احتمال آسیب به هر منطقه در سناریوهای مختلف تعیین شده است. عمده فرض‌های مسئله عبارت‌اند از:

۱. چندین نقطه حادثه‌دیده، چندین پناهگاه و بیمارستان و درمانگاه در شهر در نظر گرفته شده است.
۲. تعداد و مکان نقاط آسیب، پناهگاه‌ها، بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها شناخته شده است.
۳. زمان‌های حمل‌ونقل بین تمام نقاط شبکه شناخته شده و به‌صورت متقارن است و از نامساوی مثلثی پیروی می‌کند.
۴. مقدار تقاضای هر نقطه حادثه‌دیده به‌صورت درصدی از جمعیت هر ناحیه شناخته شده است.
۵. افرادی که به بستری نیاز دارند، به بیمارستان‌ها و افرادی که به درمان سرپایی نیاز دارند، به بیمارستان‌ها یا درمانگاه‌ها مراجعه می‌کنند.
۶. احتمال رخ دادن هر سناریو مشخص است.

www.SID.ir

Archive of SID

اندیس‌ها

مجموعه اندیس‌های مسئله مکان‌یابی پناهگاه‌ها و تخصیص ناحیه‌ها به بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها در شرایط بحران عبارت‌اند از:

i: مجموعه اندیس نقاط حادثه‌دیده $i \in I$

s: مجموعه اندیس پناهگاه $s \in S$

h: مجموعه اندیس بیمارستان $h \in H$

v: مجموعه اندیس درمانگاه‌ها $v \in V$

k: مجموعه اندیس سناریوهای محتمل $k \in K$

پارامترها

پارامترهای مسئله مکان‌یابی پناهگاه‌ها و تخصیص ناحیه‌ها به بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها در شرایط بحران عبارت‌اند از:

d_i: مقدار جمعیت گره iام

t_{ih}: زمان سفر از نقطه تقاضای iام تا بیمارستان hام

t_{iv}: زمان سفر از نقطه تقاضای iام تا درمانگاه vام

t_{is}: زمان سفر از نقطه تقاضای iام تا پناهگاه sام

q: حداکثر تعداد پناهگاه‌هایی که می‌تواند انتخاب شوند.

β'_{ik}: احتمال صدمه دیدن و نیاز به درمان سرپایی در نقطه تقاضای iام تحت سناریوی kام

β''_{ik}: احتمال صدمه دیدن و نیاز به بستری در بیمارستان در نقطه تقاضای iام تحت سناریوی kام

Cap'_{ht}: ظرفیت بیمارستان hام در پریود tام برای درمان بیماران سرپایی

Cap''_{ht}: ظرفیت بیمارستان hام در پریود tام برای بستری بیماران

Cap_{vt}: ظرفیت درمانگاه vام در پریود tام برای درمان بیماران سرپایی

Cap_s: ظرفیت پناهگاه sام

p_k: احتمال رخ دادن سناریوی kام

θ'_t: ضریب جریمه برای انتقال مجروحان سرپایی در پریود t (پریودهای با فاصله بیشتر از زمان حادثه شامل جریمه بیشتری می‌شوند).

θ''_t: ضریب جریمه برای انتقال مجروحان نیازمند به بستری در پریود t (پریودهای با فاصله بیشتر از زمان حادثه شامل جریمه بیشتری می‌شوند).

α_i: درصدی از جمعیت هر ناحیه i که به درمان سرپایی، بستری و اسکان نیاز دارند.

متغیرها

متغیرهای تصمیم مسئله مکان‌یابی پناهگاه‌ها و تعیین حجم جریان بین نقاط شبکه در شرایط بحران عبارت‌اند از:

www.SID.ir

Archive of SID

y_s: اگر گره $s \in S$ به‌عنوان یک پناهگاه انتخاب شود برابر ۱ است، در غیر این صورت برابر صفر است.

ψ_{ivtk}: حجم جریان از نقطه تقاضای iام تا درمانگاه vام در پریود tام تحت سناریوی kام

δ'_{ihtk}: حجم جریان بیماران سرپایی از نقطه تقاضای iام تا بیمارستان hام در پریود tام و سناریوی kام

δ''_{ihtk}: حجم جریان بیمارانی که به بستری نیاز دارند از نقطه تقاضای iام تا بیمارستان hام در پریود tام و سناریوی kام

φ_{istk}: حجم جریان از نقطه تقاضای iام تا پناهگاه sام در پریود tام و سناریوی kام

در ادامه تابع هدف و محدودیت‌های مدل پیشنهادی ارائه شده است.

رابطه ۱)
$$Min \sum_{t\in T}\sum_{i\in I}\sum_{h\in H}\sum_{k\in K} t_{ih}(\theta'_t \delta'_{ihtk} + \theta''_t \delta''_{ihtk})p_k + \sum_{t\in T}\sum_{i\in I}\sum_{s\in S}\sum_{k\in K} t_{is}\varphi_{istk}p_k + \sum_{t\in T}\sum_{i\in I}\sum_{v\in V}\sum_{k\in K} \theta'_t t_{iv}\psi_{ivtk}p_k$$

$S.T$:

رابطه ۲)
$$\sum_{t\in T}\sum_{h\in H} \delta''_{ihtk} = \beta''_{ik} d_i \qquad \forall\ i \in I, k \in K$$

رابطه ۳)
$$\sum_{t\in T}\sum_{v\in V} \psi_{ivtk} + \sum_{t\in T}\sum_{h\in H} \delta'_{ihtk} = \beta'_{ik} d_i \qquad \forall\ i \in I, k \in K$$

رابطه ۴)
$$\sum_{t\in T}\sum_{s\in S} \varphi_{istk} = (\alpha_i - (\beta'_{ik} + \beta''_{ik}))d_i \qquad \forall\ i \in I, k \in K$$

رابطه ۵)
$$\sum_{i\in I} \varphi_{istk} \le Cap_{st} y_s \qquad \forall\ s \in S, t \in T\ k \in K$$

رابطه ۶)
$$\sum_{i\in I} \delta'_{ihtk} \le Cap'_{ht} \qquad \forall\ h \in H, t \in T, k \in K$$

رابطه ۷)
$$\sum_{i\in I} \delta''_{ihtk} \le Cap''_{ht} \qquad \forall\ h \in H, t \in T, k \in K$$

رابطه ۸)
$$\sum_{i\in I} \psi_{ivtk} \le Cap_{vt} \qquad \forall\ v \in V, t \in T, k \in K$$

رابطه ۹)
$$\sum_{s\in S} y_s \le q$$

رابطه ۱۰)
$$y_s \epsilon \{0.1\} \qquad \forall\ s \in S$$

رابطه ۱۱)
$$\delta'_{ihtk} \ge 0 \qquad \forall\ i \in I\ .\ h \in H, t \in T, k \in K$$

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه ۱۲) $\forall\ i \epsilon I\ ،\ h \epsilon H, t \epsilon T, k \epsilon K \qquad \delta^{"}_{ihtk} \geq 0$

رابطه ۱۳) $\forall\ i \epsilon I\ ،\ s \epsilon S, t \epsilon T, k \epsilon K \qquad \varphi_{istk} \geq 0$

رابطه ۱۴) $\forall\ i \epsilon I, v \epsilon V, t \epsilon T, k \epsilon K \qquad \psi_{ivtk} \geq 0$

تابع هدف ۱ بیان‌کننده امید ریاضی کل زمان سفر است. جمله نخست در این رابطه شامل زمان انتقال افراد از مناطق حادثه‌دیده به بیمارستان‌ها، جمله دوم زمان انتقال افراد از نقاط حادثه‌دیده به پناهگاه‌ها و جمله سوم شامل زمان انتقال افراد از نقاط حادثه‌دیده به درمانگاه‌هاست. با توجه به اینکه درمانگاه‌ها، بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها در هر بازه زمانی دارای محدودیت در پذیرش افراد هستند، در جمله‌های اول تا سوم تابع هدف ضریب جریمه برای پذیرش افراد در دوره‌های بعدی در نظر گرفته شده است. محدودیت ۲ نشان می‌دهد که افرادی که در هر ناحیه آسیب‌دیده تحت هر سناریو مجروح شده‌اند و به بستری در بیمارستان نیاز دارند، بایستی در یک بازه زمانی به یک بیمارستان منتقل شوند. محدودیت ۳ نشان می‌دهد، افراد آسیب‌دیده‌ای که به درمان سرپایی نیاز دارند می‌توانند در یک بازه زمانی به بیمارستان یا درمانگاه مراجعه کنند. محدودیت ۴ بیان‌کننده جمعیتی از افراد هر ناحیه آسیب‌دیده است که بایستی به پناهگاه‌ها منتقل شوند. محدودیت ۵ بیان‌کننده حداکثر ظرفیت پذیرش اسکان جدید در هر بازه زمانی است. محدودیت‌های ۶ تا ۸ بیان‌کننده حداکثر ظرفیت پذیرش بیمار سرپایی و بیمار نیازمند به بستری در بیمارستان‌ها و درمانگاه هستند. محدودیت ۹ نشان‌دهنده این است که حداکثر تعداد q پناهگاه می‌تواند تأسیس شود. محدودیت‌های ۱۱ تا ۱۴ بیان‌کننده نوع متغیرهای مسئله هستند.

اعتبارسنجی مدل

برای آزمون کارایی مدل پیشنهادی، مدل روی یک مثال تصادفی اجرا شده است. شهری فرضی با پنج ناحیه مختلف در نظر گرفته شده است. دو سناریو برای رخ دادن زلزله در این شهر پیش‌بینی و فرض شده که در سناریوی نخست ناحیه‌های یک و سه و در سناریوی دوم ناحیه‌های دو، سه و پنج آسیب بیشتری می‌بینند. همچنین سه بیمارستان و چهار درمانگاه برای این شهر فرض شده است. شش نقطه به‌عنوان مرکز اسکان اضطراری پیشنهاد شده‌اند که به‌ترتیب مرکز اسکان ۱ تا ۶ نام گرفته‌اند. زمان سفر بین گره‌های شبکه در جدول‌های ۲ تا ۵ آمده است.

جدول ۲. فاصله نقاط اسکان اضطراری تا مرکز هر ناحیه

نقاط اسکان/ ناحیه	۱	۲	۳	٤	٥
۱	۱۶	۱۲	۸	۹	۸
۲	۱۴	۱۰	۷	۷	۵
۳	۱۱	۷	۳	۳	۲
۴	۱۵	۱۱	۳	۸	۷
۵	۱۲	۹	۲	۷	۴
۶	۱۸	۱۲	۱۰	۱۰	۱۰

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. فاصله هر بیمارستان تا مرکز هر ناحیه

بیمارستان/ ناحیه	۱	۲	۳	٤	٥
۲	۱۸	۱۴	۹	۱۲	۱۱
۲	۱۲	۸	۳	۷	۴
۳	۱۱	۶	۷	۴	۹

جدول ٤. فاصله هر درمانگاه تا مرکز هر ناحیه

بیمارستان/ ناحیه	۱	۲	۳	٤	٥
۲	۱۸	۱۴	۹	۱۲	۱۱
۲	۱۲	۸	۳	۷	۴
۳	۱۱	۶	۷	۴	۹
بیمارستان/ ناحیه	۱	۲	۳	۴	۵

جدول ٥. ظرفیت پذیرش بیمار بستری در هر بیمارستان در هر دوره زمانی

درمانگاه / بازه زمانی	روز اول	روز دوم
۱	۳۰۰	۳۰
۲	۱۵۰	۱۵
۳	۱۰۰	۱۰

سایر اطلاعات موجود در این بخش برای دو دوره زمانی در نظر گرفته شده است. هر دوره زمانی شامل ۲۴ ساعت یا یک شبانه‌روز است. احتمال آسیب نیاز به درمان سرپایی در هر سناریو برای ناحیه‌های با آسیب بیشتر ۱۰ درصد و برای سایر ناحیه‌ها ۵ درصد در نظر گرفته شده است. احتمال آسیب نیاز به بستری در هر سناریو برای ناحیه‌های مختلف ۵۰ درصد احتمال آسیب نیاز به درمان سرپایی فرض شده است. کل جمعیت شهر ۳۰۰۰ نفر در نظر گرفته شده که به‌طور یکنواخت در ناحیه‌های مختلف توزیع شده‌اند. در جدول ۵ ظرفیت پذیرش بیمار بستری در هر بیمارستان آمده و فرض شده که در روز دوم ۱۰ درصد ظرفیت موجود برای پذیرش بیمار جدید آزاد شود.

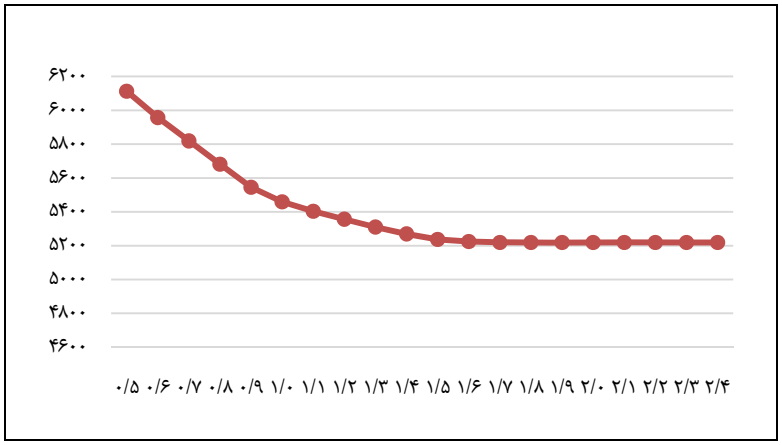
ظرفیت پذیرش بیماران نیازمند به درمان سرپایی برای بیمارستان‌های ۱ تا ۳ به‌ترتیب ۴۰۰، ۱۰۰ و ۵۰ نفر در روز در نظر گرفته شده است. از آنجا که بیماران سرپایی مدت زیادی را در بیمارستان نمی‌مانند و مدت زمان کمی ظرفیت را اشغال می‌کنند، این ظرفیت در هر دو روز یکسان در نظر گرفته شده است. ظرفیت پذیرش بیماران سرپایی برای همه درمانگاه‌ها در هر بازه زمانی ۱۰۰ نفر و ظرفیت پذیرش افراد سالم در همه پناهگاه‌ها در هر روز ۱۵۰ نفر در نظر گرفته شده است. احتمال رخ دادن سناریوی نخست ۰/۴ و احتمال رخ دادن سناریوی دوم ۰/۷۵ در نظر گرفته شده است.

www.SID.ir

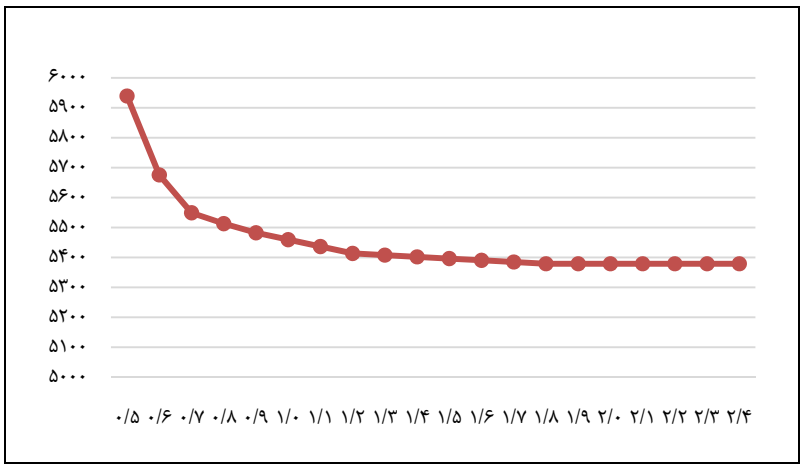
Archive of SID

ضریب جریمه برای انتقال دیرتر افراد مجروح نیازمند به درمان سرپایی به‌ترتیب ۱ و ۳ برای دو روز نخست در نظر گرفته شده است. این ضریب برای بیماران نیازمند به بستری به‌ترتیب ۱ و ۵ در نظر گرفته شده است. مقدار α_i برای هر ناحیه ۰/۳ در نظر گرفته شده است.

مسئله انتخابی با استفاده از نرم‌افزار گمز 24.1.2 و سالور CPLEX روی رایانه‌ای با پردازنده Intel(r) Core(TM) i7-7500U cpu@2.70GHz 2.90GHz اجرا شد. زمان حل مسئله در نرم‌افزار گمز ۰/۰۳۱ ثانیه بوده است. مقدار بهینه تابع هدف نیز ۵۴۵۹/۱۵ به دست آمد. در ادامه، در راستای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، برای برخی از پارامترهای مثال تصادفی تحلیل حساسیت انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده در شکل‌های ۱ تا ۳ آمده است. شایان ذکر است، محور افقی در این شکل‌ها ضریب در نظر گرفته‌شده برای مقدار اولیه هر یک از پارامترهای مسئله است و محور عمودی نیز مقدار تابع هدف را نشان می‌دهد.



شکل ۱. تحلیل حساسیت ظرفیت پناهگاه‌ها

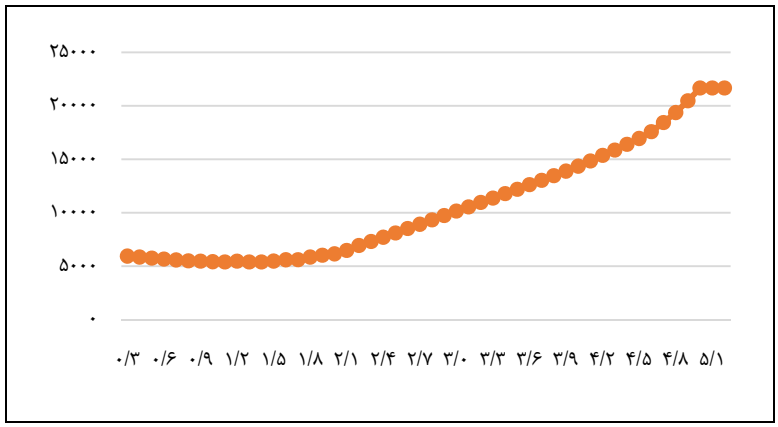


شکل ۲. تحلیل حساسیت ظرفیت بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها

همان طور که در نتیجه به‌دست‌آمده از تحلیل حساسیت مدل مشاهده می‌شود، با افزایش ضریب ظرفیت پناهگاه‌ها (شکل ۱) و افزایش ضریب ظرفیت بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها (شکل ۲) مقدار تابع هدف کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

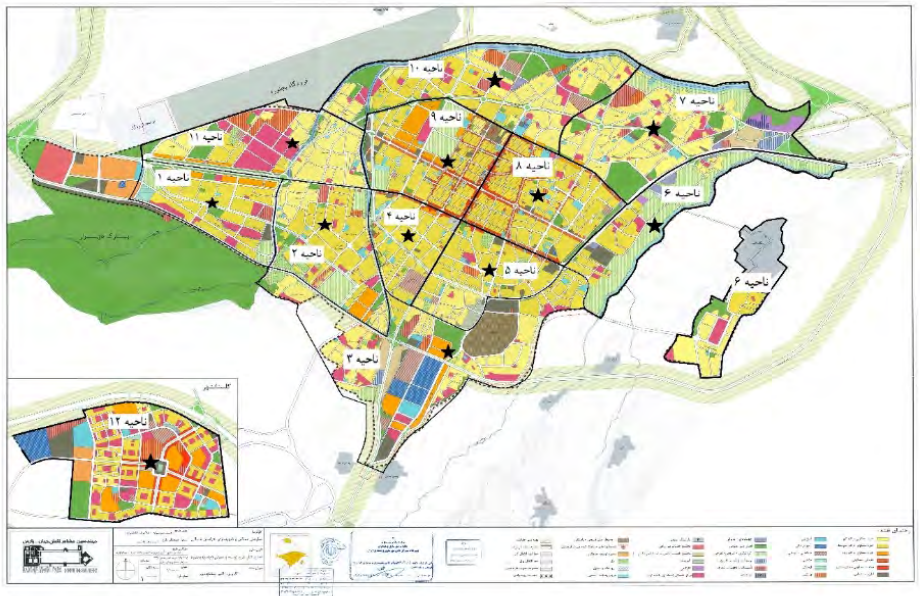


شکل ۳. تحلیل حساسیت احتمال آسیب نیاز به بستری و درمان سرپایی

با توجه به ثابت بودن جمعیت شهر، با افزایش احتمال آسیب نیاز به بستری و درمان سرپایی تعداد افراد مجروح زیاد و تعداد افراد سالم کمتر می‌شود. بنابراین، با افزایش احتمال آسیب نمودار تابع هدف کاملاً صعودی یا کاملاً نزولی نخواهد. این موضوع در شکل ۳ نشان داده شده است.

مطالعه موردی

شهر بجنورد، مرکز استان نوپای خراسان شمالی، در شمال شرق ایران و در کوهپایه‌های رشته‌کوه آلاداغ واقع شده است. این شهر، از نظر جمعیت، چهل‌وچهارمین شهر کشور به حساب می‌آید. بر اساس آخرین نتایج منتشرشده مرکز آمار ایران، این شهر ۲۳۳۸۱۰ نفر جمعیت و ۶۸۷۵۳ خانوار دارد. بر اساس تقسیم‌های شهرداری، شهر بجنورد دارای دو منطقه و یازده ناحیه است. در این پژوهش، شهرک گلستان به‌عنوان ناحیه دوازده در نظر گرفته شده است. نقشه ناحیه‌های شهری بجنورد در شکل ۴ آمده است.



شکل ٤. نقشه ناحیه‌های شهر بجنورد و مرکز هر ناحیه

منبع: طرح توسعه و عمران (جامع) شهر بجنورد (۱۳۸۹، ج۳)

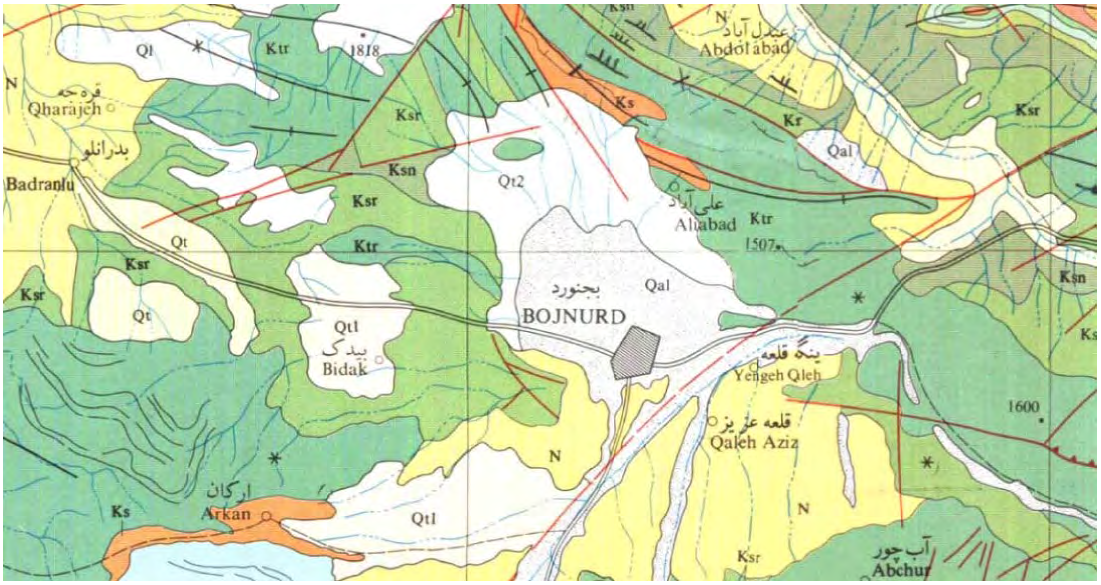
www.SID.ir

Archive of SID

گسل‌های عمده شهر بجنورد عبارت‌اند از: گسل باباموسی، دوبرار و گسل کوه کمر. در این پژوهش، دو سناریوی فعال شدن گسل باباموسی و گسل کوه‌کمر بررسی شده است. گسل باباموسی در ضلع شمالی شهر و گسل کوه کمر در ضلع شرقی بجنورد قرار دارد (شکل ۵). با توجه به موقعیت این گسل‌ها و فاصله ناحیه‌ها از هر گسل فرض شده که با فعال شدن گسل بابا موسی ناحیه‌های هفت، ده و دوازده و با فعال شدن گسل کوه کمر ناحیه‌های سه و شش آسیب بیشتری داشته باشند.

در دوره اسکان اضطراری، افراد به‌طور معمول در پناهگاه‌های جمعی مانند استادیوم‌های سرپوشیده، سالن‌های ورزشی، پارک‌ها و... اسکان داده می‌شوند. در این پژوهش نیز با مصاحبه با دو فرد خبره، چهارده مکان شامل فضاهای سرپوشیده شهر (مانند محل برگزاری نمایشگاه، مصلی و...)، سالن‌های ورزشی، پارک‌ها، زمین‌های خالی که در طرح تفصیلی شهر برای احداث پارک در آینده در نظر گرفته شده‌اند و موارد مشابه برای اسکان اضطراری افراد تعیین شده‌اند.

در ادامه، اطلاعات مربوط به زمان سفر بین ناحیه‌ها و نقاط اسکان اضطراری و همچنین زمان سفر بین ناحیه‌ها و درمانگاه‌ها و بیمارستان‌ها با استفاده از نرم‌افزار Google map استخراج شده است. به‌دلیل محدودیت صفحه از آوردن جزئیات این زمان‌ها خودداری می‌شود. سایر اطلاعات موجود در این بخش برای سه دوره زمانی در نظر گرفته و هر دوره زمانی شامل ۲۴ ساعت یا یک شبانه‌روز است.

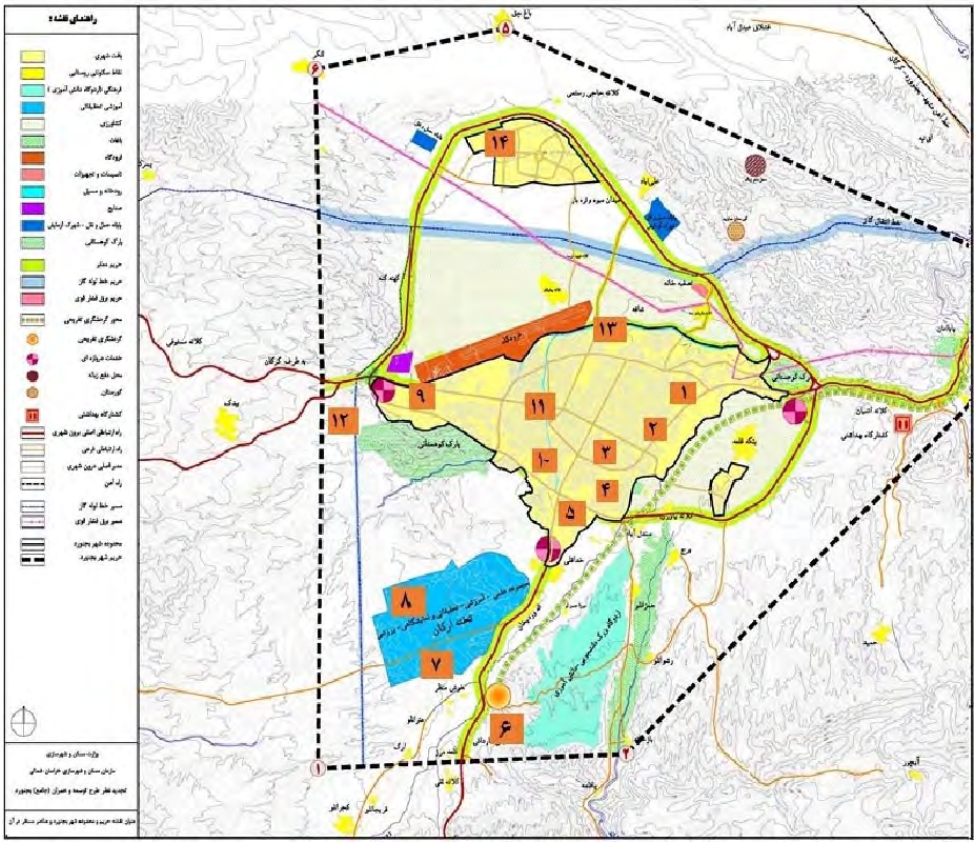


شکل ۵. نقشه گسل‌های شهر بجنورد

تعداد چهارده نقطه برای اسکان اضطراری افراد سالم پیشنهاد شده‌اند. این نقاط به‌ترتیب عبارت‌اند از: شهربازی، پارک معلم و دانشجو و پارک شهر، مجموعه ورزشی علیدخت، پارک لاله و تپه باستانی، سالن های دانشگاه آزاد و پیام نور و مجموعه کارگران، بش قارداش، نمایشگاه ارکان، استادیوم ورزشی ارکان، مرکز تحقیقات جهادکشاورزی و زمین روبروی پلیس راه، پارک ناوک و محوطه روبروی شهرداری منطقه ۲، پارک آفرینش و مصلی، شهرک صنعتی بیدک، استادیوم تختی و بازار هفتگی، دانشگاه فرهنگیان و پارک و خانه فرهنگ شهرک گلستان. این نقاط در شکل ۶ روی نقشه شهر بجنورد مشخص شده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦. نقاط پیشنهادی برای اسکان اضطراری افراد سالم در شهر بجنورد

منبع: طرح توسعه و عمران (جامع) شهر بجنورد (۱۳۸۹، ج۷)

مراکز درمانی شهر بجنورد شامل هفت بیمارستان و هشت درمانگاه است که به‌ترتیب شماره‌گذاری‌شده در این پژوهش عبارت‌اند از: بیمارستان امام حسن (ع)، بیمارستان امام علی (ع)، بیمارستان ثامن‌الحجج (ع)، بیمارستان ارتش، بیمارستان امام رضا (ع)، بیمارستان بنت‌الهدی (س)، بیمارستان آیت‌الله هاشمی شیروان، مرکز جراحی جوادالائمه (ع)، کلینیک امام سجاد (ع)، درمانگاه هلال احمر، درمانگاه شبانه‌روزی شفا، درمانگاه شبانه‌روزی خاتم (ص)، درمانگاه شبانه‌روزی فارابی، درمانگاه شبانه‌روزی حکمت و درمانگاه فرهنگیان.

احتمال آسیب نیاز به درمان سرپایی در سناریوی ۱ در ناحیه هفت و ده، ۴ درصد، احتمال آسیب به ناحیه دوازده، ۵ درصد و احتمال آسیب به سایر ناحیه‌ها ۲ درصد فرض شده است. در سناریوی ۲ احتمال آسیب به ناحیه‌های سه و شش، ۴ درصد و احتمال آسیب به سایر ناحیه‌ها ۲ درصد در نظر گرفته شده است. احتمال آسیب نیاز به بستری در هر یک از ناحیه‌ها ۲۵ درصد احتمال آسیب نیاز به درمان سرپایی در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است، با فرض توزیع یکسان جمعیت شهری در هر یک از ناحیه‌ها، جمعیت هر ناحیه ۱۹۵۰۰ نفر در نظر گرفته شده است. در جدول ۶ ظرفیت پذیرش بیمار بستری در هر بیمارستان آمده است. این جدول بر اساس اطلاعات موجود در سایت اینترنتی هر یک از بیمارستان‌ها تکمیل شده است. ظرفیت هر بیمارستان در روز نخست به تعداد تخت‌های موجود در آن بیمارستان در نظر گرفته شده

www.SID.ir

Archive of SID

است. فرض شده که در روز دوم و سوم به‌ترتیب ۱۰ درصد و ۲۰ درصد از ظرفیت اشغال‌شده در روز نخست برای پذیرش بیمار جدید آزاد شود.

جدول ٦. ظرفیت پذیرش بیماران بستری هر بیمارستان در هر بازه زمانی (روز)

ردیف	درمانگاه	روز اول	روز دوم	روز سوم
۱	بیمارستان امام حسن (ع)	۳۲۰	۳۲	۶۴
۲	بیمارستان امام علی (ع)	۱۶۲	۱۶	۳۲
۳	بیمارستان ثامن‌الحجج (ع)	۱۲۲	۱۲	۲۴
۴	بیمارستان ارتش	۹۵	۹	۱۹
۵	بیمارستان امام رضا (ع)	۱۸۴	۱۸	۳۶
۶	بیمارستان (زایشگاه) بنت‌الهدی (س)	۱۴۲	۱۴	۲۸
۷	بیمارستان آیت‌الله هاشمی شیروان	۲۲۰	۲۲	۴۴

ظرفیت پذیرش بیماران نیازمند به درمان سرپایی به‌صورت ۱/۵ برابر ظرفیت پذیرش بیمار بستری در روز نخست در نظر گرفته شده است. از آنجا که بیماران سرپایی مدت زیادی را در بیمارستان نمی‌مانند و مدت زمان کمی ظرفیت را اشغال می‌کنند، این ظرفیت در تمامی روزها یکسان در نظر گرفته شده است. ظرفیت پذیرش بیماران سرپایی برای همه درمانگاه‌ها، به‌جز مرکز جراحی جوادالائمه (ع)، در هر بازه زمانی ۱۰۰ نفر در نظر گرفته شده است. این ظرفیت برای مرکز جراحی جوادالائمه (ع) ۱۵۰ نفر لحاظ شده است. ظرفیت پذیرش افراد سالم در همه پناهگاه‌ها در هر روز ۱۵۰۰ نفر در نظر گرفته شده به‌جز شهرک صنعتی بیدک و استادیوم ورزشی ارکان که تعداد پذیرش در هر روز ۲۰۰۰ نفر فرض شده است.

یافته‌های پژوهش

مسئله انتخابی با استفاده از نرم‌افزار گمز 24.1.2 و ابزار حل CPLEX روی رایانه‌ای با پردازنده Intel(r) Core(TM) i7-7500U cpu@2.70GHz 2.90GHz اجرا شد. نحوه تخصیص بهینه هر یک از ناحیه‌های شهر به پناهگاه‌های پیشنهادی در پاسخ به رخ دادن سناریوی ۱ در جدول ۷ آمده است. در مثال ذکرشده تمامی پناهگاه‌های پیشنهادی به ناحیه‌ها تخصیص یافته‌اند. با توجه به محدودیت صفحه برای رعایت اختصار از آوردن جدول‌های مربوط به سناریوی ۲ خودداری می‌شود. در ادامه چند سطر نخست هر جدول آورده شده است.

نمونه‌ای از جدول ۷، ناحیه یک به پناهگاه‌های نمایشگاه ارکان (پناهگاه هفت)، مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی (پناهگاه نه) و شهرک صنعتی بیدک (پناهگاه دوازده) تخصیص یافته، به‌طوری که تمامی ظرفیت اسکان مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی در روزهای اول تا سوم به این ناحیه تخصیص یافته است. نمایشگاه ارکان و شهرک صنعتی بیدک نیز به‌ترتیب ۳۰۶ نفر و ۵۵۶ نفر در روز نخست از این ناحیه پذیرش خواهند داشت.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷. تعداد افرادی که در هر روز از هر پناهگاه به هر ناحیه می‌روند.

ردیف	تعداد افراد	روز	پناهگاه	ناحیه	ردیف	تعداد افراد	روز	پناهگاه	ناحیه
۱	۳۰۶	۱	۷	۱	۶	۶۳۸	۱	۶	۲
۲	۱۵۰۰	۱	۹	۱	۷	۱۳۰۲	۲	۶	۲
۳	۱۵۰۰	۲	۹	۱	۸	۱۱۹۴	۱	۷	۲
۴	۱۵۰۰	۳	۹	۱	...				
۵	۵۵۶	۱	۱۲	۱	۵۲	۱۵۰۰	۳	۱۴	۱۲

در جدول ۸ تعداد افرادی که در هر روز از هر ناحیه برای درمان سرپایی به درمانگاه‌ها می‌روند در پاسخ به رخ دادن سناریوی ۱ مشخص شده است. به‌طور مثال، ناحیه دو به مرکز جراحی جوادالائمه (ع) (درمانگاه ۱) تخصیص یافته است، به‌طوری که در روز دوم و سوم به‌ترتیب ۵۰ و ۱۰۰ نفر از افراد آسیب‌دیده برای درمان سرپایی به این مرکز مراجعه می‌کنند. بر اساس اطلاعات موجود در جدول ۸ سایر افراد حادثه‌دیده این ناحیه بایستی برای درمان سرپایی به بیمارستان‌های امام حسن (ع) و بنت‌الهدی مراجعه کنند.

جدول ۸. تعداد افراد که در هر روز از هر ناحیه برای درمان سرپایی به هر درمانگاه می‌روند

ردیف	تعداد افراد	روز	درمانگاه	ناحیه	ردیف	تعداد افراد	روز	درمانگاه	ناحیه
۱	۵۰	۲	۱	۲	۱۴	۱۰۰	۳	۴	۸
۲	۱۰۰	۳	۱	۲	۱۵	۱۰۰	۳	۷	۸
۳	۱۰۰	۲	۵	۴	۱۶	۱۰۰	۲	۶	۹
۴	۱۰۰	۳	۵	۴	...	۱۰۰			
۵	۱۰۰	۲	۲	۵	۲۷	۱۰۰	۱	۸	۱۲

در جدول ۹ تعداد افرادی که در هر روز از هر ناحیه برای درمان سرپایی به هر بیمارستان می‌روند، در سناریوی ۱ مشخص شده است. به‌طور مثال، سایر افراد حادثه‌دیده ناحیه دو به بیمارستان امام حسن (ع) (بیمارستان ۱) و بیمارستان بنت‌الهدی (بیمارستان ۶) تخصیص یافته‌اند، به‌طوری که در روز نخست ۴۰ نفر به بیمارستان امام حسن (ع) و در روزهای دوم و سوم در مجموع ۲۰۰ نفر به بیمارستان بنت‌الهدی مراجعه می‌کنند.

جدول ۹. تعداد افرادی که در هر روز از هر ناحیه برای درمان سرپایی به هر بیمارستان می‌روند.

ردیف	تعداد نفر	روز	بیمارستان	ناحیه	ردیف	تعداد نفر	روز	بیمارستان	ناحیه
۱	۱۰۰	۱	۱	۱	۶	۱۰۰	۲	۶	۲
۲	۱۰۰	۱	۲	۱	۷	۱۰۰	۳	۶	۲
۳	۹۰	۱	۳	۱	۸	۶۱	۱	۱	۳
۴	۱۰۰	۱	۶	۱	...				
۵	۴۰	۱	۱	۲	۴۵	۱۰۰	۱	۶	۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

در جدول ۱۰ تعداد افرادی که در هر روز از هر ناحیه برای بستری به هر بیمارستان می‌روند در سناریوی ۱ مشخص شده است. به‌طور مثال، افراد حادثه‌دیده ناحیه دو به بیمارستان امام حسن (ع) (بیمارستان ۱) و بیمارستان ثامن‌الحجج (ع) (بیمارستان ۳) تخصیص یافته‌اند، به‌طوری که به‌ترتیب ۷۲ و ۲۵ نفر در روز نخست بایستی به این بیمارستان‌ها مراجعه کنند.

جدول ۱۰. تعداد افرادی که در هر روز از هر ناحیه برای بستری به هر بیمارستان می‌روند.

ردیف	تعداد نفر	روز	بیمارستان	ناحیه	ردیف	تعداد نفر	روز	بیمارستان	ناحیه
۱	۹۷	۱	۱	۱	۶	۳۲	۳	۲	۳
۲	۷۲	۱	۱	۲	۷	۴۹	۱	۱	۴
۳	۲۵	۱	۳	۲	۸	۴۸	۱	۲	۴
۴	۱	۲	۱	۳	...				
۵	۶۴	۳	۱	۳	۳۴	۶	۲	۷	۱۲

بحث و تحلیل حساسیت

در این پژوهش مدلی ریاضی برای یافتن تخصیص بهینه ناحیه‌های شهر بجنورد به نقاط اسکان اضطراری، بیمارستان‌ها و درمانگاه‌های موجود ارائه شده و دو سناریوی فعال شدن گسل کوه کمر و گسل باباموسی بررسی شد. با توجه به نزدیکی هر ناحیه به گسل‌های ذکرشده فرض شد که با فعال شدن گسل بابا موسی ناحیه‌های هفت، ده و دوازده (سناریوی ۱) و با فعال شدن گسل کوه کمر ناحیه‌های سه و شش (سناریوی ۲) آسیب بیشتری داشته باشند. در ادامه نحوه تخصیص بهینه ناحیه‌ها به پناهگاه‌ها، بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها در جدول‌های ۱۱ تا ۱۴ آمده است.

جدول ۱۱. ناحیه‌های تخصیص‌یافته به هر پناهگاه در هر سناریو

پناهگاه	سناریو ۱	سناریو ۲	پناهگاه	سناریوی ۱	سناریوی ۲
شهربازی	۷	۷	استادیوم ورزشی ارکان	۵، ۶ و ۱۰	۵، ۶ و ۱۰
پارک معلم، دانشجو و پارک شهر	۶، ۷ و ۸	۶، ۷ و ۸	مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی	۱	۱
مجموعه علیدخت	۵ و ۸	۵ و ۸	پارک ناوک	۲ و ۴	۲ و ۴
پارک لاله	۳ و ۶	۳ و ۶	پارک آفرینش و مصلی	۹	۹ و ۱۲
دانشگاه آزاد، پیام‌نور و مجموعه کارگران	۳، ۵ و ۶	۳، ۵ و ۶	شهرک صنعتی بیدک	۱ و ۱۱	۱، ۱۱ و ۱۲
بش قارداش	۲، ۴، ۵ و ۹	۴ و ۹	استادیوم تختی	۱۰	۱۰
نمایشگاه ارکان	۱، ۲ و ۴	۲، ۴، ۵، ۶ و ۱۱	دانشگاه فرهنگیان، پارک و خانه فرهنگ شهرک گلستان	۱۲	۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۲. ناحیه‌های تخصیص‌یافته به هر درمانگاه در هر سناریو

درمانگاه	ناحیه‌های تخصیص‌یافته سناریوی ۱	ناحیه‌های تخصیص‌یافته سناریوی ۲
مرکز جراحی جوادالائمه (ع)	۲، ۱۱ و ۱۲	۱، ۲ و ۱۱
کلینیک امام سجاد (ع)	۵ و ۷	۳، ۵ و ۶
درمانگاه هلال احمر	۶ و ۷	۶ و ۷
درمانگاه شبانه‌روزی شفا	۸ و ۱۲	۷ و ۸
درمانگاه شبانه‌روزی خاتم (ص)	۴ و ۱۲	۱، ۴ و ۱۱
درمانگاه شبانه‌روزی فارابی	۹ و ۱۲	۱، ۴ و ۹
درمانگاه شبانه‌روزی حکمت	۶ ۷ و ۸	۶ و ۸
درمانگاه فرهنگیان	۱۰ و ۱۲	۱۰ و ۱۲

جدول ۱۳. ناحیه‌های تخصیص‌یافته به هر بیمارستان برای درمان سرپایی

	بیمارستان	ناحیه‌های تخصیص‌یافته						
سناریوی ۱	بیمارستان امام حسن (ع)	۱	۲	۶	۶	۷	۱۱	۱۲
	بیمارستان امام علی (ع)	۱	۶	۴	۵	۶	۷	۱۲
	بیمارستان ثامن‌الحجج (ع)	۱	۳	۴	۵	۱۱		
	بیمارستان ارتش	۹	۱۰	۱۲				
	بیمارستان امام رضا (ع)	۷	۸	۱۰	۱۲			
	بیمارستان (زایشگاه) بنت‌الهدی (س)	۱	۲	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
سناریوی ۲	بیمارستان امام حسن (ع)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	
	بیمارستان امام علی (ع)	۱	۳	۴	۵	۶		
	بیمارستان ثامن‌الحجج (ع)	۲	۳	۵				
	بیمارستان ارتش	۴	۹	۱۰	۱۱	۱۲		
	بیمارستان امام رضا (ع)	۶	۷	۸	۱۰	۱۲		
	بیمارستان (زایشگاه) بنت‌الهدی (س)	۱	۲	۴	۹	۱۱	۱۲	

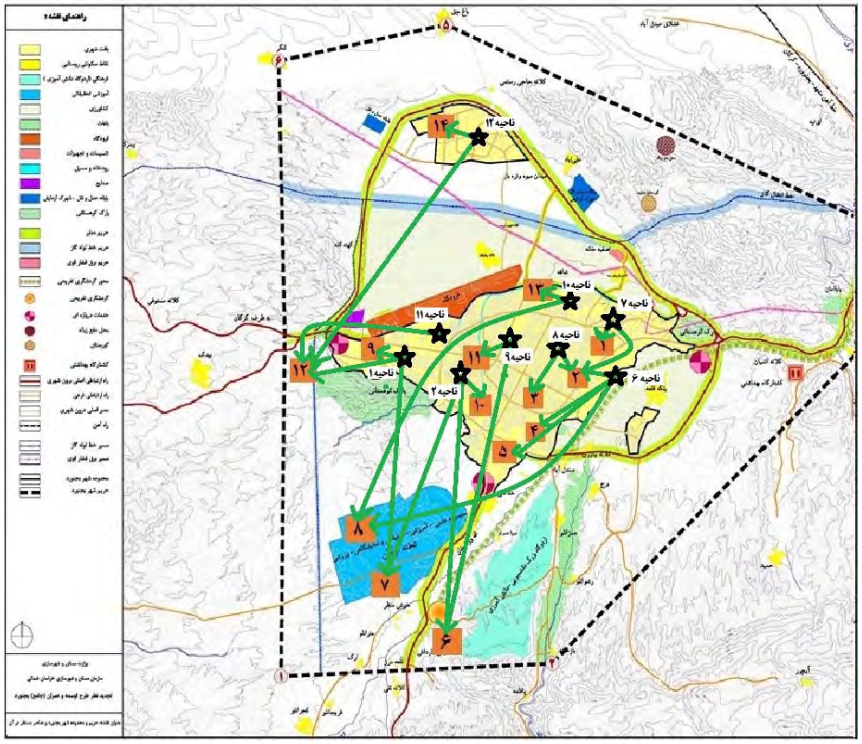
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۴. ناحیه‌های تخصیص‌یافته به هر بیمارستان برای بستری بیماران

	بیمارستان	ناحیه‌های تخصیص‌یافته					
سناریو ۱	بیمارستان امام حسن (ع)	۱	۲	۳	۴	۵	۸
	بیمارستان امام علی (ع)	۳	۴	۵	۶	۷	
	بیمارستان ثامن‌الحجج (ع)	۲	۵	۱۱			
	بیمارستان ارتش	۹	۱۲				
	بیمارستان امام رضا (ع)	۷	۸	۹	۱۰	۱۲	
	بیمارستان (زایشگاه) بنت‌الهدی (س)	۹	۱۰	۱۲			
	بیمارستان آیت‌الله هاشمی شیروان	۶	۷	۱۲			
سناریو ۲	بیمارستان امام حسن (ع)	۱	۳	۴	۵	۶	۸
	بیمارستان امام علی (ع)	۳	۴	۶			
	بیمارستان ثامن‌الحجج (ع)	۲	۵				
	بیمارستان ارتش	۹	۱۰	۱۲			
	بیمارستان امام رضا (ع)	۷	۸	۹	۱۰		
	بیمارستان (زایشگاه) بنت‌الهدی (س)	۱	۹	۱۱			
	بیمارستان آیت‌الله هاشمی شیروان	۱۲					

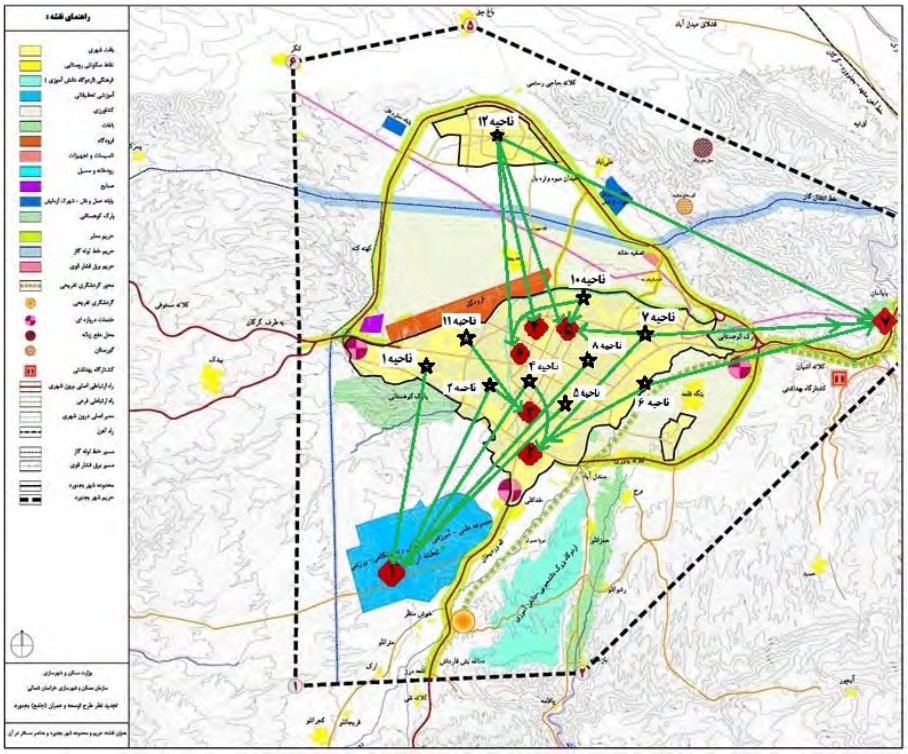
برای نمایش بهتر نتیجه‌های به‌دست‌آمده از پژوهش، نحوه تخصیص ناحیه‌ها به پناهگاه‌ها، بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها در روز نخست بعد از رخ دادن زلزله در شکل‌های ۷ تا ۹ آمده است.



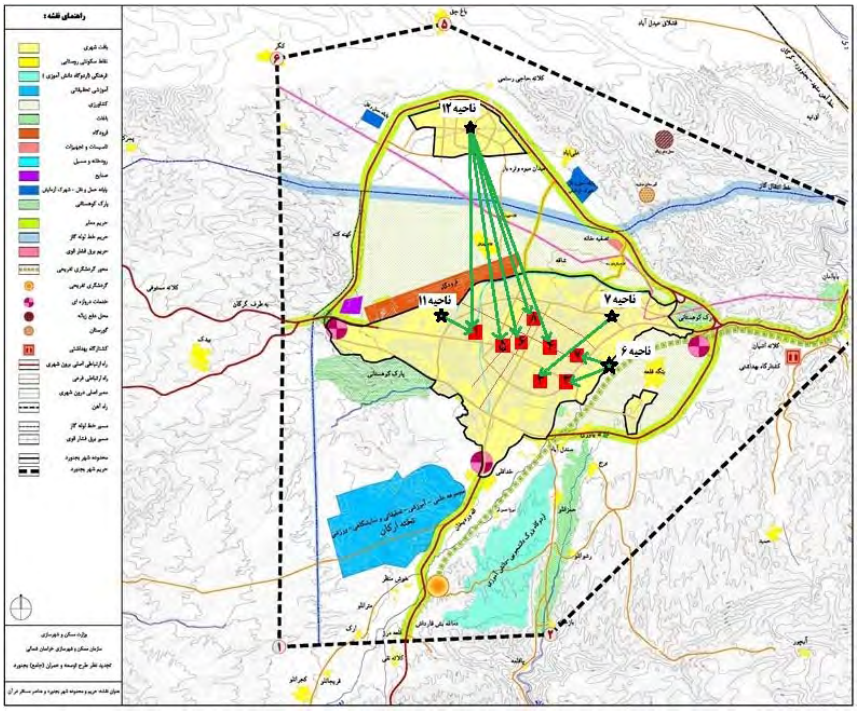
شکل ۷. تخصیص ناحیه‌های مختلف به نقاط اسکان اضطراری در روز نخست

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸. تخصیص ناحیه‌های مختلف شهر به بیمارستان‌ها در روز نخست



شکل ۹. تخصیص ناحیه‌های مختلف شهر به درمانگاه‌ها در روز نخست

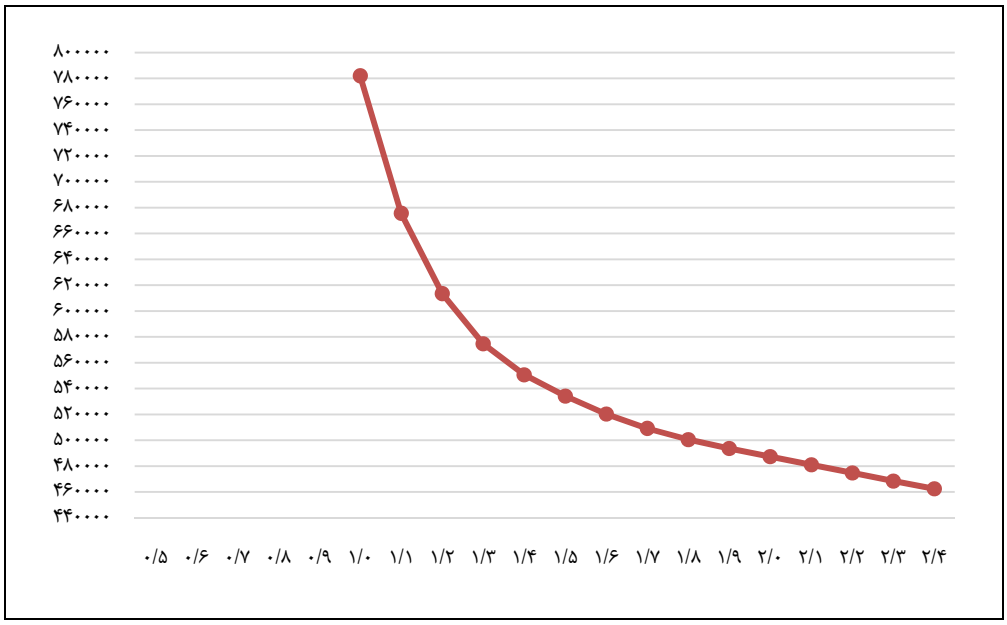
www.SID.ir

Archive of SID

همان‌طور که در جدول‌های این پژوهش آمد، با وجود آنکه احتمال آسیب در ناحیه‌های مختلف شهری مقداری اندک در نظر گرفته شده است، ظرفیت بیمارستان‌های شهر پاسخ‌گوی مجروحان نیست و برای بستری به بیمارستان شهر شیروان نیز نیاز وجود داشته است. به‌دلیل مسافت زیاد این بیمارستان با شهر بجنورد (در مقایسه با سایر بیمارستان‌ها)، این بیمارستان به درمان سرپایی بیماران تخصیص نیافته است.

تخصیص بیماران در روزهای دوم و سوم به بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها نیز گویای این مطلب است که ظرفیت روزانه در نظر گرفته‌شده برای این مراکز کم بوده و برای درمان سرپایی یا بستری بیماران، به مراکز موقت درمانی نیاز است. علاوه بر اینکه در این پژوهش، روستاهای هم‌جوار و آسیب واردشده به آنها در نظر گرفته نشده‌اند. بدیهی است، با توجه به بافت فرسوده این مناطق و نبود مراکز درمانی مجهز در روستاها، افراد آسیب‌دیده در این مناطق به مراکز درمانی موجود در شهر منتقل می‌شوند و حجم تقاضا در مراکز درمانی شهر بیشتر خواهد شد. به این ترتیب، نیاز است تا مراکز درمانی صحرایی در مناطقی نزدیک به روستاها پیش از وقوع چنین حوادثی مکان‌یابی شوند.

برای تحلیل بهتر نتایج به‌دست‌آمده، تحلیل حساسیت برخی از پارامترهای مدل پیشنهادی در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ آورده شده است.

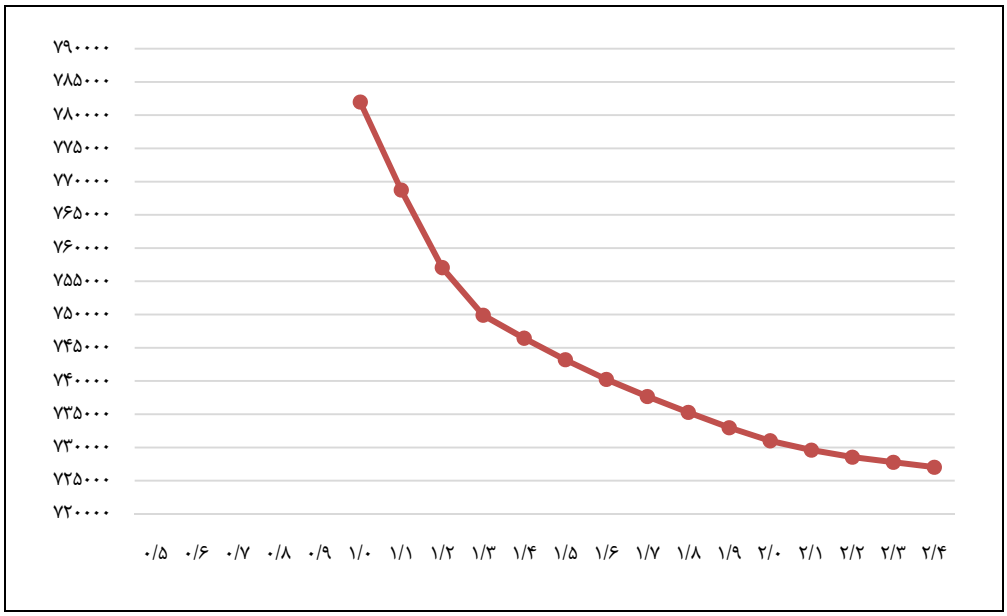


شکل ۱۰. تحلیل حساسیت ظرفیت پناهگاه‌ها

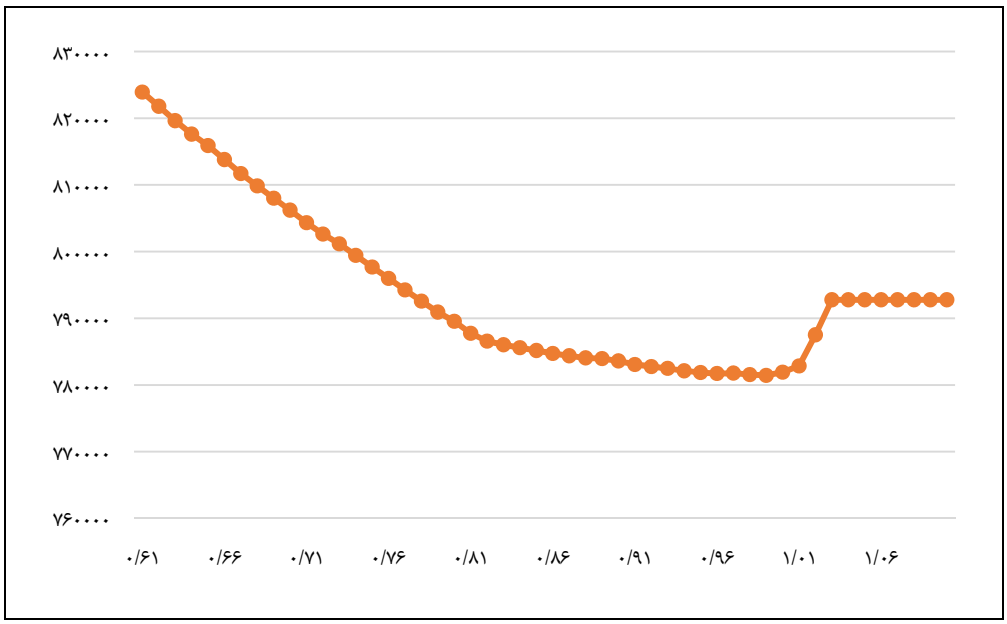
همان‌طور که در شکل ۱۰ مشخص است، افزایش ظرفیت پناهگاه‌ها به دو برابر ظرفیت اولیه به کاهش ۳۷/۶۶ درصدی در مقدار تابع هدف منجر خواهد شد. دو برابر شدن ظرفیت بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها نیز مقدار تابع هدف را ۶/۵ درصد کاهش خواهد داد (شکل ۱۱).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱. تحلیل حساسیت ظرفیت بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها



شکل ۱۲. تحلیل حساسیت احتمال آسیب نیاز به بستری و درمان سرپایی

همان‌طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، با توجه به ثابت بودن جمعیت شهر در صورت زیاد شدن تعداد مجروحان تعداد افراد سالم کمتر خواهد شد. بنابراین در صورت افزایش احتمال آسیب نیاز به بستری و درمان سرپایی، تغییرات تابع هدف کاملاً صعودی یا کاملاً نزولی نخواهد بود. چنانچه احتمال آسیب به افراد ۳ درصد بیشتر از مقدار اولیه شود (ضریب ۱/۰۳)، به‌دلیل نبود ظرفیت بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها حد پایین و بالای متغیرهای مربوط به حجم انتقال افراد با یکدیگر برابر می‌شوند و مقدار تابع هدف تغییری نخواهد کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یکی از راه‌حل‌های اساسی برای تسریع در امدادرسانی، انتقال افراد سالم از مناطق حادثه‌دیده به پناهگاه است. با انتقال افراد سالم از مناطق حادثه‌دیده به پناهگاه‌ها می‌توان به میزان شایان توجهی هزینه‌ها وآسیب‌های احتمالی را کاهش داد و سبب سرعت بخشیدن به سایر فعالیت‌های امدادی و کمک‌رسانی بهتر و سریع‌تر به سایر افراد مصدوم در حادثه نیز شد. افراد آسیب‌دیده در حادثه نیز با توجه به شدت آسیب واردشده به مراجعه به بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها نیاز دارند. تخصیص مناسب هر یک از ناحیه‌های شهر به بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها می‌تواند سبب انتقال سریع‌تر این افراد به مراکز درمانی و حفظ جان انسان‌ها شود. در این پژوهش، برای یافتن تخصیص بهینه ناحیه‌های شهر بجنورد به نقاط اسکان اضطراری، بیمارستان‌ها و درمانگاه‌های موجود مدلی ریاضی ارائه شد و نحوه تخصیص بهینه در دو سناریوی مختلف وقوع زلزله گزارش شد. با وجود آنکه احتمال آسیب به ناحیه‌های شهری کم در نظر گرفته شد، نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که ظرفیت مراکز درمانی شهر بجنورد پاسخ‌گوی تقاضای ایجادشده نخواهند بود و به مراجعه به مراکز درمانی شهرهای مجاور یا مراجعه در روزهای بعدی نیاز خواهد بود.

همان‌طور که در شکل ۸ و ۹ مشخص است، تراکم مراکز درمانی در مرکز شهر بیشتر از سایر ناحیه‌ها است و بسیاری از ناحیه‌ها از جمله حاشیه شهر فاصله زیادی تا نزدیک‌ترین مرکز درمانی دارند. پیشنهاد می‌شود، مسئولان شهر با نگاهی دوباره پراکنش مراکز درمانی شهر را بررسی کنند و برای احداث مراکز درمانی موقت در ناحیه‌های مورد نیاز تدابیر لازم را بیندیشند. همان‌طور که در نتایج به‌دست‌آمده از حل مدل در دو سناریوی مختلف مشاهده شد، نحوه تخصیص ناحیه‌ها به پناهگاه‌ها، بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها در سناریوهای مختلف تفاوت زیادی با یکدیگر ندارند و فقط تعداد افراد تخصیص داده‌شده به این نقاط در سناریوهای مختلف کمی با یکدیگر اختلاف دارند.

موضوع‌های زیر برای استفاده در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود.

- مکان‌یابی نقاط بهینه برای احداث مراکز درمانی موقت
- در نظر گرفتن زمان لازم برای رسیدگی به بیماران با سطوح مختلف جراحت و خالی شدن ظرفیت بیمارستان
- در نظر گرفتن احتمال خرابی راه‌ها
- در نظر گرفتن عدم قطعیت برای زمان حمل‌ونقل بین نقاط
- در نظر گرفتن محدودیت تعداد آمبولانس و سایر وسایل نقلیه
- در نظر گرفتن مکان انبارها در مسئله برای ارسال مواد غذایی، دارو، لوازم پزشکی و بهداشتی برای خدمت‌رسانی بهتر و سریع‌تر

منابع

اسدی، مونا؛ شفیعا، محمدعلی؛ یعقوبی، سعید (۱۳۹۶). ارائه یک مدل یکپارچه لجستیک امداد با در نظر گرفتن تسهیلات پشتیبان (مطالعه موردی: زلزله در شهر تهران). *نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*. ۲۸(۱)۱، ۱۷۵-۱۹۰.

www.SID.ir

Archive of SID

برزین‌پور، فرناز؛ صفاریان، محسن؛ تیموری، ابراهیم (۱۳۹۳). الگوریتم فراابتکاری برای حل مدل برنامه‌ریزی چند هدفه مکان‌یابی و تخصیص سه سطحی در لجستیک امداد. *مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن*. ۱۱(۲)، ۲۷-۵۰.

بزرگی امیری، علی؛ جبل عاملی، سعید؛ عاملی، هاشم (۱۳۹۴). یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو هدفه برای طراحی زنجیره امداد با تقاضا، تأمین و پارامترهای هزینه‌ای تصادفی. *نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*. ۲۶ (۳)، ۳۰۰-۳۱۰.

بزرگی امیری، علی؛ صبوحی، فاطمه؛ توکلی، زینب السادات؛ مرادحاصلی، نیلوفر (۱۳۹۵). ارائه مدل مکان‌یابی تخصیص برای تخلیه افراد و توزیع کمک‌های امدادی در فاز پاسخ به بحران. *فصلنامه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*، ۲۷ (۳).

دریکوند، حدیث؛ خلیل‌زاده محمد (۱۳۹۷). ارائه یک مدل غیرخطی دوهدفه لجستیک بشردوستانه تحت شرایط عدم قطعیت برای بحران زلزله در منطقه ۱ شهر تهران، *دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، ۷ (۲)، ۳۵-۴۹.

رحمانی، زهره؛ صفائی، عبدالستار؛ پایدار، محمدمهدی (۱۳۹۷). مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای مکان‌یابی مرا کز درمانی موقت و برنامه‌ریزی لجستیکی پس از بحران، *دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، ۷ (۲)، ۱۹-۳۳.

سیدی، سید حسین؛ خاتمی فیرورآبادی، سید محمدعلی؛ امیری، مقصود؛ تقوی فرد، سید محمد تقی (۱۳۹۸). مکان‌یابی و تخصیص بهینه نقاط انتقال، بیمارستان و مراکز امدادی برای تشکیل زنجیره امدادرسانی در بحران، با فرض غربالگری مجروحان، *مدیریت صنعتی*، ۱۱ (۱)، ۱-۲۰.

صادقی‌مقدم، محمدرضا؛ قاسمیان صاحبی، ایمن (۱۳۹۷). طراحی یک مدل ریاضی به‌منظور بهبود کیفیت پاسخ‌گویی به تقاضا در مراکز فوریت‌های پزشکی در یک زنجیره تأمین بشردوستانه، *پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری*، ۳ (۱)، ۲۱۷-۲۴۲.

صبوحی، فاطمه؛ حیدری، مهدی؛ بزرگی امیری، علی (۱۳۹۶). ارائه‌ی مدل مسیریابی و زمان‌بندی جهت تخلیه اضطراری با در نظر گرفتن امکان تراکنش بین پناهگاه‌ها. *نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*، ۲۸(۱)، ۵۶-۶۷.

طرح توسعه و عمران (جامع) شهر بجنورد (۱۳۸۹). سازمان مسکن و شهرسازی استان خراسان شمالی، جلد سوم: مطالعات کالبدی، ص ۱۳.

طرح توسعه و عمران (جامع) شهر بجنورد (۱۳۸۹). سازمان مسکن و شهرسازی استان خراسان شمالی، جلد هفتم: ضوابط و مقررات شهرسازی و ساختمانی، ص ۱۰۳.

طیبی، لیونا؛ یزدانی، مهدی (۱۳۹۸). مدل‌سازی مسئله مکان‌یابی و تخصیص در شرایط بحران زلزله و حل آن به‌وسیله الگوریتم های فراابتکاری، *دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، ۸ (۱)، ۵-۲۰.

قاسمی، روح اله؛ علی دوستی، علی؛ حسنوی، رضا؛ نوروزیان ریکنده، جابر (۱۳۹۷). شناسایی و اولویت‌بندی اقدامات زنجیره تأمین بشردوستانه برای تأمین مواد غذایی ضروری قبل از زمین لرزه. *مدیریت صنعتی*،۱۰ (۱)، ۱-۱۶.

گل‌محمدی، سجاد؛ ماهوتچی، مسعود (۱۳۹۶). توسعه یک مدل تصادفی برای ایجاد یک شبکه امدادرسانی پس از

www.SID.ir

Archive of SID

بلایای طبیعی (مطالعه موردی: زلزله احتمالی در شهر تهران). *نشریه تخصصی مهندسی صنایع*، ۵۱ (۴)، ۴۱۷-۴۳۳.

محمدی، احمد؛ یعقوبی، سعید؛ نهفتی کهنه، جمال (۱۳۹۳). ارائه مدل ریاضی دوهدفه لجستیک امداد با نقاط انتقال و تسهیلات پشتیبان (مطالعه موردی: بحران زلزله در منطقه یک تهران). *مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن*، ۱۱(۴)، ۱۱۹-۱۳۸.

محمدی، رضا؛ فاطمی‌قمی، محمدتقی؛ جولای، فریبرز (۱۳۹۴). ارائه مدل چندهدفه بهینه‌سازی استوار برای برنامه‌ریزی لجستیکی در واکنش به زلزله با در نظر گرفتن مراکز توزیع و درمان موقت، *نشریه مهندسی صنایع و مدیریت (شریف ویژه علوم مهندسی)*، ۱-۳۱(۲/۱)، ۹۳-۱۰۵.

References

Asadi, M., Shafi'a, M. A., Yaghoubi, S. (2017). Providing an Integrated Logistic Model of Relief with Support Facilities (Case Study: Earthquake in Tehran). *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, 28, 175-190. (*in Persian*).

Barzinpour, F., Saffarian, M., Timouri, I. (2014). Metaheuristic Algorithm for Solving Multi-Objective Planning Model and Three-Level Allocation in Rescue Logistics. *Journal of Operations Research and its Applications*, 11(2), 27-50. (*in Persian*)

Bozorgi Amiri, A., Jebel Ameli, S., Ameli, H. (2015). A Two-Objective Random Planning Model for Demand, Supply and Random Cost Parameter Chain Design. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, 26 (3), 300-310. (*in Persian*)

Bozorgi Amiri, A., Sabouhi, F., Tavakoli, Z. S., Morad Haseli, N. (2016). Developing a Disposition Location Model for Discharging Persons and Distributing Disaster Relief Aid. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, 27 (3). (*in Persian*)

Bruni, M., Beraldi, P., Khodaparasti, S. (2018). A fast heuristic for routing in post-disaster humanitarian relief logistics. *Transportation Research Procedia*, 30, 304-313.

Burkart, C., Nolz, P.C., Gutjahr, W.J. (2017). Modelling beneficiaries' choice in disaster relief logistics. *Annals of Operations Research*, 256, 41-61.

Comprehensive Development Plan of Bojnourd. (2010). North Khorasan Housing and Urban Development Organization. Volume 3: Physical Studies, p. 13. (*in Persian*)

Comprehensive Development Plan of Bojnourd. (2010). North Khorasan Housing and Urban Development Organization. Volume 7: Urban Planning Regulations, p. 103. (*in Persian*)

Derikvand, H., Khalilzadeh M. (2018). Presentation of a Nonlinear Two-Objective Humanitarian Logistic Model under Uncertainty for Earthquake Crisis in District 3 of Tehran City. *Quarterly Journal of Crisis Management*, 7 (2), 35-49. (*in Persian*)

www.SID.ir

Archive of SID

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*, 71(c). DOI: 10.1016/j.seps.2019.100745.

Ghasemi, R., Alidoosti, A., Hosnavi, R., Norouzian Reykandeh, J. (2018). Identifying and Prioritizing Humanitarian Supply Chain Practices to Supply Food before an Earthquake. *Industrial Management Journal*, 10(1), 1-16. (*in Persian*)

Gol Mohammadi, S., Mahoutchi, M. (2017). Developing a Random Model for Creating a Disaster Relief Network (Case Study: Possible Earthquake in Tehran). *Specialized Journal of Industrial Engineering*, 51 (4), 417-433. (*in Persian*)

Mahdavi, I., Paydar, M.M., Shahabnia, G. (2015). A fuzzy multi-objective model for logistic planning in disaster relief operations. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 26(3), 213-227.

Mert, A., Adivar, B. (2010). Fuzzy Disaster Relief Planning with Credibility Measures. *24th Mini EURO Conference on Continuous Optimization and Information-Based Technologies in the Financial Sector (MEC EurOPT 2010)*, Izmir, Turkey.

Mohammadi, A., Yaghoubi, S., Nahofti Kohne, J. (2014). Providing Mathematical Model of Logistics Relief with Support Points and Transfer Facilities (Case Study: Earthquake Crisis in Area One of Tehran). *Journal of Operations Research and Its Applications*, 11(4), 119-138. (*in Persian*)

Mohammadi, R., Fatemi Qomi, M.T., July, F. (2015). Presentation of a Multi-Objective Optimization Model for Logistic Planning in Response to Earthquake Considering Temporary Distribution and Treatment Centers. *Journal of Industrial Engineering and Management (Sharif Special Engineering)*, 1-31 (1/2), 93-105. (*in Persian*)

Muaafa, M., Concho, A.L., Ramirez-Marquez J.E. (2014). Emergency resource allocation for disaster response: An evolutionary approach. PSAM 2014 - *Probabilistic Safety Assessment and Management*.

Qureshi, A. G., & Taniguchi, E. (2020). A multi-period humanitarian logistics model considering limited resources and network availability. *Transportation Research Procedia*, *46*, 212-219.

Rabta, B., Wankmüller, C., Reiner, G. (2018). A drone fleet model for last-mile distribution in disaster relief operations, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 107-112.

Rahmani, Z., Safai, A. S., Pader, M. M. (2018). Multi-Objective Optimization Model for Locating Means of Temporary Therapy and Post-Crisis Logistic Planning. *Journal of Crisis Management Research*, 7 (2), 19-33. (*in Persian*)

Rezaei-Malek, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., Bozorgi-Amiri, A. (2016). An interactive approach for designing a robust disaster relief logistics network with perishable commodities, *Computers & Industrial Engineering*, 94, 201-215.

Sabouhi, F., Heydari, M., Bozorgi Amiri, A. (2016). Providing a routing and scheduling model for emergency evacuation taking into account the possibility of transaction between shelters. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, 28, 56-67. (*in Persian*)

www.SID.ir

Archive of SID

Sadeghi Moghaddam, M. R., Ghasemian Saheb, E. (2018). Designing a Mathematical Model to Improve the Quality of Demand Response in Medical Emergency Centers in a Humanitarian Supply Chain. *Modern Research in Decision Making*, 3 (1), 217-242. (*in Persian*)

Saffarian, M., Barzinpour, F., Eghbali, MA. (2015). A Robust Programming Approach to Bi-objective Optimization Model in the Disaster Relief Logistics Response Phase. *International Journal of Supply and Operations Management*, 2(1), 595-616.

Seyyedi, S.H., Khatami FirouzAbadi, S.M.A., Amiri, M., Taghavi Fard, S.M.T. (2019). Positioning and Optimized Allocation of Transfer Points, Hospitals and Emergency Services Centers to Organize a Crisis Relief Chain, Assuming Screening of Injuries. *Industrial Management Journal*, 11(1), 1-20. (*in Persian*)

Tayebi, L., Yazdani, M. (2019). Modeling the Problem of Locating and Allocating in Earthquake Crisis Conditions and Solving it by Metabolism Algorithms. *Quarterly Journal of Crisis Management*, 8 (1), 5-20. (*in Persian*)

Yenice, Z. D., & Samanlioglu, F. (2020). A Multi-Objective Stochastic Model for an Earthquake Relief Network. *Journal of Advanced Transportation*, https://doi.org/10.1155/2020/1910632

Yin, P., Mu, L. (2012). Modular capacitated maximal covering location problem for the optimal siting of emergency vehicles. *Applied Geography*, 34, 247-254.

Zhang, J., Liu, H., Yu, G., Ruan, J., Chan, F. (2019). A three-stage and multi-objective stochastic programming model to improve the sustainable rescue ability by considering secondary disasters in emergency logistics. *Computers & Industrial Engineering*, 135. 1145-1154.

www.SID.ir