

# مدل سازی مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص در شرایط بحران زلزله و حل آن به‌وسیله‌ی الگوریتم‌های فراابتکاری

لیونا طیبی: کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران  
 مهدی یزدانی\*: استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران  
 mehdi\_yazdani2007@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

## چکیده

در این پژوهش، یک مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص با در نظر گرفتن قید ظرفیت، در شرایط بحران زلزله، طرح شده است. هدف، انتخاب بهترین مکان‌ها برای اسکان موقت افراد و همچنین تخصیص بهینه‌ی افراد به این اماکن است، به نحوی که میزان تلفات و آسیب‌های ناشی از زلزله و پس‌لرزه‌های بعد از آن، حداقل شود. در ادامه تخصیص بهینه‌ی افراد به مراکز درمانی نیز مورد بحث قرار می‌گیرد. برای دستیابی به این اهداف، مدل ریاضی متناسب با شرایط مسئله با در نظر گرفتن محدودیت‌های تعریف شده، ارائه شده است. با توجه به تحقیقات پیشین پژوهشگران این امر، مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص یک مسئله‌ی بهینه‌سازی پیچیده محسوب می‌شود. برای حل این‌گونه مسائل، روش‌های فراابتکاری پیشنهاد شده است. در این تحقیق از الگوریتم‌های ژنتیک و رقابت استعماری استفاده شده و نتایج نهایی با هم مقایسه شده‌اند. طبق نتایج به دست آمده الگوریتم رقابت استعماری می‌تواند رقیبی برای الگوریتم ژنتیک در این‌گونه مسائل باشد، چرا که میانگین جواب‌های پیدا شده توسط این الگوریتم بهتر از الگوریتم ژنتیک است، اما سرعت همگرایی در الگوریتم ژنتیک، بیشتر است. مطالعه‌ی موردی این پژوهش، مطالعه بر روی منطقه‌ی شماره‌ی ۳ شهر تهران است. با استفاده از اطلاعات موجود و در دسترس این منطقه، مکان‌هایی که دارای شرایط مطلوب برای اسکان هستند، با کمک علم سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نرم‌افزار ARC GIS استخراج شده است. الگوریتم رقابت استعماری برای حل این مسئله پیاده‌سازی شده است و در پایان تعداد بهینه‌ی مراکز اسکان و تخصیص بهینه‌ی افراد منطقه به این مراکز و همچنین تخصیص افراد به مراکز درمانی موجود در منطقه، ارائه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدیریت بحران زلزله، مسئله‌ی مکان‌یابی تخصیص، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم رقابت استعماری

## Modeling Location Allocation Problem in Earthquake crisis Situation and Solving by Metaheuristic Algorithm

Liona Tayebi<sup>1</sup>, Mehdi Yazdani<sup>2\*</sup>

### Abstract

In this study, a location-allocation problem is proposed regarding capacity factor in a critical situation of an Earthquake. The output is the selection of the best places for temporary shelters and the optimized arrangement of the casualties in those places somehow minimizing casualties and damages. In the following, efficient allocation of the casualties to the medical centers will be discussed. Reaching these goals, a mathematics model proportionate to the problem conditions and constraints is presented. In literature, location-allocation problem has been classified as NP-Hard Problem. For these problems, metaheuristic algorithm was proposed. In this research, Imperialist Competitive Algorithm (ICA) and Genetic Algorithm (GA) is used and the results comprised with each other. Based on the results of research, in such cases, ICA can be an opponent for Genetic Algorithm, because of the average of the solution obtained by this algorithm is rather better than Genetic Algorithm. However the GA convergence is faster than ICA. The case study is performed on region ۳ of Tehran. Using available information of this region, the most appropriate places for sheltering are extracted from GIS science and ARC GIS software. ICA is implemented to solve the problem. Finally, the number of optimized shelters and arrangement of inhabitants in these places and also arrangement of casualties to available medical centers in the region are presented.

**Keywords:** Geographic Information System, Earthquake Crisis Management, Location-Allocation Problem, Genetic Algorithm, Imperialist Competitive Algorithm

1. MSc, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

2. Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

۵

شماره پانزدهم

بهار و تابستان  
۱۳۹۸

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



## مقدمه

ممکن داشته باشیم. زمان عامل حیاتی در کاهش میزان تلفات پس از زلزله است، به گونه‌ای که ۲۴ ساعت اولیه پس از وقوع زلزله، فرصتی طلایی برای کمک به حادثه‌دیدگان است، زیرا در این ساعت‌ها بیشترین احتمال زنده ماندن قربانیان وجود دارد. بنابراین توسعه‌ی روشی مناسب برای تعیین مکان‌های اسکان موقت و تخصیص بهینه‌ی افراد به این اماکن، تأثیر بسزایی در کاهش آسیب‌های ناشی از وقوع زلزله دارد [۷].

در این مقاله یک مدل ریاضی برای مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص با در نظر گرفتن قید ظرفیت، در شرایط بحران زلزله، توسعه داده شده است. اهداف مسئله، انتخاب بهترین مکان‌ها برای اسکان موقت افراد و همچنین تخصیص بهینه‌ی افراد به این اماکن است، به نحوی که میزان تلفات و آسیب‌های ناشی از زلزله و پس‌لرزه‌های بعد از آن، حداقل شود. در ادامه تخصیص بهینه‌ی افراد به مراکز درمانی نیز مورد بحث قرار می‌گیرد. برای حل مسئله در ابعاد بزرگ از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده است. سپس مطالعه‌ی موردی بر منطقه‌ی ۳ شهر تهران شرح داده می‌شود. مکان‌هایی که دارای شرایط مطلوب اسکان هستند، استخراج شده، الگوریتم فراابتکاری برای حل این مسئله پیاده‌سازی شده و در پایان تعداد بهینه‌ی مراکز اسکان و تخصیص بهینه‌ی افراد منطقه به این مراکز و همچنین تخصیص افراد به مراکز درمانی موجود در منطقه، ارائه شده است.

## پیشینه‌ی پژوهش

مکان‌یابی و تخصیص یک مسئله‌ی جدید نیست. از آغاز پیدایش بشر، یکی از اولویت‌های اصلی او یافتن یک راه حل خوب برای مسائل مکان‌یابی و تخصیص بوده است. به طور مثال در سال‌های اولیه‌ی آغاز حیات، برای پیدا کردن مکانی مناسب برای اسکان در نزدیکی منابعی مانند چوب، غذا و آب تا مسائل امروزی مانند قرار دادن ترانزیستورها در تراشه‌های پردازنده به طوری که سرعت حداکثر شده و حرارت حداقل شود، مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸]. مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص از مسئله‌ی و بردار سال ۱۹۰۹ آغاز شد [۹]. مطالعه‌ی وبر در مورد مسئله‌ی مکان‌یابی به طور رسمی از سال ۱۹۲۹ با پژوهشی در مورد چگونگی تعیین مکان یک منبع و سپس در سال ۱۹۶۴ با تحقیقات حکیمی آغاز شد. از زمان پیدایش مسائل مکان‌یابی و تخصیص تاکنون، روش‌های زیادی از جمله روش‌های دقیق و یا ابتکاری برای حل آن‌ها معرفی شده است. اما استفاده از روش‌های دقیق برای حل مسائل پیچیده و بزرگ به علت زمان‌های اجرای طولانی، چندان منطقی نیست. به همین علت در ارتباط با کاربرد روش‌های ابتکاری برای حل این‌گونه مسائل مطالعات زیادی انجام گرفته است.

الگوریتم پرنندگان یا ازدحام ذرات اولین بار توسط سیوکی و گانز [۱۰] برای حل مسئله‌ی مکان‌یابی مراکز خدماتی بدون در نظر گرفتن قید ظرفیت در فضای پیوسته به کار گرفته شد. در همان سال لیو و همکاران [۱۱] در مقاله‌ای برای مکان‌یابی بهینه‌ی ایستگاه‌های آتش‌نشانی مدلی ارائه کردند و در آن به

در کشورهای حادثه‌خیز پیامدهای ناشی از بحران‌ها، از عوامل اصلی بازدارنده‌ی توسعه به شمار می‌آیند. آثار عمومی وقوع حوادث عبارتند از مرگ و جراحت افراد، خسارت به اموال و تولیدات و خدمات و تأسیسات زیربنایی و در نتیجه تأثیر بر شیوه‌ی زندگی و ابعاد اجتماعی و روانی آن [۱]. بحران، نتیجه‌ی یک شکست زیست‌محیطی در روابط بین انسان و محیط زیست است. بحران را می‌توان هم بلائی طبیعی (مانند سیل، زلزله، طوفان و غیره) و هم فجایع ساخته‌ی دست انسان (مانند حمله‌ی تروریستی، نشت شیمیایی و غیره) نامید. هر ساله بیش از ۵۰۰ فاجعه و بحران، در سیاره‌ی ما اتفاق می‌افتد که باعث کشته شدن حدود ۷۵۰۰۰ نفر شده و بر بیش از ۲۰۰ میلیون نفر تأثیرات منفی به جا می‌گذارد [۲]. در حدود ۷۵ درصد مردم دنیا در مناطقی زندگی می‌کنند که در دهه‌های اخیر حداقل وقوع یکی از چهار عامل عمده‌ی مرگ‌ومیر ناشی از بحران‌ها یعنی زلزله، سیل، طوفان یا خشکسالی را تجربه کرده‌اند. در سال‌های اخیر وقوع سوانح و تعداد افراد آسیب‌دیده و خسارات مالی ناشی از آن‌ها افزایش چشمگیری یافته است. در دو دهه‌ی گذشته بیش از یک‌ونیم میلیون نفر در سراسر دنیا در اثر سوانح طبیعی جان خود را از دست داده‌اند و به این ترتیب به طور متوسط به ازای هر ۳۰۰ نفر افراد در معرض خطر یکی از آن‌ها کشته می‌شود [۱]. تا امروز حتی با پیشرفت علم و تکنولوژی هم این امکان فراهم نیامده است که به طور صددرصد مانع بروز این حوادث شوند و یا میزان خسارات را به صفر برسانند. اما این امکان وجود دارد که تا حدودی میزان این خسارات را کاهش دهند. یکی از مسائل مهم و پرکاربرد در مواقع بحران، تدارکات اضطراری و مسئله‌ی لجستیک امداد و بحران است که می‌تواند با برنامه‌ریزی و پیش‌بینی عواقب این بحران‌ها، در کاهش میزان خسارات تأثیر بسزایی داشته باشد [۳].

تدارکات اضطراری عبارت است از فرایند برنامه‌ریزی، مدیریت و کنترل جریان بحران به منظور کمک به افراد آسیب‌دیده. با این حال برنامه‌ریزی سیستماتیک برای تدارکات اضطراری اغلب نادیده گرفته می‌شود [۴]. برای ارائه‌ی برنامه‌ی مناسب در شرایط اضطرار، بررسی جامع فاز پاسخ‌گویی، ارزیابی ریسک موجود و همچنین بهره‌وری هزینه بسیار تأثیرگذار و حیاتی است [۵]. گستره‌ی جغرافیایی ایران نیز از نظر احتمال وقوع حوادث طبیعی به‌ویژه زلزله، از آسیب‌پذیرترین بخش‌های کره‌ی زمین است که هر ساله وقوع این حوادث موجب خسارت‌های جانی و مالی فراوان می‌شود و گستره‌های شهری نیز همواره تجربه‌ی تلخی از بروز این‌گونه بلاها داشته‌اند و به نظر می‌رسد انجام برنامه‌ریزی خاص برای مصون‌سازی هر چه بیشتر فضاهای شهری ضرورت دارد [۶]. با توجه به آمارهای موجود در زمینه‌ی وقوع حوادث در کشور، بایستی تصمیمات مناسب و عملی برای مدیریت بحران در کشور برای حوادث و بحران‌های مختلف به‌ویژه زلزله و سیل، اتخاذ شود. با توجه به اینکه کشور ما یک کشور پر حادثه است، لذا همواره باید در حال برنامه‌ریزی اضطراری برای مواقع بحرانی باشیم تا بتوانیم آمادگی لازم را در رویارویی با بحران‌های

۶

شماره پانزدهم  
بهار و تابستان  
۱۳۹۸  
دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی

بهرین

زلزله و حل آن به وسیله‌ی الگوریتم‌های فراابتکاری  
مدل‌سازی مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص در شرایط بحران

حداقل کردن میزان هزینه‌ها ارائه شده‌اند. در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۱۵، مسئله‌ی تخصیص مراکز خدمت‌رسانی اورژانس و همچنین مکان‌یابی این پایگاه‌ها، از طریق یک الگوریتم ژنتیک با مدل شبیه‌سازی یکپارچه مورد مطالعه قرار گرفت. در این مسئله کلاس‌های مختلف بیمار (نقاط تقاضا) بررسی شده و دو ردیف عرضه (پایگاه‌های اورژانس و خودروهای امدادرسانی) در مدل لحاظ شدند. هدف مسئله به حداکثر رساندن احتمال بقای بیمار در حال انتظار بود و از داده‌های واقعی در مراکز خدمات اورژانس لندن استفاده شده بود [۱۹]. بومی<sup>۱</sup> و همکاران [۵] در مقاله‌ای با اشاره به وقوع بلایای طبیعی از سال ۱۹۵۰ تاکنون و بررسی مشکلات ناشی از آن، مدلی برای بهینه‌سازی مکان‌یابی تسهیلات در شرایط اضطرار ارائه داده و یک الگوریتم دقیق و یک الگوریتم اکتشافی برای حل آن پیشنهاد کرده‌اند.

### موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

مطالعه‌ی موردی در این پژوهش منطقه‌ی شماره‌ی ۳ شهر تهران است. منطقه‌ی ۳ یکی از ۲۲ منطقه‌ی شهر تهران در پهنه‌ی شمال شرقی شهر واقع است. این منطقه از شمال به بزرگراه‌های صدر، مدرس و چمران، از جنوب به بزرگراه‌های رسالت و همت، از غرب به بزرگراه چمران و از شرق به خیابان پاسداران و خیابان شریعتی محدود می‌گردد. مساحت منطقه ۳۱/۲۰۸ کیلومتر مربع است و از این حیث در رتبه‌ی دهم شهر تهران قرار دارد و ۴/۳ درصد از کل وسعت شهر تهران را شامل می‌شود. این منطقه دارای ۶ ناحیه و ۱۲ محله است. جمعیت تقریبی معادل ۲۳۷۱۰۰ نفر را در ۹۱۹۸۱ خانوار در خود جای داده است. برای طرح مرحله‌ی اول این مسئله در ابتدا نیاز داریم شرایط منطقه را شناسایی کرده و داده‌های مناسب را جمع‌آوری کنیم. اولین گام در حل مسئله‌ی مکان‌یابی، داشتن نقشه‌ی منطقه و اطلاعاتی در رابطه با داده‌های مورد نیاز است. در این مقاله داده‌های مورد نیاز برای مکان‌یابی اولیه، عبارت‌اند از: تراکم مراکز خدماتی موجود (بیمارستان‌ها و پمپ‌بنزین)، موقعیت گسل‌ها، موقعیت راه‌های اصلی، موقعیت نقاط تقاضا (بلوک‌های جمعیتی مبدأ)، تراکم جمعیت هر بلوک و شیب منطقه. پس از بیان روش تحقیق و روش‌های حل مسئله به تشریح مطالعه‌ی موردی خواهیم پرداخت. تصویر ۱ نقشه‌ی محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

### روش تحقیق

در این پژوهش، بحث بر روی مکان‌یابی مراکز اسکان موقت و تخصیص بهینه‌ی افراد به این اماکن است. همچنین تخصیص بهینه‌ی افراد به مراکز درمانی موجود نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرایند بهینه‌سازی اسکان افراد در این تحقیق شامل ۲ گام اصلی است:

۱. تعیین مکان‌های کاندید برای اسکان موقت.
۲. تخصیص بهینه‌ی بلوک‌های جمعیتی (مبدأ) به مکان‌های امن و مراکز درمانی.

مکان‌یابی و تخصیص ایستگاه‌های آتش‌نشانی با توجه به ایستگاه‌های موجود و مکان‌های مناسب برای ایجاد ایستگاه‌های جدید پرداختند. مدل ارائه شده در این پژوهش با استفاده از الگوریتم مورچگان و سیستم اطلاعات مکانی حل شد. مدل‌های بهینه‌سازی برای اولین بار در تدارکات اضطراری در دهه‌ی ۱۹۷۰، در پی چند فاجعه‌ی دریایی که در اواخر دهه‌ی ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ رخ داد (برای مثال حادثه‌ی کشتی توری کنیون در سواحل انگلستان و فاجعه آرگو در ماساچوست در سال ۱۹۷۶)، توسعه داده شدند [۱۲]. برای اولین بار ترگاس<sup>۲</sup> و همکاران [۱۳] برای مکان‌یابی محل احداث مراکز امدادرسانی در مواقع اضطراری از مدل مکان‌یابی پوشش<sup>۴</sup> استفاده کردند. هدف در این پژوهش، مکان‌یابی حداقل تعداد ممکن تجهیزات برای پوشش کلیه‌ی نقاط تقاضا، بدون در نظر گرفتن معیارهای جمعیت و فواصل بوده است. به همین دلیل برای برآوردن کلیه‌ی تقاضاها میزان زیادی از تجهیزات مورد نیاز بوده است. برای رفع این مشکل، مسئله‌ی پوشش حداکثری<sup>۵</sup> در سال ۱۹۷۴ مطرح شد. همچنین مدلی برای مکان‌یابی مراکز خدمت‌دهی، توسط بیانچی<sup>۶</sup> و همکاران [۶] ارائه شد که در آن تعداد تجهیزات به کار رفته برای خدمت‌دهی محدود شده بود اما در عوض بیش از یک خدمت‌دهنده در هر ایستگاه برای پوشش استفاده شد. برای تعیین مکان‌های مناسب برای ایجاد ایستگاه‌های آتش‌نشانی، یک روش مدل‌سازی چند معیاره با اهداف کمینه‌کردن هزینه و مسافت سفر، توسط بدری<sup>۷</sup> و همکاران [۱۴] ارائه شد. نتایج به صورتی اعلام شد که مدل برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح مدل مناسبی برای مسئله‌ی مذکور است و به تصمیم‌گیران برای یافتن مکان مناسب برای محل ایستگاه‌های آتش‌نشانی کمک بسیاری می‌کند.

با توجه به اینکه بسیاری از کشورها در مسیر توسعه و پیشرفت هستند، لزوم ارائه‌ی یک مدل مناسب برای احداث مراکز درمانی با توجه به وسعت جوامع در یک مقاله‌ی مروری در سال ۲۰۰۰ بیان شد. هدف در این مطالعه آزمون شایستگی این مدل‌ها برای طراحی و بنا ساختن سیستم‌های سلامت و مراکز درمانی برای تأمین نیازهای جوامع امروزی بوده است [۱۵]. وانگ<sup>۸</sup> و همکاران [۱۶] در مقاله‌ای به بررسی مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات با در نظر گرفتن تقاضای تصادفی مشتری و با هدف کمینه‌کردن هزینه‌ی کل سفر و زمان انتظار مشتری، پرداختند. در این مدل میزان تقاضای تصادفی مشتریان با توجه به نزدیک‌ترین تسهیلات ساکن در نظر گرفته شد. مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات برای پاسخ‌گویی به حوادث اضطراری و شرایط بحران در مقیاس بزرگ مطرح شده‌اند. دکله و همکاران [۱۷] در مطالعه‌ای بر روی شناسایی مراکز بازیابی بحران و مکان‌یابی این مراکز، برای منطقه‌ای در فلوریدا مدلی در شرایط بحران طوفان ارائه دادند. هدف در این مدل حداقل‌سازی تعداد نهایی مراکز بازیابی بحران، در شرایط پوشش کامل مناطق آسیب‌دیده با در نظر گرفتن محدودیت فاصله است. مستر<sup>۹</sup> و همکاران [۱۸] در یک مطالعه، از دو مدل مکان‌یابی و تخصیص برای برنامه‌ریزی شبکه‌ی بیمارستان‌ها استفاده نمودند. این مدل‌ها با هدف بهبود دسترسی جغرافیایی و همچنین



تصویر ۱: نقشه‌ی منطقه‌ی ۳ شهر تهران (شهرداری تهران)

مسئله، بهینه نمودن تعداد اماکن امن برای اسکان موقت افراد، کمینه کردن مجموع هزینه‌ی جابه‌جایی افراد از بلوک‌های ساختمانی (مبدأ) تا اماکن امن و کمینه کردن مجموع هزینه‌ی جابه‌جایی از بلوک‌های ساختمانی (مبدأ) تا مراکز درمانی است.

در این مسئله، بلوک‌های ساختمانی که افراد در آن مستقر هستند به منزله‌ی مبدأ در نظر گرفته شده است. شرایط مسئله، ۲۴ تا ۷۲ ساعت اول پس از وقوع بحران زلزله است و طی آن، افراد از بلوک‌های ساختمانی تعریف شده، به اماکن امن کاندید شده و مراکز درمانی تخصیص می‌یابند. برای نزدیک‌تر شدن مسئله به شرایط واقعی، مکان‌های امن کاندید شده برای استقرار افراد (مراکز اسکان موقت)، در گام اول مسئله توسط نرم‌افزار ArcGIS انتخاب می‌شوند. سپس در مرحله‌ی بعد، از بین مکان‌های کاندید شده، بهترین مکان‌ها برای احداث مراکز اسکان موقت، انتخاب می‌شود که انتقال بهینه‌ی افراد از بلوک‌های ساختمانی به مراکز اسکان مورد بررسی قرار گرفته و تخصیص بهینه انجام می‌شود. در این بین تعدادی مراکز درمانی با جای ثابت و معلوم نیز وجود دارد که چگونگی انتقال بهینه‌ی افراد از بلوک‌های ساختمانی به این مراکز درمانی نیز مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. مدل ارائه شده در این پژوهش از اجزای زیر تشکیل شده است که به شرح زیر است:

### مفروضات مسئله

- برای مکان‌یابی مسئله فرض می‌شود فقط معیارهای مکانی بر روی مسئله تأثیرگذار هستند.
- در این تحقیق ترافیک مسیرهای انتقالی در نظر گرفته نمی‌شود.
- در همه جای مناطق امکان ایجاد اسکان موقت وجود ندارد.
- ظرفیت اماکن اسکان موقت محدود است.
- کلیه‌ی پارامترهای هزینه و ظرفیت معلوم است.

در گام اول با استفاده از اطلاعات موجود و در دسترس برای منطقه‌ای در تهران (نقشه‌ها، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و غیره) می‌توان مکان‌هایی را که دارای شرایط مطلوب برای اسکان هستند، استخراج نمود. داده‌های مورد نیاز در این گام، از پایگاه‌های مدیریت بحران و همچنین شهرداری منطقه به دست آمده است. در این مطالعه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> و داده‌های سنجش از دور، مکان‌یابی مناطق مناسب برای استفاده به منزله‌ی عنوان پناهگاه، مورد بررسی قرار می‌گیرند. باید توجه داشت که احداث این مراکز در همه‌ی مناطق امکان‌پذیر نیست. فاصله از گسل، فاصله از مناطقی که پس از زمین‌لرزه احتمال انفجار دارند، مانند پمپ بنزین و قابلیت دسترسی مناسب به همه‌ی قسمت‌های منطقه به طور نسبی، می‌تواند معیارهای مناسبی برای تعیین مکان مناسب برای احداث اماکن امن باشد. همچنین نزدیک بودن مراکز اسکان موقت تا مراکز امدادی و بیمارستان‌ها، می‌تواند نقش مؤثری در نجات جان قربانیان حادثه ایفا کند.

۱. هدف از گام بعد نیز مکان‌یابی و تخصیص بهینه‌ی افراد به مناطق امن است، به گونه‌ای که دو شرط زیر رعایت گردند: ۱. از بین مکان‌های کاندید شده برای اسکان موقت افراد، بهترین مکان‌ها طبق معیارهای تعریف شده، انتخاب شوند. ۲. جابه‌جایی جمعیت از بلوک‌های ساختمانی به مکان‌های امن باید حداقل باشد تا افراد با بیشترین سرعت و کمترین میزان تلفات در مکان‌های امن اسکان یابند. در این راستا محدودیت‌هایی نظیر مجموع ظرفیت مکان‌های مورد استفاده، در نظر گرفته می‌شود. معیارهای مورد استفاده، فاصله‌ی بلوک‌های ساختمانی از اماکن امن و از مراکز درمانی، و جمعیت این بلوک‌هاست به علاوه‌ی ظرفیتی که برای هر کدام از این اماکن امن در نظر گرفته شده است. برای اینکه جابه‌جایی جمعیت حداقل باشد بایستی بلوک‌های ساختمانی پر جمعیت به مکان‌های امن نزدیک‌تر انتقال یابند. در واقع اهداف پیشنهادی در این

$H_k$ : ظرفیت بیمارستان  $k$

$T_j$ : ظرفیت مکان اسکان  $j$

$n$ : تعداد مکان‌های کاندیدا برای اسکان (از گام اول مسئله)

$O_i$ : تعداد افرادی که از بلوک  $i$  به بیمارستان‌ها منتقل می‌شوند.

$W_i$ : تعداد افرادی که از بلوک  $i$  به مراکز اسکان منتقل می‌شوند.

$Q$ : عدد بسیار بزرگ

### متغیرهای تصمیم مدل

$X_{ij}$ : جمعیتی که از مبدأ  $i$  به مرکز اسکان موقت  $j$  منتقل می‌شوند.

$X_{ik}$ : جمعیتی که از مبدأ  $i$  به مرکز درمانی  $k$  منتقل می‌شوند.

$Y_j$ : اگر مرکز اسکان موقت در منطقه‌ی مورد نظر ایجاد شود برابر با ۱ و در غیر این صورت ۰ خواهد بود.

در قسمت اول تابع هدف مجموع جابه‌جایی از بلوک ساختمانی مبدأ تا مرکز اسکان کمینه شده است. در قسمت دوم مجموع جابه‌جایی از مبدأ تا مراکز درمانی کمینه شده و در آخر هزینه‌ی ثابت تجهیز یک مرکز اسکان موقت در نظر گرفته شده است. محدودیت شماره‌ی ۱ بیان می‌کند که  $B$  درصد کل جمعیت از  $i$  به  $j$  منتقل می‌شوند. محدودیت شماره‌ی ۲ نشان می‌دهد که  $A$  درصد کل جمعیت از  $i$  به  $k$  منتقل می‌شوند. محدودیت ۳ کنترل می‌کند که مجموع افرادی که از  $i$  به  $k$  منتقل می‌شوند باید کمتر مساوی ظرفیت آن  $k$  باشند. طبق روابط محدودیت ۴ مجموع افرادی که از  $i$  به  $j$  منتقل می‌شوند باید کمتر مساوی ظرفیت آن  $j$  باشند. محدودیت ۵ نشان می‌دهد که کل افرادی که به  $j$  منتقل می‌شوند باید کمتر مساوی ظرفیت کل مراکز اسکان باشند. طبق روابط محدودیت ۶ مجموع مکان‌های امن انتخاب شده کمتر یا مساوی تعداد مکان‌های کاندید برای اسکان است. محدودیت ۷ بیان می‌کند که هر بلوک مبدأ حتماً به یک مکان امن تخصیص یابد. محدودیت ۸ نشان‌دهنده‌ی این است که از هر بلوک چند نفر به بیمارستان‌ها منتقل می‌شوند ( $O_i$  ها عدد ثابت هستند و تصادفی به دست می‌آیند). محدودیت ۹ بیان می‌کند که از هر بلوک چند نفر به مراکز اسکان منتقل می‌شوند ( $W_i$  ها عدد ثابت هستند و تصادفی به دست می‌آیند). محدودیت ۱۰ بیان می‌کند که اگر مکانی به عنوان مرکز اسکان انتخاب نشد، افراد از بلوک به آن مکان تخصیص پیدا نکنند.

### روش حل مسئله

مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص یک مسئله‌ی بهینه‌سازی پیچیده است. حل این مسائل از طریق روش‌های سنتی دقیق نیاز به زمان محاسباتی زیادی برای رسیدن به جواب دارد. ابعاد مسئله‌ای که توسط این نوع از روش‌های سنتی دقیق حل می‌شود، کوچک است. استفاده از روش قطعی به دلیل زمان محاسبات طولانی برای حل این مسائل امکان‌پذیر نیست [۲۰]. بنابراین، روش‌هایی برای حل بهینه که بر مبنای یک یا چند معیار باشد و در نقطه‌ی بهینه محلی قرار نگیرند باید ارائه شوند. این روش‌ها، روش‌های فراابتکاری هستند. در این تحقیق از الگوریتم‌های ژنتیک و رقابت استعماری برای حل مدل استفاده خواهد شد. در

- جمعیت کل و جمعیت هر بلوک ساختمانی معلوم است.
- هزینه‌ی احداث یا تجهیز مراکز اسکان موقت در نظر گرفته می‌شود.
- فاصله‌ی بلوک‌های ساختمانی تا مراکز اسکان و مراکز درمانی معلوم است.
- مرگ و میر در این مسئله در نظر گرفته نمی‌شود. بدین معنی که برنامه‌ریزی اسکان تمامی جمعیت موجود در منطقه را پوشش خواهد داد.

### مدل‌سازی ریاضی

$$z = \min \sum_i \sum_j C_{ij} X_{ij} + \sum_i \sum_k C_{ik} X_{ik} + \sum_j C_j Y_j$$

$$\sum_i \sum_j X_{ij} = B * P \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_k X_{ik} = A * P \quad (2)$$

$$\sum_i X_{ik} \leq H_k \quad \forall k \quad (3)$$

$$\sum_i X_{ij} * Y_j \leq T_j \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ij} \leq \sum_j T_j * Y_j \quad (5)$$

$$\sum_j Y_j \leq n \quad (6)$$

$$\sum_j X_{ij} * Y_j \geq 1 \quad \forall i \quad (7)$$

$$\sum_k X_{ik} \leq O_i \quad \forall i \quad (8)$$

$$\sum_j X_{ij} \leq W_i \quad \forall i \quad (9)$$

$$\sum_i X_{ij} \leq Y_j * Q \quad \forall j \quad (10)$$

$$X_{ij}, X_{ik} \geq 0$$

اگر مرکز اسکان موقت در نقطه‌ی مورد نظر ایجاد شود  $Y_j = 1$   
در غیر این صورت  $Y_j = 0$   
اندیس‌های مدل:

$i$ : بلوک‌های ساختمانی (مبدأ) ( $1 \leq i \leq I$ )

$j$ : مراکز کاندیدا برای استقرار اماکن امن برای اسکان ( $1 \leq j \leq J$ )

$k$ : مراکز درمانی ( $1 \leq k \leq K$ )

### ورودی‌های مدل

$C_{ij}$ : هزینه‌ی انتقال افراد از مبدأ  $i$  به مرکز اسکان موقت  $j$  که رابطه‌ی مستقیم با فاصله از  $i$  تا  $j$  دارد.

$C_{jk}$ : هزینه‌ی انتقال افراد از مبدأ  $i$  به مرکز درمانی  $k$  که رابطه‌ی مستقیم با فاصله از  $i$  تا  $k$  دارد.

$C_j$ : هزینه‌ی ثابت ایجاد یا تجهیز یک مرکز اسکان موقت

$B$ : درصدی از کل جمعیت که از مبدأ  $i$  به اسکان زمی‌روند (مقدار ثابت)

$A$ : درصدی از کل جمعیت که از مبدأ  $i$  به بیمارستان  $k$  می‌روند (مقدار ثابت)

$P$ : کل جمعیت منطقه

۳. امپراطوری‌های اولیه را بساز.
- ۱،۳. کشورهای اولیه را به صورت تصادفی بساز.
- ۲،۳. الگوریتم شبیه‌سازی را فراخوانی نموده و قدرت هر کشور (مقدار تابع هدف) آن را برازش کن.
- ۳،۳. امپراطورها و مستعمراتشان را بر مبنای قدرت کشورها مشخص کن.
۴. مستعمرات را به سمت کشور امپریالیست حرکت بده (سیاست همسان‌سازی یا جذب).
۵. عملگر انقلاب<sup>۱۸</sup> را اعمال کن.
۶. اگر مستعمره‌ای در یک امپراطوری، وجود داشته باشد که هزینه‌ای کمتر از امپریالیست داشته باشد؛ جای مستعمره و امپریالیست را با هم عوض کن.
۷. هزینه‌ی کل یک امپراطوری را حساب کن (با در نظر گرفتن هزینه‌ی امپریالیست و مستعمراتشان).
۸. یک مستعمره از ضعیف‌ترین امپراطوری انتخاب کرده و آن را به امپراطوری‌ای که بیشترین احتمال تصاحب را دارد، بده.
۹. امپراطوری‌های ضعیف را حذف کن.
۱۰. اگر تنها یک امپراطوری باقی مانده باشد، توقف کن وگرنه به ۲ برو.

### الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، الهامی از علم ژنتیک و نظریه‌ی تکامل داروین است و بر اساس بقای برترین‌ها یا انتخاب طبیعی استوار است. یک کاربرد متداول الگوریتم ژنتیک، استفاده از آن به عنوان تابع بهینه‌کننده است. الگوریتم ژنتیک ابزار سودمندی در بازشناسی الگو، انتخاب ویژگی، درک تصویر و یادگیری ماشینی است. در الگوریتم‌های ژنتیکی، نحوه‌ی تکامل ژنتیکی موجودات زنده شبیه‌سازی می‌شود. این الگوریتم با الهام از طبیعت بر پایه‌ی اصل تکاملی پایداری بهترین‌ها<sup>۱۹</sup> استوار است [۲۳].

### روند حل الگوریتم ژنتیک

طبق مبنای الگوریتم ژنتیک، یک جمعیت از افراد بر اساس مطلوبیتشان در محیط امکان بقا پیدا می‌کنند. افرادی با قابلیت‌های برتر، شانس ازدواج و تولید مثل بیشتری را خواهند یافت. بنابراین بعد از چند نسل فرزندان با کارایی بهتر ایجاد می‌شوند. در الگوریتم ژنتیک هر عضو از جمعیت به صورت یک کروموزوم معرفی می‌شود. کروموزوم‌ها در طول چندین نسل کامل‌تر می‌شوند. در هر نسل کروموزوم‌ها ارزیابی می‌شوند و متناسب با ارزش خود امکان بقا و تکثیر می‌یابند. تولید نسل در بحث الگوریتم ژنتیک با عملگرهای تقاطع و جهش صورت می‌گیرد. والدین برتر در میان جمعیت بر اساس یک تابع برازندگی انتخاب می‌شوند [۲۳].

شبه‌کد الگوریتم طراحی شده برای حل مسئله‌ی بهینه‌سازی در این تحقیق در ادامه آورده شده است:

۱. پارامترهای مدل بهینه‌سازی را بخوان.

ادامه به بررسی روش‌های تکاملی و به طور خاص الگوریتم‌های به کار گرفته شده در این تحقیق می‌پردازیم.

### رویکرد حل الگوریتم رقابت استعماری<sup>۲۲</sup>

الگوریتم رقابت استعماری با الهام از یک فرایند اجتماعی-سیاسی، نسبت به سایر روش‌های دارای توانایی بالایی بوده و تا حد بسیار زیادی نیز سریع است. این الگوریتم برگرفته از مفاهیم رشد و توسعه‌ی اجتماعی است. در حقیقت پایه‌های این الگوریتم بر مبنای شبیه‌سازی نحوه‌ی تکامل اجتماعی بشر بنا شده است [۲۱]. با توجه به کارایی بالای الگوریتم رقابت استعماری در حل مسائل با توابع هدف پیچیده، این الگوریتم فراابتکاری برای حل مسئله معرفی شده در این پژوهش، انتخاب گردیده است. فرایند بهینه‌سازی در این الگوریتم با تولید جمعیتی اولیه شروع می‌شود. بر مبنای مفاهیم بنیادین الگوریتم رقابت استعماری جواب‌های تولیدی در این الگوریتم، اصطلاحاً کشور<sup>۲۳</sup> خوانده می‌شوند. هزینه‌ی هر جواب در حقیقت نشان‌دهنده‌ی قدرت آن کشور است. کشورها با کمترین هزینه و بیشترین قدرت به عنوان امپراطور<sup>۲۴</sup> در رأس امپراطوری‌ها قرار گرفته و دیگر کشورها را تحت سلطه و استعمار خود قرار می‌دهند [۲۲]. قدرت کل یک امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور استعمارگر به اضافه‌ی درصدی از قدرت میانگین مستعمرات آن مطابق رابطه‌ی ۱ تعریف می‌شود.

رابطه‌ی ۱:

$$Total\ Cost_n = Cost\ imperialist_n + \xi\ mean\ \{Cost\ (colonies\ of\ empire_n)\}$$

همگون‌سازی<sup>۱۵</sup> و انقلاب<sup>۱۶</sup> عملگرهای اصلی الگوریتم رقابت استعماری محسوب می‌گردند. عملگر همگون‌سازی برای حرکت دادن مستعمرات به طرف امپراطورها و کم کردن فاصله بین آن‌ها به کار می‌رود. عملگر انقلاب تغییراتی ناگهانی را در موقعیت برخی کشورها ایجاد می‌کند. همگون‌سازی‌ها و انقلاب‌های پیاپی باعث می‌شود تا برخی از مستعمرات از امپراطورهای خود پیشی گرفته و به عنوان امپراطور جدید در رأس امپراطوری‌ها قرار گیرند. رقابت استعماری<sup>۱۷</sup> بخش دیگری از این الگوریتم به حساب می‌آید. در این قسمت تمام امپراطوری‌ها می‌کوشند تا مستعمرات بیشتری را تحت کنترل خود بگیرند. در هر تکرار الگوریتم، هر امپراطور به نسبت قدرت خود امکان تصرف یک یا چند مستعمره از ضعیف‌ترین امپراطوری را پیدا می‌کند [۲۲]. رقابت استعماری باعث می‌شود که به مرور زمان، به حالتی برسیم که در آن تنها یک امپراطوری در دنیا وجود دارد که آن را اداره می‌کند. این حالت زمانی است که الگوریتم رقابت استعماری با رسیدن به نقطه‌ی بهینه تابع هدف، متوقف می‌شود [۲۱].

شبه‌کد الگوریتم طراحی شده برای حل مسئله‌ی بهینه‌سازی فوق در ادامه آورده شده است:

۱. پارامترهای مدل بهینه‌سازی را بخوان.
۲. مقادیر مربوط به پارامترهای الگوریتم از جمله تعداد کشورها، امپراطوری‌های اولیه، درصد تقاطع و جهش و مقادیر زیر را از کاربر بگیر.

که در این رابطه K تعداد ژن‌های موجود در کروموزوم (اندازه‌ی کروموزوم) است. کروموزوم‌های والد از محل شکست محاسبه شده در رابطه‌ی بالا شکسته و کروموزوم‌های فرزند ایجاد می‌گردد. نیمه‌ی اول فرزند اول از اولین والد و نیمه‌ی دوم آن از والد دوم گرفته می‌شود. دومین فرزند از ژن‌ها باقیمانده‌ی والدین به وجود می‌آید. ژن‌های تکراری در کروموزوم‌های فرزندان شناسایی و با یکدیگر جابه‌جا می‌شوند. به طور مثال والدهای تصویر شماره ۱ با تعداد ۱۵ ژن در نظر بگیرید و به طور فرض عدد ۰/۶ به عنوان نرخ شکست انتخاب شده است.

$$\text{Break-point} = \text{round} (0.6 \times 15) = 9$$

کروموزوم‌های والدین همان‌طور که در تصویر ۲ نشان داده شده‌اند، از ژن نهم شکسته می‌شوند.

کروموزوم‌های اولیه‌ی فرزندان در نتیجه‌ی پیاده‌سازی عملگر تقاطع تولید می‌گردند و ژن‌های تکراری در کروموزوم‌های فوق، شناسایی می‌گردند. برای موجه‌سازی فرزندان، ژن‌های تکرارهای در کروموزوم‌های فرزندان با یکدیگر جابه‌جا شده و در نهایت کروموزوم‌های موجه در نتیجه‌ی تقاطع حاصل می‌شوند که این روند در تصویر ۳ نشان داده شده است.

### اپراتور جهش

فرایند زیر برای شرح اپراتور جهش کروموزوم‌ها ذکر شده است و در الگوریتم به این شکل پیاده‌سازی می‌گردد. در ابتدا تعداد جابه‌جایی ژن‌ها طبق رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌گردد.

۲. پارامترهای الگوریتم (از جمله اندازه‌ی جمعیت، درصد نگهداری، تقاطع و جهش، نقطه‌ی شکست و تعداد جابه‌جایی ژن‌ها در عملگر جهش) را مقدار دهی کن.
۳. جمعیت اولیه را بساز.
- ۱،۳. جمعیت (جواب‌های) فوق را برآزش کن.
۴. حلقه‌ی زیر را تا پیش از برقراری شرط توقف اجرا کن (حلقه‌ی اصلی الگوریتم).
- ۱،۴. کروموزوم‌های نخبه را مشخص کن (i).
- ۲،۴. به ازای بقیه‌ی کروموزوم‌ها فرایند زیر را انجام بده (j).
- ۱،۲،۴. در صورتی که عملگر تقاطع انتخاب گردد، کروموزوم ژ را با فرزند کروموزوم‌های i و j جایگزین کن.
- ۲،۲،۴. در صورت انتخاب عملگر جهش، از جهش یافته‌ی کروموزوم j استفاده کن.
- ۳،۴. به کمک فرایند موجه‌سازی، جواب حاصله را موجه کن.
- ۴،۴. جمعیت حاصله را برآزش و به صورت صعودی مرتب کن.
۵. نتایج نهایی را نمایش داده و ذخیره کن.

### اپراتور تقاطع

فرایند زیر برای شرح اپراتور تقاطع کروموزوم‌ها ذکر شده است و در الگوریتم به شکل زیر پیاده‌سازی می‌گردد. نقطه‌ی شکست کروموزوم با توجه به اندازه‌ی هر کروموزوم و نرخ محل شکست (RB) که بین ۰ تا ۱ به شکل یک عدد تصادفی تولید می‌گردد، با استفاده از رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌گردد: رابطه‌ی ۲:

$$\text{Break-point} = \text{round} (RB \times K)$$

Parent 1	۶	۳	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۱	۲	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Parent 2	۷	۱	۱۵	۱۳	۲	۱۴	۶	۱۰	۱۲	۱۱	۴	۸	۳	۹	۵

تصویر ۲: کروموزوم‌های والدین و نقطه‌ی شکست آن‌ها

Child 1	۶	۳	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۱	۱۱	۴	۸	۳	۹	۵
Child 2	۷	۱	۱۵	۱۳	۲	۱۴	۶	۱۰	۱۲	۲	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Child 1	۶	۳	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۱	۱۱	۴	۸	۳	۹	۵
Child 2	۷	۱	۱۵	۱۳	۲	۱۴	۶	۱۰	۱۲	۲	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Child 1	۶	۱۳	۲	۷	۱۴	۱۰	۱۲	۱۵	۱	۱۱	۴	۸	۳	۹	۵
Child 2	۷	۱	۱۵	۳	۱۱	۱۴	۶	۸	۵	۲	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲

تصویر ۳: روند حاصل شدن کروموزوم موجه طی عمل تقاطع

رابطه ی ۳:

$$\text{Swap-number} = \text{ceil}(\text{RM} \times \text{K}) = 5$$

که در آن K اندازه ی کروموزوم و RM نرخ جهش است. برای مثال کروموزوم اولیه را در تصویر ۴ در نظر بگیرید. فرض کنید نرخ جهش تعیین شده برابر با عدد ۰/۳ باشد. با توجه به رابطه ی ۳ داریم:

$$\text{Swap-number} = \text{ceil}(0.3 \times 15) = 5$$

در نهایت اپراتور جهش به صورت زیر پیاده سازی می گردد که در تصویر ۴ جواب نهایی پس از ۵ تغییر قابل مشاهده است.

### تولید مسائل تصادفی و حل

طبق مدل طرح شده، تعدادی مسئله در مقیاس های مختلف، با داده های فرضی و به طور تصادفی تولید شده و با روش های گوناگون حل می شوند. نتایج به دست آمده در این قسمت، در ارزیابی روش های حل مؤثر خواهند بود. این مسائل با نرم افزار GAMS و الگوریتم های ژنتیک و رقابت استعماری، حل شده و زمان حل و تابع هدف در بخش بحث و نتایج ارائه شده است. همچنین ظرفیت مراکز اسکان، ظرفیت بیمارستان ها، هزینه ی ثابت ایجاد یا تجهیز یک مرکز اسکان، هزینه ی انتقال از هر بلوک ساختمانی به مراکز اسکان و بیمارستان ها نیز به صورت تصادفی به دست آمده و در حل مدل مورد استفاده قرار گرفته است.

### نتایج محاسباتی

همان طور که مشاهده می شود، مسائل تصادفی تولید شده، زمان حل و تابع هدف آن ها در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به حل مسائل و بررسی نتایج، می توان مسائل را به سه دسته مسائل کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم بندی نمود که نتایج آن در جداول ۲، ۳ و ۴ قرار داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، در مسائل با مقیاس کوچک تر، اختلاف کمتری بین روش های حل در پیدا کردن جواب نهایی است. مقایسه ی زمان حل نشان

می دهد که الگوریتم های فراابتکاری به ویژه در مسائل بزرگ تر در زمان کمتری به جواب نهایی می رسند. همچنین در مقایسه ی بین الگوریتم های فراابتکاری استفاده شده، نتیجه به این صورت است که با توجه به مینیمم سازی تابع هدف، جواب نهایی در الگوریتم رقابت استعماری مقدار بهینه تری نسبت به الگوریتم ژنتیک را به خود اختصاص داده است، اما زمان همگرایی در الگوریتم ژنتیک کمتر است. این مقادیر حاصل ۱۰۰۰ تکرار الگوریتم ها و همچنین متوسط ۱۰ بار اجرا است. شرط توقف الگوریتم برابر با حداکثر زمان محاسباتی اجازه داده شده، در نظر گرفته می شود. بنابراین می توان گفت به طور متوسط، الگوریتم رقابت استعماری نسبت به الگوریتم ژنتیک دارای میانگین جواب نهایی بهتری است، در صورتی که الگوریتم ژنتیک سرعت همگرایی بالاتری دارد و در زمان کمتری به جواب می رسد. می توان این طور تحلیل کرد که زمانی که به دنبال حل مسئله در زمان کوتاه تر هستیم، استفاده از الگوریتم ژنتیک منطقی تر به نظر می رسد و زمانی که دقیق تر بودن جواب نهایی در اولویت است، استفاده از الگوریتم رقابت استعماری پیشنهاد می شود.

### مطالعه ی موردی

همان طور که پیش تر بیان شد، مطالعه ی موردی در این پژوهش منطقه ی ۳ شهر تهران است. برای طرح مرحله ی اول این مسئله که مکان یابی مراکز اسکان موقت منطقه است، در ابتدا نیاز داریم شرایط منطقه را شناسایی کرده و داده های مناسب را جمع آوری کنیم. اولین گام در حل مسئله ی مکان یابی، داشتن نقشه ی منطقه و اطلاعاتی در رابطه با داده های مورد نیاز است. در این مطالعه داده های مورد نیاز برای مکان یابی اولیه، عبارت اند از: تراکم مراکز خدماتی موجود (بیمارستان ها و پمپ بنزین)، موقعیت گسل ها، موقعیت راه های اصلی، موقعیت نقاط تقاضا (بلوک های جمعیتی مبدأ)، که معمولاً به طور غیریکنواخت در منطقه پراکنده



Initial Chromosome	۶	۳	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۱	۲	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Initial Chromosome	۶	۳	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۱	۲	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Swap #1	۶	۲	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۱	۳	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Swap #2	۶	۲	۱۱	۷	۱۴	۸	۵	۱۵	۳	۱	۴	۱۳	۹	۱۰	۱۲
Swap #3	۶	۲	۱۱	۷	۱۴	۸	۱۰	۱۵	۳	۱	۴	۱۳	۹	۵	۱۲
Swap #4	۶	۲	۱۱	۷	۱۴	۸	۱۰	۱۵	۳	۱	۱۳	۴	۹	۵	۱۲
Mutated Chromosome#5	۶	۱۲	۱۱	۷	۱۴	۸	۱۰	۱۵	۳	۱	۱۳	۴	۹	۵	۲

تصویر ۴: کروموزوم اولیه و نتیجه ی پیاده سازی اپراتور جهش



جدول ۱: تولید مسائل تصادفی

	تعداد بلوک‌ها (مبدأ)	تعداد مراکز اسکان	تعداد بیمارستان‌ها	کل جمعیت منطقه	درصد افراد منتقل شده به مراکز اسکان	درصد افراد منتقل شده به مراکز درمانی
اندیس	i	j	k	P	B	A
مسئله‌ی ۱	۵	۴	۲	۱۰۰	۰٫۶	۰٫۴
مسئله‌ی ۲	۷	۴	۳	۱۵۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۳	۱۰	۵	۳	۲۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۴	۱۵	۵	۴	۲۵۰	۰٫۶	۰٫۴
مسئله‌ی ۵	۲۰	۶	۴	۳۰۰	۰٫۷	۰٫۳
مسئله‌ی ۶	۲۵	۷	۴	۴۰۰	۰٫۷	۰٫۳
مسئله‌ی ۷	۳۰	۷	۵	۵۰۰	۰٫۷	۰٫۳
مسئله‌ی ۸	۳۵	۸	۶	۶۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۹	۴۲	۸	۶	۷۰۰	۰٫۹	۰٫۱
مسئله‌ی ۱۰	۵۰	۷	۳	۸۰۰	۰٫۹	۰٫۱
مسئله‌ی ۱۱	۷۰	۸	۵	۱۵۰۰	۰٫۷	۰٫۳
مسئله‌ی ۱۲	۸۰	۹	۱۰	۲۰۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۱۳	۱۱۰	۱۰	۹	۲۸۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۱۴	۱۵۰	۱۰	۸	۳۸۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۱۵	۲۵۰	۱۰	۱۰	۴۵۰۰	۰٫۷	۰٫۳
مسئله‌ی ۱۶	۳۰۰	۱۱	۱۰	۵۰۰۰	۰٫۶	۰٫۴
مسئله‌ی ۱۷	۴۰۰	۱۲	۱۱	۱۰۰۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۱۸	۴۵۰	۱۵	۱۲	۲۰۰۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۱۹	۵۰۰	۱۵	۱۲	۲۵۰۰۰	۰٫۹	۰٫۱
مسئله‌ی ۲۰	۶۰۰	۱۵	۱۳	۳۵۰۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۲۱	۸۰۰	۱۶	۱۸	۵۰۰۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۲۲	۱۰۰۰	۱۶	۱۸	۶۰۰۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۲۳	۱۰۰۰	۱۶	۱۸	۸۰۰۰۰	۰٫۹	۰٫۱
مسئله‌ی ۲۴	۱۱۰۰	۱۷	۱۶	۱۰۰۰۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۲۵	۱۱۷۰	۱۹	۲۲	۱۳۰۰۰۰	۰٫۹	۰٫۱
مسئله‌ی ۲۶	۱۱۸۰	۲۰	۲۳	۱۴۰۰۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۲۷	۱۲۱۰	۲۱	۲۴	۱۶۰۰۰۰	۰٫۹	۰٫۱
مسئله‌ی ۲۸	۱۲۲۰	۲۲	۲۷	۱۸۰۰۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۲۹	۱۲۳۰	۲۳	۳۰	۲۱۰۰۰۰	۰٫۹	۰٫۱
مسئله‌ی ۳۰	۱۲۴۰	۲۳	۳۲	۲۳۰۰۰۰	۰٫۷	۰٫۳
مسئله‌ی ۳۱	۱۲۶۰	۲۲	۳۳	۲۶۰۰۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۳۲	۱۲۸۰	۲۴	۳۱	۲۶۰۰۰۰	۰٫۷	۰٫۳
مسئله‌ی ۳۳	۱۳۰۰	۲۰	۳۱	۲۷۰۰۰۰	۰٫۹	۰٫۱
مسئله‌ی ۳۴	۱۴۰۰	۲۲	۳۲	۲۸۰۰۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۳۵	۱۴۵۰	۲۵	۳۳	۲۹۰۰۰۰	۰٫۸	۰٫۲
مسئله‌ی ۳۶	۱۵۰۰	۲۳	۳۵	۳۰۰۰۰۰	۰٫۹	۰٫۱

۱۳

شماره پانزدهم

بهار و تابستان  
۱۳۹۸

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



مدل سازی مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص در شرایط بحران  
زلزله و حل آن به وسیله‌ی الگوریتم‌های فراابتکاری

جدول ۲: نتایج به دست آمده برای مسائل با ابعاد کوچک

GAMS IDE-Cplex			ICA			GA				
شماره مساله	تابع هدف	زمان	بهترین جواب	متوسط جواب	RPD	زمان	بهترین جواب	متوسط جواب	RPD	زمان
۱	۱۰۰۹۰	۲۵.۹۸	۱۰۰۹۰	۱۰۰۹۰	۰	۱۱.۰۲	۱۰۰۹۰	۱۰۰۹۰	۰	۱۰.۰۴
۲	۱۷۹۲۰	۲۸.۶۱	۱۷۹۲۰	۱۷۹۲۰	۰	۱۲.۳۴	۱۷۹۲۰	۱۷۹۲۰	۰	۱۱.۱۵
۳	۲۰۱۲۰	۳۳.۴۳	۲۰۱۲۰	۲۰۱۲۰	۰	۱۳.۱۰	۲۰۱۲۰	۲۰۱۲۰	۰	۱۲.۷۰
۴	۳۳۴۷۹	۳۵.۸۶	۳۳۴۷۹	۳۳۴۷۹	۰	۱۷.۲۴	۳۳۴۷۹	۳۳۴۷۹	۰	۱۵.۸۸
۵	۴۰۸۱۵	۴۱.۳۵	۴۰۸۱۵	۴۰۸۱۵	۰	۱۹.۳۵	۴۰۸۱۵	۴۰۸۱۶.۶	۰.۰۰۳	۱۶.۲۲
۶	۵۸۷۳۳	۶۸.۶۷	۵۸۷۳۳	۵۸۷۳۴.۶	۰.۰۰۲	۲۳.۳۳	۵۸۷۳۴	۵۸۷۳۵.۱	۰.۰۰۲	۲۱.۳۹
۷	۸۷۲۹۴	۱۰۱.۲۱	۸۷۲۹۴	۸۷۳۰۶.۳	۰.۰۰۶	۳۱.۲۲	۸۷۲۹۴	۸۷۳۲۷	۰.۰۰۳	۲۸.۳۸
۸	۱۱۱۲۶۳	۲۰۸.۵۵	۱۱۱۲۶۳.۴	۱۱۱۲۷۱.۱	۰.۰۰۸	۵۸.۰۴	۱۱۱۲۶۳.۸	۱۱۱۲۷۶	۰.۰۱۰	۵۴.۲۴
۹	۱۲۰۷۹۶	۲۳۸.۳۳	۱۲۰۷۹۶	۱۲۰۷۹۷.۷	۰.۰۰۱	۵۹.۴۲	۱۲۰۷۹۶	۱۲۰۷۹۸.۷	۰.۰۰۱	۵۷.۱۲
۱۰	۱۳۷۶۶۰	۳۲۱.۹۶	۱۳۷۶۶۰	۱۳۸۶۸۳.۳	۵۹۶.۰۰	۷۶.۱۰	۱۳۷۶۶۱	۱۳۹۶۹۵.۱	۰.۹۶۸	۷۰.۶۲
۱۱	۲۳۵۳۲۳	۳۷۰.۴۲	۲۳۵۳۲۳.۹	۲۳۵۴۲۱.۱	۰.۰۶۲	۸۹.۱۲	۲۳۵۳۲۴	۲۳۵۴۲۴.۸	۰.۰۶۲	۸۵.۱۲
۱۲	۳۰۴۹۷۰	۴۲۳.۰۷	۳۰۴۹۷۰.۶	۳۰۵۰۱۲.۲	۰.۰۱۵	۹۰.۲۱	۳۰۴۹۷۳.۱	۳۰۵۰۷۴.۹	۰.۰۳۱	۸۸.۸۳

جدول ۳: نتایج به دست آمده برای مسائل با ابعاد متوسط

GAMS IDE-Cplex			ICA			GA				
شماره مساله	تابع هدف	زمان	بهترین جواب	متوسط جواب	RPD	زمان	بهترین جواب	متوسط جواب	RPD	زمان
۱۳	۳۷۴۱۰.۴	۶۲۱.۳۶	۳۷۴۱۰.۴	۳۸۱۰۰۸.۹	۲۰.۱۲	۱۲۵.۹	۳۷۴۱۰.۴۲	۳۸۴۱۰.۹۱	۲۰.۸۲۱	۱۲۴.۲۳
۱۴	۶۷۹۴۵۸	۶۹۰.۰۶	۶۷۹۴۵۹.۱	۶۷۹۵۴۳.۷	۰.۰۱۰	۱۳۸.۱	۶۷۹۴۵۹.۱	۶۷۹۶۹۹.۱	۰.۰۲۵	۱۳۱.۱۱
۱۵	۷۸۳۷۲۵	۸۷۰.۳۲	۷۸۳۷۲۵	۷۸۳۸۳۱.۸	۰.۰۱۳	۱۶۶.۶	۷۸۳۷۲۵.۶	۷۸۳۹۴۰.۳	۰.۰۱۹	۱۵۶.۶
۱۶	۸۸۴۲۶۴	۹۱۲.۵۵	۸۸۴۲۶۴.۸	۸۸۹۲۷۰.۱	۰.۵۵۹	۱۸۶.۹	۸۸۴۲۶۵	۸۹۴۲۷۱	۱.۱۴۲	۱۷۳.۶
۱۷	۱۵۹۶۸۸۱	۱۰۹۰.۰۵	۱۵۹۶۸۸۲.۱	۱۶۰۶۹۱۰.۱	۰.۵۵۱	۲۲۱.۹	۱۵۹۶۸۸۳	۱۶۱۱۱۲۰.۲	۰.۹۰۶	۲۰۷.۱
۱۸	۳۰۶۱۶۶۹	۱۲۵۳.۵۴	۳۰۶۱۶۶۹	۳۰۶۱۹۰۷.۸	۰.۰۰۷	۲۶۷.۲	۳۰۶۱۶۶۹.۷	۳۰۶۲۲۹۰	۰.۰۱۹	۲۵۵.۴
۱۹	۳۷۰۴۳۱۳	۱۵۳۲.۰۹	۳۷۰۴۳۱۹.۵	۳۷۲۱۱۸۹.۵	۰.۴۶۲	۲۹۱.۵	۳۷۰۴۳۲۱.۳	۳۷۳۱۲۱۳.۵	۰.۷۹۷	۲۸۴.۱
۲۰	۵۱۸۰۳۴۵	۱۶۷۱.۸۳	۵۱۸۰۳۴۸.۰	۵۲۱۰۷۶۸.۵	۰.۶۱۸	۳۰۸.۲	۵۱۸۰۳۴۹.۲	۵۲۶۶۵۳۲.۷	۱.۵۴۳	۲۹۴.۳
۲۱	۷۱۵۳۷۰۰	>۱۸۰۰	۷۱۵۳۷۰۴.۲	۷۲۰۲۳۴.۲	۰.۶۷۱	۳۲۴.۷	۷۱۵۳۷۰۹.۱	۷۲۱۲۱۰۶.۷	۰.۸۲۲	۳۱۲.۱
۲۲	۸۵۵۵۰۶۳	>۱۸۰۰	۸۵۵۵۰۶۴.۴	۸۵۷۵۱۰۱.۲	۰.۲۳۵	۳۷۵.۷	۸۵۵۵۰۶۸.۸	۸۸۰۰۱۰۶.۸	۲.۴۸۰	۳۳۳.۱
۲۳	۱۱۴۸۷۵۹۳	>۱۸۰۰	۱۱۴۸۷۴۹۹.۱	۱۱۴۸۷۵۹۰.۸	۰.۰۰۰۷	۴۱۶.۱	۱۱۴۸۷۵۰۱.۳	۱۱۴۸۷۵۹۴.۸	۰.۰۰۰۸	۳۹۶.۸
۲۴	۱۴۲۰۸۷۸۵	>۱۸۰۰	۱۳۳۰۸۷۷۱.۳	۱۳۳۰۸۷۷۱.۳	۵.۲۵۹	۴۳۶.۸	۱۳۸۰۸۷۸۳.۱	۱۴۲۰۰۱۹۰.۹	۶۰.۴۵	۴۲۰.۱

یک نقشه‌ی مجزاست. معیارها عبارت‌اند از: دسترسی به راه‌های اصلی، فاصله از مراکز درمانی، فاصله از پمپ‌بنزین، فاصله از گسل و شیب منطقه.

### مراحل انجام کار در گام اول

مراحل کار در این قسمت پژوهش، به منظور مکان‌یابی مراکز اسکان موقت در شرایط بحران به شرح زیر است:  
 ۱. تهیه‌ی اطلاعات مکانی و توصیفی (داده‌های اولیه) مورد نیاز

شده‌اند، همچنین تراکم جمعیت هر بلوک و در نهایت، شیب منطقه.

### معیارهای مورد نیاز در مکان‌یابی اولیه

برای انجام مکان‌یابی فاکتورهای زیادی را می‌توان مورد بررسی قرار داد و معیارهای مختلفی را تعریف کرد. دسترسی، امنیت، ملاحظات اقتصادی، فرهنگ و سنت مردم ناحیه، فضای سبز، توپوگرافی و زهکشی زمین و بسیاری عوامل دیگر از جمله فاکتورهای مؤثر در انجام یک مکان‌یابی است [۲۴]. در این پژوهش پنج معیار مکانی برای مکان‌یابی اولیه در نظر گرفته شده است. وارد شدن هرکدام از این معیارها در نرم‌افزار، به صورت



جدول ۴: نتایج به دست آمده برای مسائل با ابعاد بزرگ

GAMS IDE-Cplex			ICA			GA				
شماره مسئله	تابع هدف	زمان	بهترین جواب	متوسط جواب	RPD	زمان	بهترین جواب	متوسط جواب	RPD	زمان
۲۵	۱۶۹۳۴۴۳۵	>۱۸۰۰	۱۴۱۲۰۱۲۱.۴	۱۵۳۴۰۲۴۶.۷	۸.۶۴۰	۴۵۲.۳	۱۵۰۲۴۱۱۳.۵	۱۶۶۹۲۱۱۳.۴	۱۱.۱۰۲	۴۳۸.۷
۲۶	۱۸۴۳۴۲۹۹	>۱۸۰۰	۱۶۳۶۷۸۶۲.۹	۱۷۵۰۹۵۲۱.۸	۶.۹۷۷	۴۶۰.۳	۱۷۵۹۸۹۸۱.۳	۱۹۳۳۶۹۸۰.۷	۹.۸۷۵	۴۴۱.۲
۲۷	۲۰۰۵۰۴۵۴	>۱۸۰۰	۱۸۹۴۰۰۱۱.۵	۲۰۱۴۰۸۵۰.۶	۶.۳۰۸	۴۶۱.۶	۱۹۱۸۲۱۲۱.۵	۲۰۹۴۵۶۶۸.۹	۹.۱۹۳	۴۴۲.۵
۲۸	۲۴۴۷۶۹۹۰	>۱۸۰۰	۲۱۰۸۱۱۲۳.۳	۲۳۰۷۶۳۲۳.۰	۹.۴۶۴	۴۸۴.۹	۲۳۱۲۳۸۷۶.۹	۲۶۰۸۳۸۷۶.۹	۱۲.۸۰۰	۴۵۰.۱
۲۹	۲۷۲۵۵۸۹۱	>۱۸۰۰	۲۵۵۴۲۲۱۹.۳	۲۸۰۴۷۱۲۹.۱	۹.۸۰۶	۴۹۰.۱	۲۷۳۹۸۳۴۱.۲	۳۰۶۹۶۲۹۰.۵	۱۱.۸۹۱	۴۵۱.۹
۳۰	۲۸۸۹۸۴۴۱	>۱۸۰۰	۲۵۹۸۷۵۱۱.۴	۲۸۱۰۷۶۵۱.۸	۸.۱۵۸	۵۰۳.۲	۲۷۴۱۱۲۱۰.۸	۳۰۷۹۱۲۱۰.۹	۱۲.۰۶۱	۴۸۰.۱
۳۱	۳۲۶۵۲۰۸۱	>۱۸۰۰	۲۶۷۲۱۹۹۹.۳	۳۰۰۱۷۲۸۶.۱	۱۲.۶۳۱	۵۲۵.۹	۲۷۶۱۱۶۱۱.۴	۳۱۶۷۳۹۳۶.۴	۱۵.۵۸۱	۴۹۰.۴
۳۲	۳۳۵۷۷۸۴۰	>۱۸۰۰	۲۶۸۹۷۷۵۳.۸	۳۰۲۸۷۹۶۱.۱	۱۲.۶۰۴	۵۳۰.۸	۲۷۷۸۹۰۵۱.۱	۳۱۹۵۹۶۹۱.۷	۱۵.۳۶۸	۵۱۵.۹
۳۳	۳۵۷۵۵۳۱۴	>۱۸۰۰	۲۷۲۵۵۲۱۵.۶	۳۱۷۵۵۳۱۴.۹	۱۳.۹۷۷	۵۳۹.۴	۲۷۸۹۹۸۱۲.۷	۳۳۲۵۲۳۴۴.۹	۱۵.۸۷۵	۵۲۳.۶
۳۴	۳۶۸۹۹۵۹۹	>۱۸۰۰	۲۸۰۴۱۶۵۲.۹	۳۱۹۳۰۴۴۰.۷	۱۳.۸۶۷	۵۵۰.۴	۲۹۱۸۷۷۰۹.۳	۳۳۵۶۷۱۴۰.۵	۱۵.۰۰۴	۵۳۳.۱
۳۵	۳۷۲۱۱۳۲۱	>۱۸۰۰	۲۸۶۹۹۱۲۱.۱	۳۲۱۰۷۱۵۳.۳	۱۱.۸۷۵	۵۶۹.۲	۲۹۵۱۱۲۰۹.۲	۳۳۸۰۸۷۲۱.۲	۱۴.۵۶۲	۵۳۸.۱
۳۶	۳۸۹۱۹۸۶۹	>۱۸۰۰	۲۹۰۰۱۳۱۴.۱	۳۴۳۵۱۹۵۴.۸	۱۵.۴۶۴	۵۹۶.۸	۲۹۹۱۹۹۲۹.۱	۳۶۳۲۶۷۱۱.۸	۱۷.۲۱۰	۵۵۰.۵
Average of RPD					۱۰.۸۱	Average of RPD				

جدول ۵: اوزان معیارهای انتخاب شده برای مکان یابی اولیه

عملکردی ۰/۶۸			طبیعی ۰/۳۲	
فاصله از راه‌های اصلی ۰/۲۵	فاصله از پمپ بنزین ۰/۲۰	فاصله از مراکز درمانی ۰/۲۳	شیب منطقه ۰/۱۵	فاصله از گسل ۰/۱۷

در این مرحله مکان‌های مناسب برای استقرار مشخص شده است. با استفاده از نقشه‌ی منطقه ۳، کاربری محل‌های منتخب به دست آمده و مکان‌های کاندید معرفی می‌گردند و به عنوان ورودی در گام بعد مورد استفاده قرار می‌گیرند. ابتدا داده‌های منطقه به شکل نقشه وارد نرم‌افزار می‌شود. تمام آنالیزهای انجام شده در این قسمت داخل محدوده‌ی منطقه ۳ تهران انجام می‌شود.

### محاسبه‌ی وزن معیارها

همان‌طور که در بخش مراحل انجام کار مطرح گردید پس از مشخص شدن معیارهای مکان‌یابی و تهیه‌ی نقشه‌های مربوطه، باید میزان اهمیت هر یک از معیارها در قالب دادن وزنی مشخص به هر کدام به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی انجام گیرد. بر این اساس در این مرحله از پژوهش برای تعیین اوزان معیارها از تکنیک مقایسه‌ی زوجی و نرم‌افزار Expertchoice بهره گرفته شده است. از آن‌جا که این مدل بر پایه‌ی دانش استوار است و بر اساس نظر متخصصان صورت می‌پذیرد [۲۵]، از نظرات کارشناسان شهری و متخصصان حوزه‌ی مدیریت بحران شهری استفاده شده و به منزله‌ی ورودی مدل، در نرم‌افزار وارد شده و اوزان به شرح جدول ۵ استخراج گردید.

۲. ایجاد لایه‌های مربوط به معیارهای انتخاب شده در نرم‌افزار (با توجه به نقشه‌های مرتبط با هر معیار با تهیه‌ی نقشه‌ها از شهرداری منطقه‌ی ۳) شامل:
  - اطلاعات مربوط به کاربری‌های ناسازگار (مکان پمپ‌بنزین و موقعیت نسبت به گسل)
  - اطلاعات مربوط به کاربری‌های سازگار (مکان مراکز درمانی)
  - اطلاعات مربوط به دسترسی (دسترسی به راه‌های اصلی)
  - اطلاعات مربوط به شیب منطقه.
۳. انتقال لایه‌ها در ArcGIS و طبقه‌بندی بر مبنای ضوابط مرتبط با هر لایه با در نظر گرفتن مطلوب‌ترین فاصله و حریم‌های مرتبط بر اساس ضوابط تعیین شده توسط سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران
۴. تهیه‌ی نقشه‌ی فاکتور و طبقه‌بندی مجدد آن‌ها
۵. محاسبه‌ی وزن معیارها با استفاده از روش مقایسه‌ی زوجی (وزن هر فاکتور نشان‌دهنده‌ی میزان اهمیت و ارزش آن نسبت به دیگر فاکتورها در عملیات میدانی مکان‌یابی است).
۶. تلفیق نقشه‌های فاکتور و تعیین مکان‌های مناسب (هدف تلفیق نقشه‌های فاکتور، تعیین مکان‌های مناسب برای استقرار مکان مناسب جهت ایجاد پایگاه‌های اسکان موقت است).

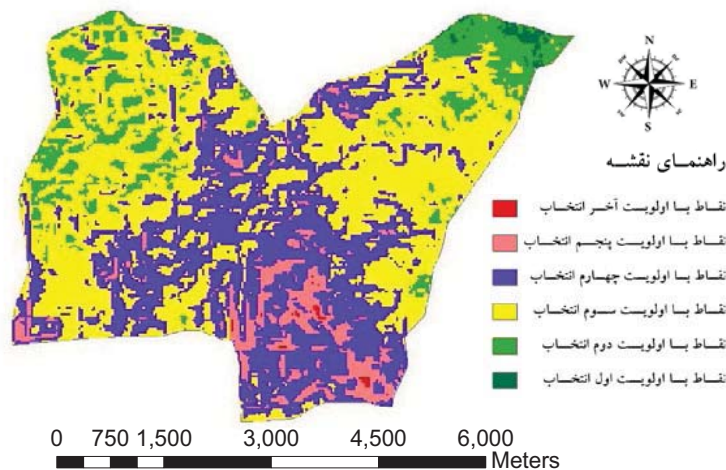
### تلفیق نقشه‌ها و تولید نقشه‌ی نهایی

در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS و با توجه به وزن‌های استخراج شده در مرحله‌ی قبل، نقشه‌های به‌دست آمده با یکدیگر تلفیق شده و نقشه‌ی نهایی، با ترکیب وزن معیارها در نرم‌افزار تولید می‌شود. همانطور که در تصویر زیر مشاهده می‌شود، لایه‌های تعریف شده (معیارها) انتخاب و در وزن مربوطه ضرب می‌شوند، تک‌تک لایه‌ها با یکدیگر جمع شده و پس از انجام محاسبه، نقشه‌ی نهایی به دست می‌آید.

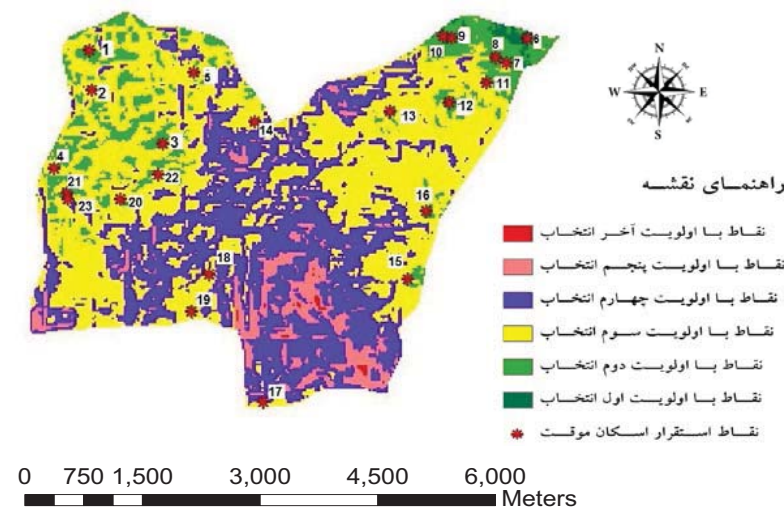
نقشه‌ی نهایی در تصویر ۵ مشاهده می‌شود. در این نقشه، نواحی‌ای که به رنگ سبز هستند، مناسب‌ترین نقاط برای استقرار مراکز اسکان هستند. پس از آن نواحی با رنگ زرد در اولویت بعدی برای استقرار مراکز هستند. نواحی آبی، صورتی و قرمز به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار دارند. مناطق مناسب برای استقرار اماکن اسکان موقت طبق تصویر ۶، علامت‌گذاری شده است. همچنین مراکز درمانی منطقه‌ی مورد مطالعه نیز، روی نقشه علامت‌گذاری شده که نقشه‌ی مربوط به آن در تصویر ۷ مشاهده می‌شود.

با توجه به اطلاعات به دست آمده از نرم‌افزار ARC GIS، و همچنین داده‌های منطقه‌ی ۳ تهران، داده‌های مسئله‌ی مورد نظر به شرح زیر است. همچنین، تعداد بلوک‌های ساختمانی (مبدأ) طبق داده‌ها، ۱۲۴۰ بلوک برآورد شده است. فواصل بین خیابان‌های فرعی یک بلوک در نظر گرفته می‌شود.

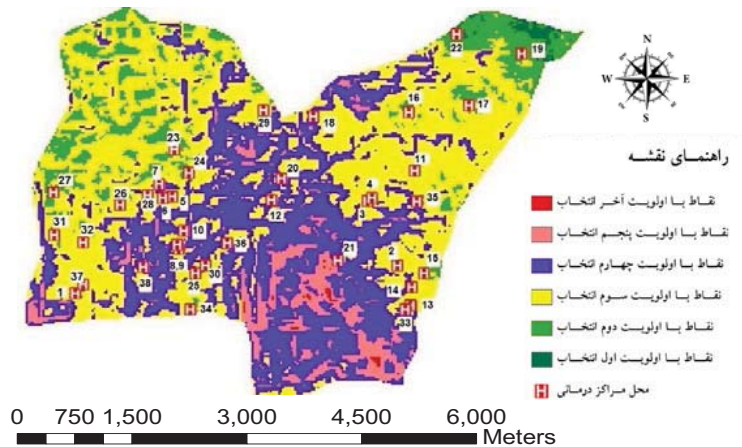
- تعداد بلوک‌های ساختمانی:  $i=1240$
- تعداد مراکز اسکان کاندید:  $j=23$
- تعداد مراکز درمانی منطقه:  $k=38$
- کل جمعیت منطقه:  $P=237100$
- درصد افرادی که باید به مراکز اسکان منتقل شوند:  $B=0.9$
- درصد افرادی که باید به بیمارستان‌ها منتقل شوند:  $A=0.1$
- طبق آمار پایگاه‌های مدیریت بحران، پس از وقوع زلزله‌ی اصلی، حدود ۹۰٪ افراد قابلیت انتقال به مراکز اسکان موقت را دارند. و حدود ۱۰٪ باقیمانده دچار جراحات شدید می‌شوند و باید به مراکز درمانی منتقل شوند. همچنین فاصله‌های بین بلوک‌های ساختمانی و مراکز اسکان کاندید و همچنین مراکز درمانی از روش فاصله‌ی اقلیدسی طبق رابطه‌ی ۴ محاسبه شده است:



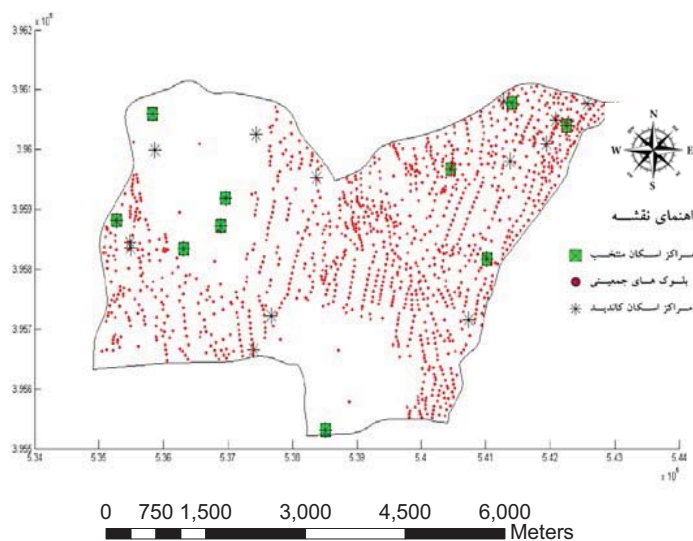
تصویر ۵: نقشه‌ی نهایی



تصویر ۶: مناطق منتخب برای استقرار اماکن اسکان موقت روی نقشه‌ی منطقه



تصویر ۷: مراکز درمانی مشخص شده روی نقشه‌ی منطقه



تصویر ۸: مراکز اسکان منتخب به رنگ سبز

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

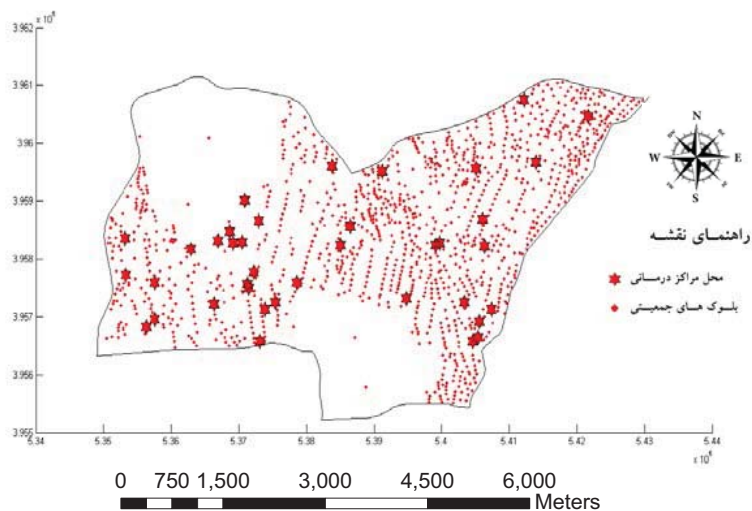
پارامترهای رابطه‌ی ۴، مختصات نقاط مورد نظر روی نقشه هستند که در لایه‌ی مربوطه در نرم افزار ARC GIS موجود است. با توجه به اطلاعات موجود، ظرفیت مراکز اسکان و مراکز درمانی در دسترس است. همچنین برای هر فرد به طور متوسط بین ۳ تا ۵ متر مربع فضا، برای اسکان اختصاص داده می‌شود. در این پژوهش برای هر فرد ۴ متر مربع فضا در نظر گرفته شده است. این مسئله با الگوریتم رقابت استعماری، حل شده و نتایج به دست آمده در قسمت بعد شرح داده شده است.

### تحلیل نتایج

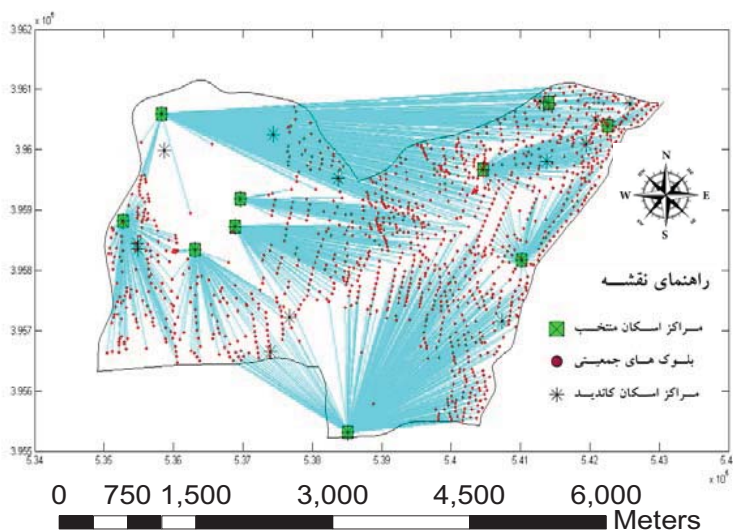
همان‌طور که اشاره شد، مسئله با الگوریتم رقابت استعماری حل شده و مراکز اسکان منتخب، نحوه‌ی تخصیص بلوک‌های ساختمانی به مراکز اسکان و همچنین به مراکز درمانی در تصویرهای زیر نمایش داده شده است. همان‌طور که در تصویر ۸ مشاهده می‌شود، پس از حل مسئله از بین ۲۳ مرکز اسکان کاندید شده، ۱۰ مرکز که به رنگ سبز مشخص شده‌اند برای تخصیص افراد

آسیب دیده پس از زلزله انتخاب شده است. تصویر ۹، موقعیت ۳۸ مرکز درمانی منتخب در منطقه‌ی ۳ و بلوک‌های ساختمانی منطقه را در روی نقشه نشان می‌دهد. در تصویر ۱۰، نحوه‌ی تخصیص بلوک‌های ساختمانی به ۱۰ مرکز اسکان منتخب قابل مشاهده است. تخصیص نهایی بلوک‌های ساختمانی به مراکز درمانی نیز در تصویر ۱۱ نشان داده شده است.

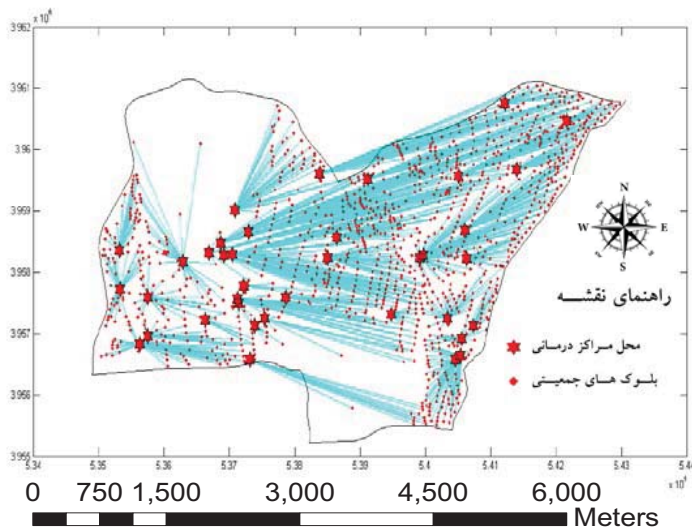
همان‌طور که مشاهده می‌شود، با توجه به کثرت جمعیت در شرق و شمال شرق منطقه‌ی ۳ تهران، نیاز به برپایی مراکز اسکان با ظرفیت پذیرش بالاتر، حس می‌شود. مراکز کاندیدا برای اسکان در قسمت شمال شرقی منطقه همگی دارای ظرفیت پایین برای پذیرش افراد است، و احداث همه‌ی آن‌ها با توجه به حل نهایی الگوریتم، صرفه‌ی اقتصادی ندارد. بنابراین، بلوک‌های باقی مانده‌ی آن منطقه به اجبار مسافت طولانی را برای اسکان طی خواهند نمود، که البته این امر، احتمال خسارات جانی وارده به افراد زلزله‌زده را بالا می‌برد. بنابراین اختصاص فضایی با ظرفیت بالاتر پذیرش افراد، در قسمت شرق و شمال شرقی منطقه، که آمادگی نسبی برای پذیرش افراد پس از وقوع بحران را دارا باشند، توصیه می‌گردد.



تصویر ۹: موقعیت مراکز درمانی و بلوک های ساختمانی منطقه ۳



تصویر ۱۰: تخصیص نهایی بلوک های ساختمانی به مراکز اسکان منتخب



تصویر ۱۱: تخصیص نهایی بلوک های ساختمانی به مراکز درمانی

4. The Location Set Covering Problem (LSCP)
5. Maximal Covering Location Problem (MCLP)
6. Bianchi
7. Badri
8. Wang
9. Mestre
10. Boonmee
11. Geographic Information System (GIS)
12. Imperialist Competitive Algorithm (ICA)
13. Country
14. Imperialist
15. Assimilation
16. Revolution
17. Imperialistic Competition
18. Revolution
19. Survival of the fittest

### منابع

۱. حسینی، مازیار (۱۳۸۷). مدیریت بحران. موسسه‌ی نشر شهر، ایران.
2. Wassenhove L.N.V. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *The Journal of the Operational Research Society*, 475- 489.
۳. قاسمی، بیمان؛ ابراهیمی، مهدی (۱۳۹۵). توسعه‌ی مدل برنامه‌ریزی ریاضی جهت مکان‌یابی- تخصیص در مسئله‌ی لجستیک امداد بحران، سومین همایش ملی پژوهش‌های مهندسی صنایع، تهران، گروه پژوهشی بوعلی.
4. Sheu J.B. (2007). Challenges of emergency logistics management, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 655- 659.
5. Boonmee, C., Arimura, M., Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, In Press.
۶. فیلی، حمیدرضا؛ ضمیری آذر، کتابون؛ باقری روزبهانی، گلاره (۱۳۸۹). مکان‌یابی مراکز امدادسانی و نحوه‌ی تخصیص مصدومین به این مراکز در زمان وقوع زلزله، دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، ایران.
۷. آقامحمدی، حسین؛ مسگری، محمد سعدی؛ مولایی، دامون؛ کریمی، وحید (۱۳۹۱). توسعه‌ی یک روش ابتکاری برای بهینه‌سازی مسئله مکان‌یابی و تخصیص در عملیات امدادسانی به مصدومان زلزله. برنامه‌ریزی و آمایش فضا، شماره‌ی ۶، ۵۷-۷۶.
8. Lindeskov, C. K. (2002). Ambulance Allocation Using GIS. *Informatik or Matematisk Modelling*, Danmarks Tekniske Universitet.
9. Farahani, R. Z., Hekmatfar, M. (2009). Facility location: concepts, models, algorithms and case studies, Physica-Verlag HD, Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
10. Sevkli, M., Guner, A. (2006). A continuous particle swarm optimization algorithm for uncapacitated facility location problem, *Ant colony optimization and swarm intelligence*, 316-323.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، مدلی با در نظر گرفتن قید ظرفیت، در شرایط بحران، برای مکان‌یابی و تخصیص افراد به اماکن امن و مراکز درمانی، در ۲۴ ساعت اول پس از وقوع زلزله، طرح شده است. پس از طرح مدل، مسائل تصادفی در اندازه‌های مختلف با داده‌های فرضی، ایجاد شده است. این مسائل با استفاده از نرم‌افزار GAMS و الگوریتم‌های ژنتیک و رقابت استعماری حل شده است. نتایج به دست آمده در این قسمت، نشان می‌دهد، مسائل کوچک‌تر در محیط GAMS و روش‌های فراابتکاری جواب یکسان داده و تابع هدف مسئله به عدد واحدی رسیده است. البته زمان به جواب رسیدن در الگوریتم‌های فراابتکاری کمتر از زمان حل در GAMS است. هر چه مقیاس مسائل ایجاد شده بزرگ‌تر شود، اختلاف بین جواب‌های تابع هدف و زمان حل، بیشتر می‌شود. جواب‌های نهایی در مسائل با مقیاس بزرگ در الگوریتم‌های فراابتکاری به حالت بهینه نزدیک است. هدف از طرح این مسائل، سنجش اعتبار مدل طرح شده در مقیاس‌های مختلف، و همچنین بررسی نحوه‌ی عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده با توجه به نتایج گرفته شده از حل مدل در نرم‌افزار GAMS است. همچنین در ادامه‌ی این پژوهش، با طرح یک مطالعه‌ی موردی، برای منطقه‌ی ۳ تهران این مسئله در دو گام حل شده است. برای نزدیک‌تر شدن شرایط این مسئله به واقعیت، در گام اول مکان‌های کاندید شده برای اسکان در منطقه‌ی ۳ تهران مشخص شده، و سپس در گام بعد با در نظر گرفتن هدف و محدودیت‌های مدل، بهترین اماکن اسکان و تخصیص بهینه‌ی افراد به اماکن امن و مراکز درمانی منطقه، پس از حل مدل با الگوریتم‌های فراابتکاری، به دست آمده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد، زمان همگرایی در الگوریتم ژنتیک پایین‌تر از رقابت استعماری است، اما جواب‌های نهایی در الگوریتم رقابت استعماری به حالت بهینه نزدیک‌تر است.

در قالب پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی می‌توان در این مدل، ترافیک مسیرهای انتقالی را نیز در نظر گرفت و در بخشی از مسئله، مسیریابی نیز گنجانده شود. همچنین می‌توان از الگوریتم‌های دیگری نیز برای حل استفاده کرده و نتایج به دست آمده را تحلیل نمود. همچنین می‌توان ابعاد مطالعه‌ی موردی را بیشتر کرده و با داده‌های چند منطقه از تهران مسئله را حل نمود. در این تحقیق، مسئله‌ی تک هدفه، به وسیله‌ی دو الگوریتم فراابتکاری حل شد. پیشنهاد می‌شود برای تحقیقات آتی، اهداف دیگری تعریف شده و مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص چندهدفه را به وسیله‌ی دو الگوریتم حل نمود و جواب‌های به دست آمده را با هم مقایسه کرد. همچنین با توجه به زمان بهینه‌ی همگرایی در الگوریتم ژنتیک و جواب‌های بهینه‌ی به دست آمده در الگوریتم رقابت استعماری، می‌توان از الگوریتم ترکیبی برای حل این مسئله استفاده نمود.

### پی‌نوشت

1. Weber
2. Sevkli and Guner
3. Toregas

۲۴. تهرانی، ژ؛ درستیان، آ؛ خانی، ر؛ منظمی تهرانی، غ؛ هداوند، ر (۱۳۹۳). اهمیت پایگاه‌های اسکان موقت در مدیریت بحران و مکان‌یابی آن‌ها به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری، دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان‌های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری، تهران، ایران.

25. Saaty, T.L., (1980). *The Analytical Hierarchy Process, Planning Priority, Resource Allocation*. RWS Publication, USA, p 20-33.

11. Liu, N., Huang, B., Chandramouli, M., (2006). Optimal sitting of fire stations using GIS and ANT algorithm. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 361-369.
12. Caunhye, A. M., Nie. X., Pokharel, S. (2012). Optimization models in emergency logistics: A literature review, *Socio-Economic Planning Sciences*, 4-13.
13. Church, R.L., Gerrard R.A., (2003). The multi-level location set covering model. *Geographical Analysis*, 277-289.
14. Badri, A.M., Mortaghy, A.K., Alsayed, C.A., (1998). A multi-objective model for location fire station. *European Journal of Operational Research*, 243-260.
15. Rahman, S.U., Smith, D.K., (2000). Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations. *European Journal of Operational Research*, 437-452.
16. Wang, Q., Batta, R., Rump, C.M., (2002). Algorithms for a facility location problem with stochastic customer demand and immobile servers. *Annals of operations research*, 17-34.
17. Dekle, J., Lavieri, M. S., Martin, E., Emir-Farinas, H., Francis, R., (2005). A Florida County Locates Disaster Recovery Centers. *Interfaces*, 133-139.
18. Mestre A.M., Oliveira M.D, Brbosa-Povoa A.P., (2014). Location-allocation approaches for hospital network planning under uncertainty. *European journal of operational research*, 791-806.
19. McCormack R., Graham C, (2015). A Simulation model to enable the optimization of ambulance fleet allocation and base station location for increased patient survival. *European journal of operational research*.
20. Li, X., & Yeh, A. G. O. (2005). Integration of genetic algorithms and GIS for optimal location search. *International Journal of Geographical Information Science*, 581-601.
۲۱. آتش‌پز گرگری، اسماعیل (۱۳۸۷). توسعه‌ی الگوریتم بهینه‌سازی اجتماعی و بررسی کارایی آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تهران.
22. Atashpaz-Gargari, E., Lucas, C., (2007). Imperialist competitive algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition. *Evolutionary Computation*, 5461-4667
23. Tseng, L.Y. and Yang, S., (1997). Genetic algorithms for clustering, feature selection and Classification, IEEE Int. Conference on Neural Networks, P.1612-1616.

۲۰

شماره پانزدهم  
بهار و تابستان  
۱۳۹۸  
دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



مدل‌سازی مسئله مکان‌یابی و تخصیص در شرایط بحران  
زلزله و حل آن به‌وسیله‌ی الگوریتم‌های فراابتکاری