J. RS. GEOINF. RES. 1(1): 91-102, Winter & Spring 2023

Journal of Remote Sensing and Geoinformation Research
(JRSGR)
Homepage: jrsgr.sru.ac.ir

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Comparison of Spatially Guided Tabu Search and Nested Genetic Algorithms for Solving the Capacitated Location-Allocation Problem in Emergency Situations

H. Aghamohammadi

Department of GIS and Remote Sensing, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University-Science and Research Branch, Tehran, Iran

Received: 03 February 2023
Reviewed:19 March 2023
Revised: 05 May 2023
Accepted: 13 June 2023

KEYWORDS:
Allocation
Earthquake-Related Injured
Genetic Algorithm
Geospatial Information System
Spatially Guided Tabu Search

* Corresponding author
aghamohammadi@srbiau.ac.ir
(+9821) 44867171

ABSTRACT

Background and Objectives: Severe earthquakes cause a lot of human and financial damage, which was prevented from occurring after the accident with quick and timely relief. One of the important problems in this field is the optimal allocation of injured to medical centers, and these problems have a dynamic and complex nature and cannot be solved by simple methods. The use of geographic information systems (GIS) along with optimization and simulation methods makes it possible to find a method for optimally allocating injured to medical centers. The problem of allocation of earthquake-related injured to medical centers is in the category of capacity allocation problems, and in this type of problems, with the increase in the number of demand points and service centers, the complexity and volume of the problem calculations increases exponentially, so in many cases, it is not It is possible to use direct and definite search methods in solving this type of problems, and appropriate innovative methods should be used to solve them optimally.On the other hand, because data plays an important role in allocating injured to medical centers, it is possible to move towards a better and simpler solution by integrating and combining the spatial information system with optimization methods.

Methods: In this study, it is assumed that in the event of an earthquake in a number of building blocks, a number of people living in them will be injured and need help, and the locations of this injured population are the demand points. In this way, these injured should be sent to medical centers, each of which has the ability to provide services to a certain number of these injured. The next parameter is the number of medical centers and their capacity to provide medical services. In this research, the capacity of medical centers is assumed to be less than the number of injured people. Finally, by optimizing the objective function, a ratio of injured people at different points that should be accepted by existing or new treatment centers is calculated using a nested genetic algorithm. The output of the genetic algorithm that determines the location of the new centers is combined with the existing information, which is the location of the existing centers, and then it is used as the input parameters of the spatially guided tabu search (SGTS) algorithm to determine the best allocation.

Findings: In order to assess the accuracy of the genetic algorithm and SGTS method, the standard deviation, accuracy, and processing time have been evaluated, which SGTS method has performed better in all three assessment. The results show that the standard deviation ratio of the proposed method compared to the genetic algorithm is 0.12, and the average accuracy of SGTS method has improved by 18% on average compared to the genetic algorithm. Also, the SGTS method performed calculations 7% faster.

Conclusion: By comparing the processing time to optimally solve the problem of earthquake-related injured allocation to medical centers, it can be concluded that SGTS method can reach convergence in a shorter period of time. Therefore, creating a selection list using the structure provided based on spatial analysis can be effective in this field. The SGTS method is more accurate than the genetic algorithm, and the results obtained from this method are robust. For solving the capacitated location-allocation problem, if the objective of optimization is locating and allocating, then combined algorithms are recommended for optimally solving both. Although this study has succeeded to propose a combination method for the optimal solution of the capacitated location-allocation

problem, it is recommended to conduct the combination of meta-heuristic methods and compare the results with the proposed method.

NUMBER OF TABLES	NUMBER OF FIGURES	NUMBER OF REFERENCES
5	6	30

مقاله پژوهشی

مقایسه الگوریتم‌های جستجوی ممنوع هدایت شونده و ژنتیک تو در تو، جهت حل مسئله مکانیابی-تخصیص ظرفیت‌دار در شرایط اضطراری

حسین آقامحمدی

گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی-واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

زلزله‌های شدید، موجب بروز صدمات جانی و مالی زیادی می‌شود که با امدادرسانی سریع و به موقع، می‌توان از بروز بسیاری حوادث پس از سانحه، جلوگیری کرد. یکی از مسائل مهم در این زمینه، تخصیص بهینه مصدومان به مراکز درمانی است و این مسئله، دارای ماهیتی پویا و پیچیده بوده و با روش‌های ساده، قابل حل نمی‌باشد. به‌کارگیری سامانه اطلاعات مکانی (*GIS*) در کنار روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی، این امکان را فراهم می‌کند که بتوان یک روش مناسب برای تخصیص بهینه مصدومان زلزله، به مراکز درمانی یافت. مسئله تخصیص مصدومان زلزله به مراکز درمانی، در دسته مسائل تخصیص ظرفیتدار قرار دارد، که در این نوع مسائل با افزایش تعداد نقاط تقاضا و مراکز خدماتی، پیچیدگی و حجم محاسبات مسئله، به صورت نمایی افزایش می‌یابد. بنابراین، در بسیاری از مواقع، استفاده از روش‌های جستجوی مستقیم و قطعی در حل این نوع مسائل، کارایی ندارد و باید از روش‌های ابتکاری مناسب برای حل بهینه آن‌ها، بهره برد. از سویی دیگر، به دلیل آن‌که داده‌های مکانی، در مسئله تخصیص مصدومان زلزله به مراکز درمانی، نقش مهمی دارند، بنابراین، می توان با یکپارچه نمودن و ترکیب سامانه اطلاعات مکانی با روش‌های بهینه‌سازی موجود در جهت حل بهتر و ساده‌تر آن، حرکت کرد.

روش‌ها: در این تحقیق، فرض بر این است که در صورت وقوع زلزله، تعدادی از جمعیت ساکن در برخی از بلوک‌های ساختمانی، مصدوم شده و نیازمند کمک خواهند بود که محل‌های قرارگیری این جمعیت مصدوم، همان نقاط تقاضا است. بدین ترتیب، باید این مصدومان به مراکز درمانی فرستاده شوند که هر یک از آن‌ها، توانایی ارائه خدمات به تعداد مشخصی از این مصدومان را، دارا هستند. پارامتر بعدی، تعداد مراکز درمانی و ظرفیت آن‌ها برای ارائه خدمات درمانی می‌باشد که در این تحقیق، ظرفیت مراکز درمانی کمتر از تعداد مصدومان، فرض شده است. در نهایت، با بهینه سازی تابع هدف، نسبتی از مصدومان در نقاط مختلف که باید توسط مراکز درمانی موجود و یا جدید، مورد پذیرش قرار گیرند، با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک تو در تو، محاسبه می‌شود. خروجی الگوریتم ژنتیک که مکان مراکز جدید را مشخص می‌کند، با اطلاعات موجود که همان مکان مراکز موجود است، ترکیب شده و سپس به عنوان پارامترهای ورودی الگوریتم جستجوی ممنوع هدایت شونده (*SGTS*)، برای تعیین بهترین تخصیص به‌کار می‌رود.

یافته‌ها: جهت ارزیابی دقت الگوریتم ژنتیک و روش جستجوی ممنوع هدایت شونده، انحراف معیار، دقت و زمان پردازش، مورد ارزیابی قرار گرفته است که الگوریتم جستجوی ممنوع هدایت شونده در هر سه ارزیابی، عملکرد بهتری داشته است. نتایج، نشان می‌دهد که نسبت انحراف معیار روش پیشنهادی نسبت به الگوریتم ژنتیک ۰/۱۲ است و میانگین دقت روش جستجوی ممنوع هدایت شونده نسبت به الگوریتم ژنتیک، به‌طور میانگین ۱۸٪ بهبود داشته است. همچنین، روش SGTS ۷٪ سریع‌تر محاسبات را انجام داده است.

تاریخ دریافت: ۱۴ بهمن ۱۴۰۱
تاریخ داوری: ۲۸ اسفند ۱۴۰۱
تاریخ اصلاح: ۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۲۳ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:
الگوریتم ژنتیک
تخصیص
جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی
سامانه اطلاعات مکانی
مصدومان زلزله

* نویسنده مسئول
aghamohammadi@srbiau.ac.ir
۰۲۱- ۴۴۸۶۷۱۷۱

نتیجه‌گیری: با مقایسه مدت زمان حل بهینه مسئله تخصیص مصدومان زلزله به مراکز درمانی، می‌توان نتیجه گرفت که روش جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی، در مدت زمان کمتری می‌تواند به همگرایی برسد. بنابراین، ایجاد لیست انتخابی با استفاده از ساختار ارائه شده بر اساس تحلیل‌های مکانی می‌تواند در این زمینه، موثر باشد. روش جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی، دارای دقت بالاتری نسبت به روش ژنتیک و همچنین، نتایج به‌دست آمده از روش جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی دارای استحکام بیشتری می‌باشد. در حل مسائل مکان‌یابی و تخصیص منابع، اگر هدف بهینه‌سازی توامان هر دو مورد مکان‌یابی و تخصیص باشد، الگوریتم‌های ترکیبی برای حل بهینه توامان، توصیه می‌شود. اگرچه این مطالعه، موفق به ارائه روش ترکیبی برای حل بهینه مسائل تخصیص ظرفیت‌دار شده است، اما مطالعه در زمینه ترکیب روش‌های فرا ابتکاری و مقایسه نتایج آن با روش پیشنهادی، توصیه می‌گردد.

مقدّمه

انسان، در طول تاریخ همواره با زلزله به عنوان یک بلای طبیعی روبرو بوده است و همواره، زیان‌های اجتماعی و اقتصادی فراوانی را از آن، متحمل شده است. اهمیت توجه به معضل بلایای طبیعی، تا حدی است که مجمع عمومی سازمان ملل متحد در دسامبر ۱۹۸۷ میلادی، سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ را به عنوان دهه بین المللی کاهش اثرات بلایای طبیعی، اعلام نمود [۱-۳]. در دهه‌های اخیر، هزاران نفر به دلیل بروز زلزله‌های شدید، دچار صدمات جانی و مالی شده‌اند، پس می‌توان به جرأت گفت که با امدادرسانی سریع و به موقع به بخش‌های آسیب دیده، می‌توان مانع بروز بسیاری از حوادث پس از شد و از تلفات انسانی، جلوگیری کرد. بنابراین، تخصیص بهینه‌ی مصدومان به مراکز درمانی، تاثیر زیادی در کاهش زمان کمکرسانی و در نتیجه، کاهش تلفات انسانی خواهد داشت. از آن‌جائی که این مسئله دارای ماهیتی پویا و پیچیده می‌باشد و از روش‌های معمول، نمی‌توان در حل آن استفاده کرد، استفاده از قابلیت‌های علم و فناوری سامانه اطلاعات مکانی، در کنار روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی موجود، می‌تواند یک روش انتخابی برای تخصیص بهینه مصدومان زلزله به مراکز درمانی باشد [۴-۶].

در واقع، در حل بهینه این مسئله، دنبال این هستیم که مشخص گردد چه تعدادی از مصدومان در هر نقطه، به کدام مرکز درمانی فرستاده شوند تا هزینه که همان زمان تخصیص این مصدومان به مراکز درمانی موجود می‌باشد، به حداقل برسد [۷]. بنابراین، متقاضیان خدمات، مصدومان زلزله هستند که با توجه به سطح مصدومیت، نوعی خاصی از درمان را لازم دارند. پس، می‌توان گفت با تعداد زیادی متقاضی روبرو هستیم که چندین کلاس مختلف از خدمات را نیاز دارند. مشکل اساسی که در این‌جا وجود دارد، این است که نیاز به مدلی می‌باشد که بتواند برآورد مناسبی از تعداد مصدومان را ارائه کند، ولی به علت ماهیت پیچیده این مسئله که وابسته به المان‌هایی مختلفی مانند تعریف سناریوهای مختلف زلزله و طراحی و ساخت سازه می‌باشد و در اکثر موارد هم، داده‌های مناسبی وجود ندارد، ارائه مدل مناسب جهت برآورد تعداد مصدومان زلزله، امری ضروری ولی مشکل می‌باشد. روش‌هایی که در این زمینه وجود دارند، بیشتر آماری و بر اساس داده‌های زلزله‌های جهانی می‌باشد و در مناطق مختلف، نمی‌توانند دقت مناسبی در زمینه برآورد تعداد مصدومان، ارائه کنند [۸، ۹].

پارامتر مهم دیگر، تعداد مراکز درمانی و ظرفیت آن‌ها برای ارائه انواع خاصی از درمان‌ها می‌باشد. جمع آوری اطلاعات نحوه کارکرد این مراکز می‌تواند، امکان پذیر باشد ولی برای برنامه‌ریزی قبل از وقوع زلزله، نیاز به مدلی است که میزان تخریب سازه‌های آن‌ها را برآورد کند. در این مورد در مناطق مختلف دنیا، مدل‌های نسبتاً مناسبی توسعه داده شده است [۹]. پارامتر تاثیرگذار دیگر، مربوط به راه‌ها می‌باشد که در این زمینه هم، ارائه مدلی مناسب جهت تعیین سطوح مختلف انسداد لازم می‌باشد، تا بتوان بر اساس آن، سطوح دسترسی راه‌های موجود را مشخص کرد. در مرحله مقابله، از آن‌جائی که شرایط مسئله به احتمال زیاد در طول زمان زلزله و بعد از آن تغییر خواهند کرد، با یک مسئله پویا، روبرو خواهیم بود. با توجه به مطالب بحث شده، می‌توان گفت که با یک مسئله پیچیده تخصیص روبرو هستیم، که حل مناسب این مسئله، نیازمند توسعه راهکار و روشی مناسب و کارا می‌باشد [۱۰].

مطالعات مربوط به مسائل مکان‌یابی و تخصیص، به صورت رسمی با مطالعه وبر(درصورت صلاحدید نویسنده محترم، لطفا نام انگلیسی هم درج شود) بر روی تعیین مکان یک منبع با هدف کمینه‌سازی فاصله بین آن و تعدادی مشتری، شروع شد [۱۱]. از زمان پیدایش مسائل مکان‌یابی و تخصیص، تاکنون روش‌های متعددی از جمله دقیق- ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل آن‌ها، ارائه شده است. الگوریتم‌های مختلفی مثل جستجوی ممنوع، الگوریتم ژنتیک و جستجوی همسایگی متغیر برای حل این مسئله، توسط محققان استفاده شده است، به عنوان نمونه بریمبرگ (Brimberg) [۱۲] از روش جستجوی ممنوع، هانسن (Hansen)[۱۳] از الگوریتم ژنتیک و ویتاکر (Whittaker)[۱۴] از روش جستجوی همسایگی متغیر برای حل این مسئله، استفاده کردند. با توجه به تنوع و گستردگی مسائل مکان‌یابی- تخصیص، طبقه‌بندی‌های مختلفی بر اساس ویژگی‌های این مسائل، صورت گرفته است. یکی از رایج‌ترین تقسیم‌بندی‌ها، بر اساس تابع هدف می‌باشد که بر این اساس، مسائل به سه دسته کلی میانه، پوششی و مسئله مرکز، تقسیم‌بندی می شوند [۱۵].

تا به امروز، از روش‌های زیادی مانند روش بازپخت، جستجوی ممنوع، ژنتیک، انواع مختلف جستجوی همسایگی، به تنهایی یا در کنار هم برای حل مسائل چند مرکزی وبر، استفاده شده است [۱۶]. مورای (Murray) و چرچ (Church)[۱۷] از روش بازپخت برای حل این مسئله، استفاده

کردند و در زمینه استفاده از روش جستجوی ممنوع، می‌توان به [۱۸] اشاره کرد. صالحی و گامال (Gamal) [۱۹]، برای حل این مسئله، روشی بر مبنای الگوریتم ژنتیک، ارائه کردند. از مطالعات انجام شده در زمینه تخصیص منابع، می‌توان به [۲۰] اشاره کرد که در آن برای عملیات جستجو و نجات انسان‌هایی که زیر آوار مانده بودند، از روش‌های بازپخت و جستجوی ممنوع استفاده شد. گانگ (Gong) و بتا (Batta) [۲۱]، مدل‌های تخصیص و تخصیص مجدد برای عملیات امداد در موقع بحران را، بررسی کرده‌اند و هدف اصلی آن‌ها، تخصیص صحیح تعداد آمبولانس‌های مورد نیاز به هرکدام از نقاط قرارگیری مصدومان در شروع عملیات نجات، می‌باشد. در این تحقیق، سعی شده است با بررسی فرایند تخصیص مصدومان زلزله به مراکز درمانی و مطالعه مسائل مختلف مکان‌یابی و تخصیص و روش‌های بهینه‌سازی، راهکاری جدید برای تخصیص بهینه مصدومان زلزله به مراکز درمانی با استفاده از راه‌حل‌های ترکیبی به کمک الگوریتم‌های فرا ابتکاری و تجزیه و تحلیل‌های مکانی، ارائه گردد.

روش تحقیق

تخصیص بهینه مصدومان به مراکز درمانی با توجه به انتخاب و یا احداث مراکز درمانی جدید

در مسئله مکان‌یابی و تخصیص مطرح شده در این تحقیق، فرض می‌شود که در صورت وقوع زلزله، تعدادی از ساکنین برخی از بلوک‌های ساختمانی مصدوم شده و نیازمند کمک خواهند بود که محل‌های قرارگیری این جمعیت مصدوم، همان نقاط تقاضا می‌باشد. حال، باید این مصدومان به مراکز درمانی فرستاده شوند، که هر یک از آن‌ها توانایی ارائه خدمات به تعداد مشخصی از این مصدومان را، دارا می‌باشند. پارامتر مهم دیگر، تعداد مراکز درمانی و ظرفیت آن‌ها برای ارائه خدمات درمانی می‌باشد که در این تحقیق، فرض می‌شود ظرفیت مراکز درمانی، کمتر از تعداد مصدومان می‌باشد [۲۲].

تعریف تابع هدف با توجه به انتخاب و یا احداث مراکز درمانی جدید

در این مسئله، فرض می‌شود که j مرکز درمانی موجود، ظرفیت لازم برای پذیرش تمامی مصدومان را ندارد و لازم است که N مرکز درمانی جدید، ایجاد شود و برای ایجاد این مراکز درمانی جدید، K مکان مستعد موجود می‌باشد. با توجه به مطالب اشاره شده، تابع هدف بهینه‌سازی را می‌توان به شکل زیر تعریف کرد:

$$x_k = \begin{cases} 1 & \text{اگر مرکز درمانی در مکان مستعد وجود داشته باشد} \\ 0 & \text{اگر مرکز درمانی در مکان مستعد وجود نداشته باشد} \end{cases} \quad (۱)$$

$$\min \sum_i \left(\sum_j \alpha_{ij} P_i t_{ij} + \sum_k \alpha_{ik} x_k P_i t_{ik} \right) \quad (۲)$$

$$C_j + C_k \geq \left(\sum_j P_{ij} + \sum_k P_{ik} \right) \quad \forall j,k \quad , P_{ij} = \alpha_{ij} P_i \quad , P_{ik} = \alpha_{ik} P_i \quad (۳)$$

$$P_i = \sum_j P_{ij} + \sum_k P_{ik} \quad (۴)$$

که $Z(x)$ کل زمان لازم برای رساندن مصدومان به مراکز درمانی، P_i تعداد مصدومان موجود در نقطه i، α_{ij} نسبتی از مصدومان موجود در نقطه i که توسط مرکز درمانی موجود j پذیرش می‌گردد، α_{ik} نسبتی از مصدومان موجود در نقطه i که توسط مرکز درمانی k که باید ایجاد شود پذیرش می‌گردد، t_{ij} زمان رسیدن از نقطه i به مرکز درمانی j، t_{ik} زمان رسیدن از نقطه i به مرکز درمانی k که باید ایجاد شود، C_j ظرفیت سرویس‌دهی مرکز درمانی j، C_k ظرفیت سرویس دهی مرکز درمانی k که باید ایجاد شود، P_{ij} تعدادی از مصدومان نقطه i که توسط مرکز درمانی j پذیرش می‌شوند، P_{ik} تعدادی از مصدومان نقطه i که توسط مرکز درمانی k (که باید ایجاد شود) پذیرش می‌شوند و N ، تعداد مراکز درمانی است که باید ایجاد شوند.

روابط (۲) و (۳) بیانگر قیود لازم در حل این مسئله می‌باشد. رابطه (۲)، بیان‌گر این است که هر بیمارستان، بیش از ظرفیت خود پذیرش نکند و رابطه (۳)، بیان‌گر این است که مجموع مصدومان نقطه i که توسط مراکز درمانی مختلف پذیرش می‌شوند، برابر با کل مصدومان موجود در آن نقطه باشد و تمامی آن‌ها باید مورد پذیرش قرار بگیرند.

ارائه روش‌های ابتکاری ترکیبی برای حل بهینه مسئله تخصیص مصدومان زلزله با توجه به انتخاب و یا احداث مراکز درمانی جدید

اساسی‌ترین مسئله‌ای که باید حل شود، به‌دست آوردن نسبتی از مصدومان در نقاط مختلف است که توسط مراکز درمانی موجود و یا جدید مورد پذیرش قرار می‌گیرند، به نحوی که تابع هدف طراحی شده، بهینه شود و قیود مطرح شده در روابط (۲) و (۳) رعایت شود. پس در این مسئله، ماتریسی با ابعاد $i \times (i+N)$ داریم که لازم است درایه‌های آن طوری پر شوند که هر بیمارستان بیش از ظرفیت خود پذیرش نکند، و مجموع مصدومان نقطه i که توسط مراکز درمانی مختلف پذیرش می‌شوند، برابر با کل مصدومان موجود در آن نقطه‌باشد و تمامی آن‌ها، باید مورد پذیرش قرار بگیرند . برای این مشابه‌سازی، یک ساختار ریاضی مناسب به شکل یکسری معادله و نامعادله برای طرح این مسئله ارائه گردید، برای تشکیل و حل همزمان این معادلات و نامعادلات ، روشی به شرح ذیل مطرح شد. اگر i تعداد نقاط قرارگیری مصدومان ، P_1 تا P_i تعداد مصدومان درنقطه i باشد،J و N تعداد مراکز درمانی موجود و جدید باشد، C_1 تا P_{J+N} میزان ظرفیت پذیرش مصدومان مراکز درمانی 1 تا $J+N$ باشد، می‌توان یک ماتریس با ابعاد $J \times (J+N)$ را فرض کرد که آرایه‌های آن، باید به نحوی پر شود که جمع هر یک از ستون‌های آن به ترتیب، برابر تعداد مصدومان در هر یک از نقاط ۱ تا i باشد و جمع سطرهای آن به ترتیب کوچکتر و مساوی ظرفیت مراکز درمانی باشد. در شکل ۱، ساختار موصوف،نشان داده شده است.

پس می‌توان گفت با مسئله‌ای روبرو هستیم که نیازمند حل Jمعادله و $N+J$ نامعادله به طور همزمان می‌باشد، که در مجموع، باید به تعداد $J \times (J+N)$مجهول محاسبه شود. برای حل همزمان این معادلات ،نامعادلات و بهینه‌سازی تابع هدف، از دو روش ابتکاری ترکیبی مبتنی بر روش‌های

جستجوی ممنوع و ژنتیک در کنار تحلیل‌های مکانی توسعه داده شده، استفاده گردید [۲۳].

$$\begin{cases} \alpha_{11}+\alpha_{12}+\ldots+\alpha_{1(j+N)} = number\ of\ injured\ people\ in\ \text{point}1\ (\text{P1}) \\ \alpha_{21}+\alpha_{22}+\ldots+\alpha_{2(j+N)} = number\ of\ injured\ people\ in\ \text{point}\ 2\ (\text{P2}) \\ \ldots\ldots \\ \ldots\ldots \\ \alpha_{i1}+\alpha_{i2}+\ldots+\alpha_{i(j+N)} = number\ of\ injured\ people\ in\ \text{point}\ i\ \ (\text{Pi}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \alpha_{11}+\alpha_{21}+\ldots+\alpha_{i1} \le the\ capacity\ of\ hospital\ number\ 1\ (\text{C1}) \\ \alpha_{12}+\alpha_{22}+\ldots+\alpha_{i2} \le the\ capacity\ of\ hospital\ number\ 2\ (\text{C2}) \\ \ldots\ldots \\ \ldots\ldots \\ \alpha_{1(J+N)}+\alpha_{2(J+N)}+\ldots+\alpha_{i(J+N)} \le the\ capacity\ of\ hospital\ number\ (J+N)\ (\text{C}_{J+N}) \end{cases}$$

شکل ۱: ساختار ریاضی معادلات و نامعادلات

Fig. 1: The structure of mathematics and inequalities

توسعه روش‌های ابتکاری برای حل مسئله تخصیص و مکان یابی

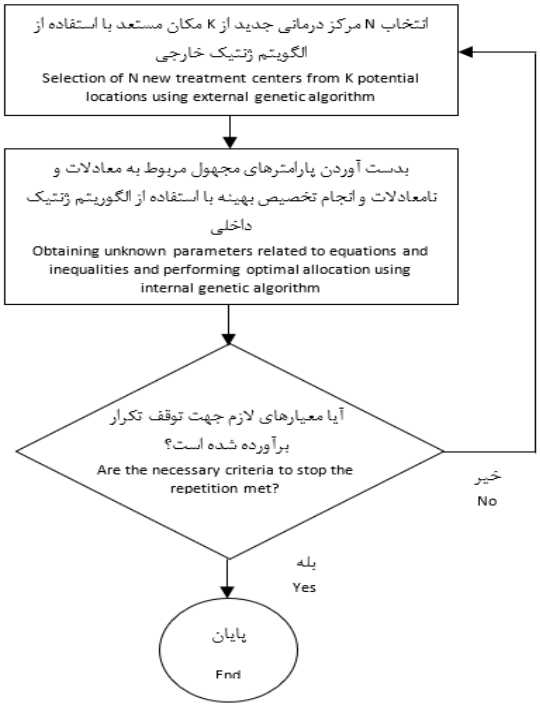
توسعه روش ابتکاری ژنتیک تو در تو

در صورت نیاز به احداث مراکز درمانی جدید، برای بهینه سازی تابع هدف و به‌دست آوردن مجهولات یکی از روش‌های انتخابی، توسعه روش ابتکاری بر اساس یک الگوریتم ژنتیک تو در تو است. وظیفه الگوریتم ژنتیک داخلی، تخصیص بهینه می‌باشد که همان به‌دست آوردن نسبتی از مصدومان در نقاط مختلف است که توسط مراکز درمانی موجود و جدید، مورد پذیرش قرار می‌گیرند و الگوریتم ژنتیک خارجی برای انتخاب بهترین مکان N مرکز خدماتی از بین K مکان مستعد مراکز درمانی به‌کار می‌رود، که مقدار بهینه به‌دست آمده برای الگوریتم ژنتیک داخلی، به عنوان تابع هدف برای الگوریتم خارجی، در نظر گرفته می‌شود.

در هر تکرار الگوریتم، خروجی الگوریتم خارجی که مکان مراکز جدید است، با اطلاعات موجود که همان مکان مراکز موجود است، ترکیب شده و سپس به عنوان پارامترهای ورودی الگوریتم داخلی برای تعیین بهترین تخصیص به‌کار می‌رود. شکل ۲، ساختار کلی الگوریتم ژنتیک تو در تو را، نشان می‌دهد. هر سری از مختصات N مرکز انتخابی در هر مرحله به‌صورت یک کروموزوم تعریف می‌شود. هر کروموزوم از $2N$ ژن تشکیل شده است که هر ژن، در برگیرنده مختصات x و y نقاط انتخاب شده از بین K مکان مستعد برای احداث مراکز درمانی می‌باشد.

توسعه روش ابتکاری ترکیبی ژنتیک و جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی

برای بهینه‌سازی تابع هدف و به‌دست آوردن مجهولات روش انتخابی دیگر، توسعه روش ابتکاری ترکیبی بر اساس الگوریتم ژنتیک و جستجوی ممنوع است که ساختار کلی آن در شکل ۳، نشان داده شده است. وظیفه الگوریتم داخلی، تخصیص بهینه می‌باشد که همان به‌دست آوردن نسبتی از مصدومان در نقاط مختلف است که توسط مراکزدرمانی موجود و جدید، مورد پذیرش قرار می‌گیرند [۲۴، ۲۵]. این قسمت، با استفاده از روش جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی انجام می‌گیرد. در بخش بیرونی، الگوریتم ژنتیک مطابق الگوریتم ژنتیک تو در تو، طراحی می‌شود که برای انتخاب بهترین مکان N مرکز خدماتی از بین K مکان مستعد مراکز درمانی به‌کار می‌رود، که مقدار بهینه به‌دست آمده برای الگوریتم داخلی، به عنوان تابع هدف برای الگوریتم خارجی در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۲: ساختار الگوریتم ژنتیک تو در تو

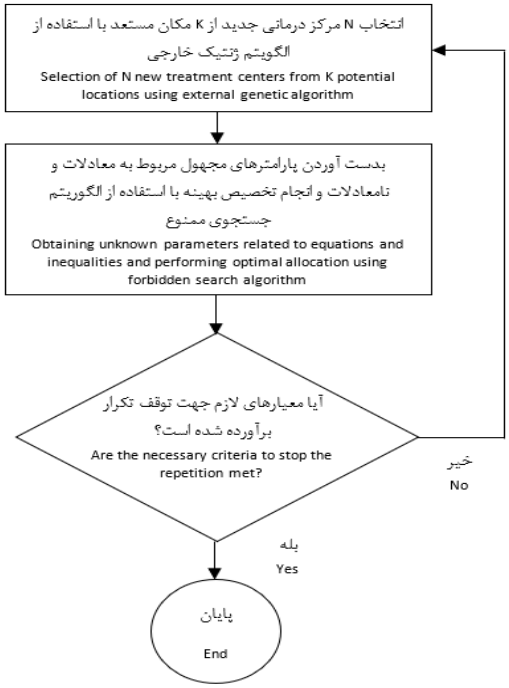
Fig. 2: The structure of the nested genetic algorithm

در هر تکرار الگوریتم، خروجی الگوریتم ژنتیک که مکان مراکز جدید است، با اطلاعات موجود که همان مکان مراکز موجود است، ترکیب شده و سپس به عنوان پارامترهای ورودی الگوریتم جستجوی ممنوع هدایت شونده (*spatially guided tabu search*) یا *SGTS* برای تعیین بهترین تخصیص به‌کار می‌رود [۲۶، ۲۷]. همچنین، خروجی تابع هدف الگوریتم *SGTS*، برای ارزیابی میزان مناسب بودن مکان‌یابی انجام گرفته توسط الگوریتم ژنتیک، به‌کار می‌رود. این فرآیند مکان‌یابی و تخصیص همزمان تا رسیدن به بهترین مکان‌یابی با بهترین تخصیص متناسب با تابع هدف معرفی شده، ادامه می‌یابد [۲۸، ۲۹].

توسعه روش فرا ابتکاری بر پایه الگوریتم جستجوی ممنوع به اسم جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی

برای بهینه‌سازی تابع هدف و به‌دست آوردن مجهولات، از روش *SGTS* استفاده می‌شود [۳۰]. در شکل ۴، ساختار کلی الگوریتم توسعه یافته نشان داده شده است. مشخصات پارامترهای مورد استفاده در این روش شامل:

الف) ماتریس تخصیص: ماتریس Z با ابعاد $i \times j$ ، با درایه های صفر و یک، که به ترتیب نشان دهنده عدم تخصیص و یا تخصیص مشتری i به مرکز خدماتی j می‌باشد. ماتریس BZ، بیانگر بهترین تخصیص به‌دست آمده تا مرحله جاری الگوریتم می‌باشد.



شکل ۳: ساختار الگوریتم ژنتیک و جستجو ممنوع

Fig. 3: The general structure of the genetic algorithm and tabu search

ب) مقدار تابع هدف *(T_{Cost})*: معرف مقدار تابع هدف برای تخصیص جاری *(Z)* بوده و BT_{Cost} بیانگر مقدار تابع هدف برای *BZ* می باشد.

پ) ماتریس کنترل: درایه‌های این ماتریس، متناظر با درایه‌های ماتریس تخصیص می‌باشد. در ابتدا، تمام درایه‌های این ماتریس صفر بوده و در هر تکرار، به درایه‌های متناظر با حرکت‌های (تخصیص‌های) ممنوع، یک واحد اضافه می‌گردد. این بدین معنی است که در ازای هر درایه‌ای که در ماتریس تخصیص از یک به صفر تبدیل می‌شود، درایه‌های متناظر آن در ماتریس ممنوع که صفر می‌باشد، به یک تبدیل و یک واحد به درایه‌های بزرگ‌تر از صفر، اضافه می‌شود. هر درایه‌ای که مقدار آن از L بیشتر شود، با صفر جایگزین می‌گردد. بنابراین، هر درایه مثبت این ماتریس، نشان دهنده ممنوع بودن درایه تخصیص متناظر می‌باشد. طول لیست ممنوع، می‌تواند بین L_{min} و L_{max} متغیر در نظر گرفته شود. به این ترتیب که هنگام رسیدن به بهینه محلی، یک واحد به لیست ممنوع، اضافه می‌گردد و هرگاه این طول به L_{max} رسید، مقدار آن به L_{min} تبدیل گردد.

ت) گوناگونی: هنگام رسیدن به بهینه محلی، تخصیص درصد مشخصی از مشتری‌ها *(Div)*، به طور تصادفی تغییر می‌کند. پارامتر *mm*، زمان اعمال گوناگونی را در این روش مشخص می‌کند. به عبارتی، پارامتر *mm* بیانگر تعداد مجاز برای برگرداندن ماتریس ممنوع به حالت اولیه می‌باشد. هرگاه هر مشتری به نزدیک‌ترین مرکز خدماتی اختصاص یافت، به تعداد *mm* مرحله، بهترین تعویض یگانه‌ای که ممنوع نباشد، انجام می‌شود. علت استفاده از این پارامتر را می‌توان به این صورت عنوان نمود: اول این‌که بهینه محلی در نظر گرفته شده در این روش، ممکن است ناشی از محدودیت جستجو باشد، یعنی تعویض زوجی وجود داشته باشد که با انجام آن تعویض، تابع هدف در همان مرحله بهبود یابد. دوم این‌که، *mm* بزرگ‌تر از صفر، ممکن است موجب خروج از دام بهینه محلی و حرکت به سمت بهینه محلی دیگری در نزدیکی بهینه محلی شود. استفاده از گوناگونی، منجر به جستجوی فضای همسایگی دیگری می‌شود که لزوما در نزدیکی بهینه فعلی نمی‌باشد.

ث) شرط توقف: در این مطالعه، دو معیار توام برای توقف الگوریتم در نظر گرفته شده است و تکرار این الگوریتم تا موقعی ادامه می یابد که دو شرط زیر برآورده شده باشد:

- مجهولات ماتریس معادلات و نا معادلات محاسبه گردد، یعنی حل همزمان دستگاه معادلات و نامعادلات انجام پذیرد (همراه با رعایت قیود روابط (۲) و (۳) مطرح شده در تابع هدف).
- تعداد بهینه‌های محلی متوالی یا تعداد دفعات گوناگونی انجام شده که در بهترین مقدار تابع هدف بهبود ایجاد نکرده‌اند (که در روش مورد استفاده با *Ndiv* نشان داده می‌شود) اگر برابر با مقدار مشخص *Num* باشد، به عنوان شرط دوم توقف در نظر گرفت. مراحل انجام الگوریتم به صورت زیر می‌باشد:

○ مقادیر معلوم و پارامترهای اولیه (L_{max} ,L_{min}, *Num*, P_i, C_j, t_{ij}, *mm*) را وارد کنید و شمارنده‌های *Ndiv* و *K* را برابر صفر و همچنین مقادیر T_{Cost} و BT_{Cost} را برابر بی‌نهایت قرار داده و ماتریس کنترل، ماتریس *Z* و *BZ* را با درایه‌های صفر ایجاد کنید.

○ مقادیر اولیه مربوط به تخصیص و مقدار تابع هدف متناظر آن را با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی (*GIS*) محاسبه و مقادیر آن را به عنوان BT_{Cost} و *BZ* جایگذاری کنید.

○ تعیین مرکز ثقل هر یک از دسته‌های مربوط به تخصیص و تقسیم‌بندی منطقه با استفاده از تحلیل *Thesien*.

○ نقاط تقاضایی که به یک مرکز مشخصی تخصیص داده شده بودند ولی بعد از انجام تحلیل *Thesien* در محدوده فعالیت نواحی دیگر قرار گرفته‌اند، به عنوان لیست انتخابی برای تعیین نقاط همسایگی در نظر بگیرید.

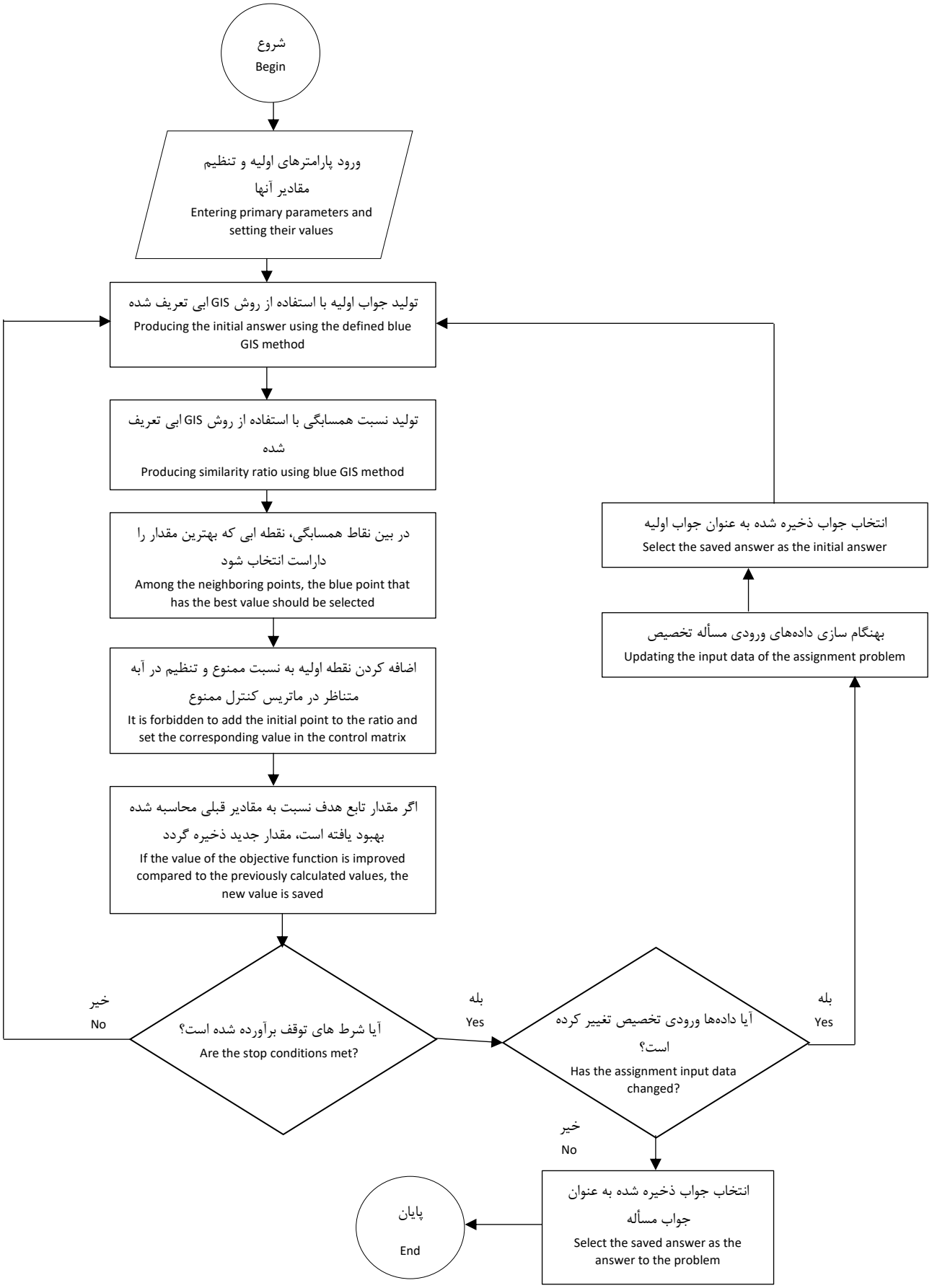
○ با توجه به بهترین همسایگی مقدار T_{Cost} محاسبه و در صورت کوچک‌تر بودن آن از BT_{Cost}، *Z* و T_{Cost} جدید را جایگزین *BZ* و BT_{cost} کنید، در غیر این‌صورت، به مرحله ۸ بروید.

○ یک واحد به طول لیست ممنوع، اضافه کنید.

○ اگر *L* از L_{max} بیشتر بود، L را مساوی L_{max}-*1* قرار دهید، به شرطی که از L_{min} کمتر نباشد و حرکت اول را از لیست ممنوع، خارج و یک واحد به شمارنده *K* اضافه کنید.

○ اگر *K* کوچک‌تر از *mm* بود، با توجه به بهترین حالت مشخص شده، به مرحله ۳ بروید و در غیر این‌صورت، گوناگونی را در درصد مشخصی از مشتری‌ها *(Div)* اعمال کنید و درایه‌های ماتریس ممنوع (کنترل) و *K* را مساوی صفر قرار دهید و به *NDiv*،یک واحد اضافه کنید.

○ مجهولات ماتریس معادلات و نامعادلات محاسبه گردد، یعنی حل همزمان دستگاه معادلات و نامعادلات انجام پذیرد (همراه با رعایت و ارضای قیود روابط (۲) و (۳) در تابع هدف). اگر تعداد *NDiv* برابر *Num* شد، الگوریتم متوقف گردد.



شکل ۴: ساختار روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی

Fig. 4: The structure of the proposed method is based on the spatially guided tabu search

نتایج و بحث

بررسی استحکام جواب‌ها و زمان حل دو روش پیشنهادی

در الگوریتم‌های ابتکاری، به منظور ارزیابی استحکام جواب‌ها لازم است که از تست تکرارپذیری استفاده کرد. بدین صورت که جواب‌های به‌دست آمده از تعداد مشخصی از اجراهای متوالی را که با پارامترهای یکسان صورت گرفته، از نظر همگرایی مقایسه می‌کنیم، در صورتی که جواب‌های به‌دست آمده، تفاوت چندانی با هم نداشته باشند، می‌توان گفت الگوریتم مورد نظر از استحکام لازم برخوردار است. برای بررسی استحکام روش‌های پیشنهادی و میانگین زمان حل هر یک از روش‌ها، آزمایش‌هایی با توجه به تعداد متفاوت مراکز درمانی و تعداد نقاط مصدومان طراحی شد، که برای مراکز درمانی تعداد ۳، ۵، ۱۰ و برای نقاط مصدومان تعداد ۲۵، ۱۰۰ و ۴۰۰، در نظر گرفته شد. هر یک از این حالات، ۱۰ بار توسط دو روش پیاده سازی شدند. سپس، انحراف معیار نرمال شده جواب‌های به‌دست آمده برای میزان تابع هدف، برای هر دو روش محاسبه شد، که در جدول ۱ نشان داده شده است.

معیار دوم که برای بررسی استحکام جواب‌ها بررسی شد، تفاوت تخصیص‌ها در تکرارهای مختلف است. نسبت تعداد مصدومانی که در هر ۱۰ تکرار آزمایش، مشابه هم تخصیص داده شده بودند به کل مصدومان، به عنوان معیار ارزیابی در نظر گرفته شد. جدول ۲، مقدار به‌دست آمده برای حالات مختلف برای دو روش را نشان می‌دهد.

پارامتر سوم مورد بررسی، زمان حل مسئله بود که در حین انجام آزمایش‌ها، اندازه‌گیری شد. در جدول ۳، میانگین زمان حل در هر یک از حالات پیاده‌سازی شده برای دو روش مورد بررسی، نشان داده شده است. با توجه به پارامترهای ارزیابی می‌توان گفت، روش *SGTS* دارای ثبات و استحکام بیشتری نسبت به الگوریتم ژنتیک می‌باشد. از نظر زمان حل، روش توسعه یافته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک در ابعاد کوچک‌تر تعداد مصدومان و مراکز درمانی، وضعیت بهتری دارد ولی با افزایش ابعاد مسئله روش *SGTS* شرایط بهتری پیدا می‌کند.

بهینه‌سازی تابع هدف با استفاده از الگوریتم ژنتیک تو در توی ژنتیک، با توجه به انتخاب و یا احداث مراکز درمانی جدید

برای حل مسئله، که همان بهینه‌سازی کل تابع هدف و انتخاب مکان ۲ مرکز درمانی از بین ۹ محل مستعد بود، یک الگوریتم ژنتیک تو در تو مطابق با پارامترهای شرح داده شده، طراحی و پیاده‌سازی شد. جمعیت اولیه، برابر ۵۰۰ و تعداد نسل برابر ۳۰۰ در نظر گرفته شد. شرط توقف برای الگوریتم داخلی، عدم تغییر در تابع هدف در تعداد ۲۰ نسل پشت سر هم و برای الگوریتم خارجی، عدم بهبود در ۱۰ نسل متوالی تعریف شد. بعد از ۱۰ دقیقه و ۵۵ ثانیه، در حالی که تعداد نسل الگوریتم خارجی ۶۴ بود، برنامه متوقف شد. نتیجه به‌دست آمده برای مقدار بهینه تابع هدف، در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۱: مقایسه انحراف معیار نتایج به‌دست آمده برای تابع هدف

Table1: Comparison of the standard deviation for the results of the goal function

تعداد نقاط قرارگیری مصدومان (The number of placement points)	تعداد مراکز درمانی (Number of medical centers)	انحراف معیار تابع هدف برای الگوریتم ژنتیک (Standard deviation of the goal function for genetic algorithm)	انحراف معیار تابع هدف برای روش SGTS (Standard deviation of the goal function for SGTS method)
25	3	0.075	0.005
100	5	0.142	0.022
400	10	0.215	0.024

جدول ۲: مقایسه دقت در نتایج بدست آمده برای تابع هدف

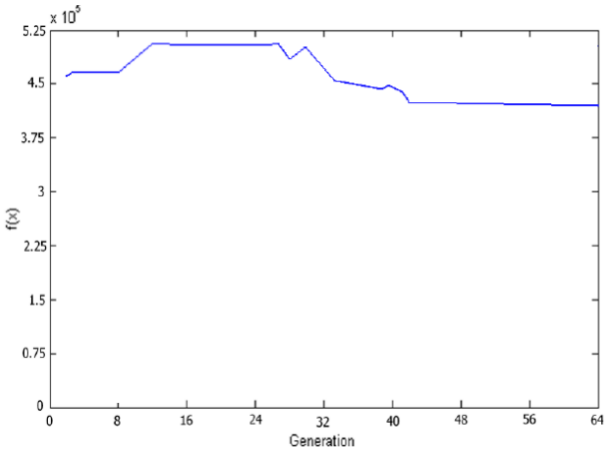
Table2: Comparison of the accuracy for the results of the goal function

تعداد نقاط قرارگیری مصدومان (The number of placement points)	تعداد مراکز درمانی (Number of medical centers)	دقت تخصیص تابع هدف برای الگوریتم ژنتیک (Allocation accuracy of the goal function for genetic algorithm)	دقت تخصیص تابع هدف برای روش SGTS (Allocation accuracy of the goal function for SGTS method)
25	3	89%	99%
100	5	80%	97%
400	10	69%	95%

جدول ۳: مقایسه زمان در نتایج بدست آمده برای تابع هدف

Table3: Comparison of the time for the results of the goal function

تعداد نقاط قرارگیری مصدومان (The number of placement points)	تعداد مراکز درمانی (Number of medical centers)	مدت زمان حل مساله برای الگوریتم ژنتیک (Duration of the problem solving for genetic algorithm)	مدت زمان حل مساله برای روش SGTS (Duration of the problem solving for SGTS method)
25	3	225 s	219 s
100	5	594 s	669 s
400	10	1671 s	1441 s



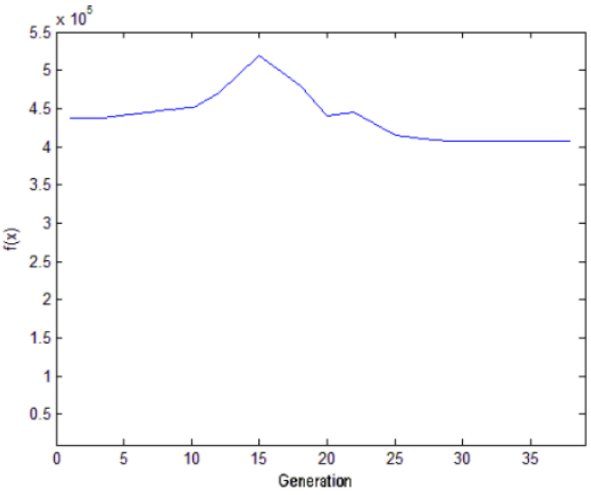
شکل ۵: مقادیر بهینه تابع هدف در نسل‌های مختلف با استفاده از الگوریتم ژنتیک تو در تو

Fig. 5: The optimal values of the goal function in different generations for the nested genetic algorithm

خروجی دیگر، شمار از مصدومان در هر نقطه است که باید توسط مراکز درمانی موجود و مراکز انتخاب شده، مورد پذیرش قرار گیرند. جدول ۴، تعداد مصدومان برخی از نقاط تقاضا را که توسط مراکز درمانی موجود و جدید مورد پذیرش قرار می‌گیرند، نشان می‌دهد.

بهینه‌سازی تابع هدف با استفاده از روش ترکیبی ژنتیک و SGTS با توجه به انتخاب و یا احداث مراکز درمانی جدید

برای حل مسئله که همان بهینه‌سازی کل تابع هدف و انتخاب مکان ۲ مرکز درمانی از بین ۹ محل مستعد بود، یک الگوریتم ترکیبی تو در توی ژنتیک و جستجوی ممنوع مطابق با پارامترهای توضیح داده شده، طراحی و پیاده‌سازی شد. شرط توقف برای الگوریتم داخلی *NDiv* برابر ۳۰ و برای الگوریتم خارجی، عدم بهبود در ۱۰ نسل متوالی تعریف شد. برنامه بعد از ۱۰ دقیقه و ۵۵ ثانیه در حالی‌که تعداد نسل الگوریتم خارجی ۶۴ بود، متوقف شد. نتیجه به‌دست آمده برای مقدار بهینه تابع هدف، در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: مقادیر بهینه تابع هدف در نسل های مختلف برای روش ترکیبی ژنتیک و SGTS

Fig. 5: The optimal values of the goal function in different generations for the combined method of genetic and SGTS

یکی از خروجی‌های این روش، انتخاب مکان ۲ مرکز درمانی از بین ۹ محل مستعد است، که نتیجه به‌دست آمده بر اساس الگوریتم ژنتیک است. خروجی مرحله دوم، شمار مصدومان هر نقطه است که توسط مراکز درمانی موجود و مراکز انتخاب شده، باید مورد پذیرش قرار بگیرند. جدول ۵، تعداد مصدومان بعضی از نقاط تقاضا را که توسط مراکز درمانی موجود و جدید مورد پذیرش قرار می‌گیرند، نشان می‌دهد.

جدول ۴: مقایسه دقت تابع هدف در تعداد مصدومان تخصیص یافته به مراکز درمانی مختلف در شماری از نقاط بر پایه الگوریتم ژنتیک تو در تو

Table4: Comparison of the accuracy of the goal function for the number of earthquake-related injured assigned to different medical centers in a number of points based on the nested genetic algorithm

شماره نقاط مصدومان (The number of injured points)	مرکز درمانی جدید ۲ (New medical center 2)	مرکز درمانی جدید ۱ (New medical center 1)	مرکز درمانی موجود ۳ (Existing medical center 3)	مرکز درمانی موجود ۲ (Existing medical center 2)	مرکز درمانی موجود ۱ (Existing medical center 1)
1	0	1	0	0	0
4	2	0	0	0	0
14	0	0	0	4	2
20	2	0	10	0	4
23	0	4	2	0	12

جدول ۵: تعداد مصدومان تخصیص یافته به مراکز درمانی مختلف در شماری از نقاط بر پایه روش ترکیبی ژنتیک و SGTS

Table5: The number of earthquake-related injured assigned to different medical centers in a number of places based on the combined method of genetic and SGTS

شماره نقاط مصدومان (The number of injured points)	مرکز درمانی جدید ۲ (New medical center 2)	مرکز درمانی جدید ۱ (New medical center 1)	مرکز درمانی موجود ۳ (Existing medical center 3)	مرکز درمانی موجود ۲ (Existing medical center 2)	مرکز درمانی موجود ۱ (Existing medical center 1)
1	0	1	0	0	0
4	2	0	0	0	0
14	0	0	0	6	0
20	0	0	14	0	2
23	0	4	0	0	14

نتیجه‌گیری

در مسائل مکان‌یابی و تخصیص، معمولا داده‌های مکانی نقش مهمی دارند، بنابراین، یکپارچه نمودن و ترکیب *GIS* با روش‌های حل این نوع مسائل، می‌تواند مفید باشد و در کمترین حالت، می‌توان از *GIS* در ذخیره‌سازی، بازیابی داده‌های ورودی و نمایش نتایج استفاده کرد. در بهینه‌سازی مسائل تخصیص و مکان‌یابی، نمی‌توان هر روشی را برای هر نوع مسئله‌ای به کار برد و لازم است نحوه به‌کارگیری پارامترهای موجود در این روش‌ها با توجه به ساختار آن مسئله، تعریف گردد و همچنین، تاثیر هر یک از پارامترها به تنهایی و درکنار هم بررسی گردد. در این مطالعه، برای تخصیص بهینه مصدومان در روش جستجوی ممنوع، افزایش طول لیست ممنوع باعث افزایش زمان اجرا می‌شود و تغییر طول آن، تاثیر مثبت در زمان حل مسئله دارد. همچنین، راجع به تاثیر درجه گوناگونی در زمان اجرا، می‌توان به این مورد اشاره کرد که مقدار زیاد آن، باعث افزایش زمان اجرا می‌شود و مقدار کم آن، احتمال بازگشت به بهینه محلی را زیاد می‌کند. بررسی آزمایش‌های انجام شده در مورد تعداد تکرار، بیانگر این است که با افزایش تعداد مراکز سرویس‌دهی، باید تعداد تکرار هم افزایش یابد، ولی افزایش تعداد مشتریان، تاثیر کمی بر افزایش تعداد تکرارها، به منظور حل مناسب مسئله دارد. در الگوریتم ژنتیک هم، می‌توان گفت که با افزایش پیچیدگی‌های مسئله، نیاز است تا اندازه جمعیت اولیه برای حل بهینه مسئله، افزایش یابد که این افزایش از سوی دیگر باعث افزایش زمان حل مسئله می‌گردد. با مقایسه مدت زمان حل بهینه مسئله تخصیص مصدومان زلزله به مراکز درمانی در دو روش پیاده سازی شده، می‌توان نتیجه گرفت که روش جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی در مدت زمان کمتری می‌تواند به همگرایی برسد. بنابراین، ایجاد لیست انتخابی با استفاده از ساختار ارائه شده بر اساس تحلیل‌های مکانی، می‌تواند در این زمینه موثر باشد. الگوریتم جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی، دارای دقت بالاتری نسبت به الگوریتم ژنتیک می‌باشد و همچنین، نتایج به‌دست آمده از روش جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی، دارای ثبات و استحکام بیشتری نسبت به روش ارائه شده مبتنی بر الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در حل مسائل مکان‌یابی و تخصیص منابع، اگر هدف بهینه‌سازی توامان هر دو مورد مکان‌یابی و تخصیص باشد، الگوریتم‌های ترکیبی برای حل بهینه توامان، توصیه می‌شود. با این‌که این مطالعه موفق به ارائه دو روش ترکیبی برای حل بهینه مسائل تخصیص ظرفیت‌دار شده است، اما مطالعه در زمینه ارائه روش‌های ترکیبی دیگر مبتنی بر روش‌های فرا ابتکاری و مقایسه نتایج آن با روش‌های ارائه شده در این مطالعه، پیشنهاد می‌گردد.

مشارکت نویسندگان

مقاله دارای یک نویسنده می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از کلیه عزیزانی که من را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنم.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسنده بیان نشده است.

منابع و مآخذ

[1] Fan WH, Wang WK, Liang CK, Yang ML, Hsu WL, Shiau YC. Smart earthquake disaster prevention system. *Sensors Mater*. 2021; 33(42): 1231–1244.

[2] Ibrion M, Mokhtari M, Nadim F. Earthquake disaster risk reduction in Iran: Lessons and 'Lessons Learned'' from three large earthquake disasters-tabas 1978, Rudbar 1990, and Bam 2003. *Int J Disaster Risk Sci*. 2015; 6(4): 415–27.

[3] Zhuang J, Peng J, Zhu X, Huang W. Scenario-based risk assessment of earthquake disaster using slope displacement, PGA, and population density in the Guyuan region, China. *ISPRS Int J Geo-Information*. 2019; 8(2): 85.

[4] Zhang S, Yang K, Cao Y. GIS-Based Rapid Disaster Loss Assessment for Earthquakes. *IEEE Access*. 2019; 7: 6129–6139.

[5] Tanaka H, Shiiba N, Huang MC. Tsunami Impact Assessment and Vulnerability Index Development using Computable General Equilibrium (CGE) Model and Geographic Information System (GIS) - A Study on Mie Prefecture, Japan. *J Integr Disaster Risk Manag*. 2021; 11(1): 46–63.

[6] Yavuz Kumlu KB, Tüdeş Ş. Determination of earthquake-risky areas in Yalova City Center (Marmara region, Turkey) using GIS-based multicriteria decision-making techniques (analytical hierarchy process and technique for order preference by similarity to ideal solution). *Nat Hazards*. 2019; 96(3): 999–1018.

[7] Al-Sabbagh TA. GIS location-allocation models in improving accessibility to primary schools in Mansura city-Egypt. *GeoJournal*. 2022; 87(2): 1009–1026.

[8] Ryan SJ, Getz WM. A spatial location-allocation GIS framework for managing water sources in a savanna nature reserve. *African J Wildl Res*. 2005; 35(2): 163–178.

[9] Robin TA, Khan MA, Kabir N, Rahaman ST, Karim A, Mannan II, et al. Using spatial analysis and GIS to improve planning and resource allocation in a rural district of Bangladesh. *BMJ Glob Heal*. 2019; 4: e000832.

[10] El Karim AA, Awawdeh MM. Integrating GIS accessibility and location-allocation models with multicriteria decision analysis for evaluating quality of life in Buraidah city, KSA. *Sustain*. 2020; 12(4): 1412.

[11] Cooper L. Location-Allocation Problems. *Oper Res*. 1963; 11(3): 331–343.

[12] Brimberg J, Hansen P, Mladenović N, Taillard ED. Improvements and comparison of heuristics for solving the uncapacitated multisource Weber problem. *Oper Res*. 2000; 48(3): 444–460.

[13] Hansen TE. The evolution of genetic architecture. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2006; 37: 123–57.

[14] Whittaker KA, Rynearson TA. Evidence for environmental and ecological selection in a microbe with no geographic limits to gene flow. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2017; 114(10): 2651–2656.

[15] Tani K, Yamamoto K. Search Methods for Evacuation Routes during Torrential Rain Disasters Using Genetic Algorithms and GIS. *J Geogr Inf Syst*. 2020; 12(03): 256–274.

[16] Keling N, Mohamad Yusoff I, Lateh H, Ujang U. Highly efficient computer oriented octree data structure and neighbours search in 3D GIS. *Lect Notes Geoinf Cartogr*. 2017; 0(9783319256894): 285–303.

[17] Murray AT, Church RL. Applying simulated annealing to location-planning models. *J Heuristics*. 1996; 2(1): 31–53.

[18] Sangaiah AK, Khanduzi R. Tabu search with simulated annealing for solving a location–protection–disruption in hub network. *Appl Soft Comput*. 2022; 114: 108056.

[19] Salhi S, Gamal MDH. A Genetic Algorithm Based Approach for the Uncapacitated Continuous Location-Allocation Problem. *Ann Oper Res*. 2003; 123(1–4): 203–222.

[20] Fiedrich F, Gehbauer F, Rickers U. Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. *Safety Science*. 2000; 35(1-3): 41–57.

[21] Gong Q, Batta R. Allocation and reallocation of ambulances to casualty clusters in a disaster relief operation. *IIE Trans*. 2007; 39(1): 27–39.

[22] Abdelkarim A. Integration of Location-Allocation and Accessibility Models in GIS to Improve Urban Planning for Health Services in Al-Madinah Al-Munawwarah, Saudi Arabia. *J Geogr Inf Syst*. 2019; 11(06): 633–62.

[23] Vafaeinejad A, Bolouri S, Alesheikh AA, Panahi M, Lee CW. The capacitated location-allocation problem using the vaomp (Vector assignment ordered median problem) unified approach in gis (geospatial information systam). *Appl Sci*. 2020; 10(23): 1–22.

[24] Holzkämper A, Seppelt R. A generic tool for optimising land-use patterns and landscape structures. *Environ Model Softw*. 2007; 22(12): 1801-1804.

[25] Kaveh M, Kaveh M, Mesgari MS, Paland RS. Multiple criteria decision-making for hospital location-allocation based on improved genetic algorithm. *Appl Geomatics*. 2020; 12: 291–306.

[26] Ciarleglio M, Barnes JW, Sarkar S. Consnet-a tabu search approach to the spatially coherent conservation area network design problem. *J Heuristics*. 2010; 16(4): 537–557.

[27] Illoldi-Rangel P, Ciarleglio M, Sheinvar L, Linaje M, Sánchez-Cordero V, Sarkar S. Opuntia in méxico: Identifying priority areas for conserving biodiversity in a multi-use landscape. *PLoS One*. 2012; 7(5).

[28] Nassif AB, Capretz LF, Ho D, Azzeh M. A treeboost model for software effort estimation based on use case points. 11th International Conference on Machine Learning and Applications: 2012 December 12-15: Boca Raton, FL, USA.

[29] Saeidian B, Mesgari MS, Pradhan B, Ghodousi M. Optimized location-allocation of earthquake relief centers using PSO and ACO, complemented by GIS, clustering, and TOPSIS. *ISPRS Int J Geo-Information*. 2018; 7(8): 292.

[30] Krichen S, Faiz S, Tlili T, Tej K. Tabu-based GIS for solving the vehicle routing problem. *Expert Syst Appl*. 2014; 41(14): 6483–6493.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

حسین آقامحمدی استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران است. وی تحصیلات مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری تخصصی خود را به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۵و ۱۳۹۲ در رشته مهندسی عمران-نقشه‌برداری در دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی تهران به پایان رساند. گرایش تخصصی وی در دوران تحصیلات تکمیلی، سامانه اطلاعات مکانی (*GIS*) بوده است و هم اینک نیز در همین زمینه در دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران به تدریس و پژوهش مشغول می‌باشد. حاصل کار تحقیقاتی ایشان، مقالات زیادی است که در نشریات معتبر فارسی و انگلیسی به چاپ رسیده است. موضوعات مورد علاقه ایشان در تحقیقات عبارتند از: مکانابی و تخصیص، تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی، بهینه‌سازی و مدل‌سازی مکانی.

Aghamohammadi, H. Assistant Professor at the Department of GIS and Remote Sensing, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University-Science and Research Branch, Tehran, Iran

aghamohammadi@srbiau.ac.ir

Citation (Vancouvre): Aghamohammadi H.[Comparison of Spatially Guided Tabu Search and Nested Genetic Algorithms for Solving the Capacitated Location-Allocation Problem in Emergency Situations]. *J. RS. GEOINF. RES. 2023; 1(1): 91-102*

https://doi.org/10.22061/jrsgr.2022.1980

COPYRIGHTS
© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)