J. RS. GEOINF. RES. 2(2): 219-232, Summer & Autumn 2024

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

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Development of a Decision Support System for Optimizing Land Use Allocation Using the Ant Colony Algorithm (Case Study: 7th Municipal District of Isfahan)

A. Sahebgharani

Department of Transportation Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran

Received: 18 June 2024
Reviewed: 10 August 2024
Revised: 05 September 2024
Accepted: 11 October 2024

KEYWORDS:
Ant Colony Optimization
Decision Support System
Land Use Optimization
Spatial Planning

* Corresponding author
a_sahebgharani@iut.ac.ir
(+9831) 33911410

ABSTRACT

Background and Objectives: Population growth in human settlements leads to an increase in land use demand. Consequently, optimal urban land use planning is critical for planners and decision-makers. Given that land use allocation involves multiple objectives and a large set of data and variables, solving this problem requires developing decision support systems (DSSs) and applying meta-heuristic algorithms.

In this paper, a DSS equipped with an optimization method (i.e., Ant Colony Optimization algorithm) is developed to solve the land use allocation problem. The study aims to design a graphical user interface (GUI) to facilitate the algorithm implementation process and apply it to a study area to assess how such a tool can help achieve the optimal land use layout. Additionally, the outputs of the ACO are compared with the results of two other meta-heuristics (i.e., the Genetic and the Simulated Annealing algorithms) to evaluate the performance of the designed DSS.

Methods: To fulfill the research objective, first, the land use optimization problem is formulated, which includes the decision variable and how it is discretized, three objective functions (i.e., compatibility, compactness, and suitability maximization), two area controlling constraints, and the way of combining the objective functions. Second, the ACO algorithm customized with the land use allocation problem is presented. Third, the study area, the 7th municipal district of Isfahan divided into 334 allocation cells, is introduced, and the requirements such as parameters and weights for calculating and combining the objective functions are described based on the case study characteristics, related studies, and expert opinions. Fourth, a code is developed, and a GUI is designed in MATLAB programming to carry out the computational process, solve the equations, and handle the spatial data. Finally, the ACO parameters are tuned, and the code is applied to the study area within the depicted DSS framework. Alongside the ACO implementation, two other meta-heuristics (i.e., the genetic and simulated annealing algorithms) are executed to constitute a ground for the performance analysis.

Findings: Outputs of the developed DSS illustrated the land use distribution within the 7th municipal district of Isfahan and the ACO's convergence process. It showed that the cultural and sports land types were in the central part of the study area, and a major amount of the service land types was placed close to the green spaces. In addition, service types were located in the central and northern parts of the study area providing access for the residents to such necessary amenities.

Conclusion: The results indicated that the ACO algorithm performed satisfactorily in the study area. In other words, the DSS, including this algorithm, demonstrated effective land management and planning performance. It also displayed benefits for users interested in applying different objectives and constraints. Besides, the ACO performed better in the study area than the other utilized methods. Although this article delivered a DSS along with optimization algorithms advantageous for resource management and spatial planning, incorporating land use levels (e.g., urban and neighborhood) and compatibility of the modeling context with more realistic conditions (e.g., cell area variation) are proposed for future research that are of limitations of this article.

NUMBER OF REFERENCES
34

NUMBER OF FIGURES
6

NUMBER OF TABLES
6

مقاله پژوهشی

توسعه‌ی یک سامانه‌ی پشتیبان تصمیم به منظور بهینه‌سازی تخصیص کاربری زمین با استفاده از الگوریتم مورچگان (مورد مطالعه: منطقه‌ی ۷ شهرداری اصفهان)

علیرضا صاحبقرانی

دانشکده‌ی مهندسی حمل‌ونقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶، اصفهان، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: رشد جمعیت در سکونتگاه‌های انسانی منجر به افزایش تقاضای زمین می‌شود. به این ترتیب، برنامه‌ریزی کاربری زمین شهری برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران امری مهم و اساسی به شمار می‌رود. با توجه به آن‌که تخصیص کاربری زمین اهداف متعدد و مجموعه بزرگی از داده‌ها و متغیرها را در بر می‌گیرد، حل چنین مسأله‌ای مستلزم و نیازمند توسعه سامانه‌های پشتیبان تصمیم و به‌کارگیری الگوریتم‌ها فرابتکاری می‌باشد. در این مقاله، یک سامانه پشتیبان تصمیم مجهز به یک روش بهینه‌سازی که الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان می‌باشد، به منظور حل مسئله تخصیص کاربری زمین توسعه می‌یابد. این مطالعه، به دنبال طراحی یک واسط گرافیکی کاربر برای تسهیل اجرای مراحل الگوریتم و استفاده از آن در یک مورد مطالعاتی، به منظور ارزیابی آن‌که چنین ابزاری چگونه به دست‌یابی به چیدمان بهینه کاربری زمین کمک می‌نماید، است. به‌علاوه، مقایسه خروجی‌های الگوریتم مورچگان با نتایج دو روش (ژنتیک و انجماد تدریجی) برای ارزیابی عملکرد سامانه پشتیبان تصمیم توسعه یافته نیز انجام می‌شود.

روش‌ها: به‌منظور دست‌یابی به هدف پژوهش، در گام اول، مسئله بهینه‌سازی کاربری زمین فرموله شده که شامل: تعریف متغیر تصمیم و نحوه گسسته‌سازی آن، سه تابع هدف (بیشینه‌سازی سازگاری، فشردگی و تناسب)، دو قید کنترل‌کننده مساحت و نحوه ترکیب توابع هدف می‌باشد. در گام دوم، الگوریتم مورچگان تطابق یافته با مسأله تخصیص کاربری زمین ارائه می‌شود. در گام سوم، محدوده مورد مطالعه، منطقه ۷ شهر اصفهان که از ۳۳۴ سلول تخصیص تشکیل شده است، معرفی می‌گردد و ملزوماتی از جمله پارامترها و اوزان لازم برای محاسبه و ترکیب توابع هدف تشریح شده که از منابعی هم‌چون: ویژگی‌های محدوده مورد مطالعه، مطالعات مرتبط و نظرات متخصصین حاصل می‌شود. در گام چهارم، کدهای مربوطه و یک واسط گرافیکی کاربر در محیط متلب به منظور اجرای فرآیند محاسبه، حل معادلات و مدیریت داده‌های فضایی، برنامه‌نویسی می‌شود. در گام پایانی، پارامترهای الگوریتم مورچگان تنظیم شده و برنامه‌ی نوشته شده در چارچوب سامانه پشتیبان تصمیم در محدوده مورد مطالعه اجرا می‌شود. علاوه بر پیاده‌سازی الگوریتم مورچگان، دو الگوریتم فرابتکاری دیگر (الگوریتم‌های ژنتیک و انجماد تدریجی) نیز برای فراهم نمودن زمینه تحلیل عملکرد سامانه نیز اجرا می‌شوند.

یافته‌ها: خروجی‌های سامانه پشتیبان تصمیم توسعه یافته، توزیع کاربری زمین در محدوده منطقه ۷ شهرداری اصفهان و فرایند همگرایی الگوریتم مورچگان می‌باشد. یافته‌ها، حاکی از آن است که کاربری‌های فرهنگی و ورزشی در بخش مرکزی محدوده مورد مطالعه قرار گرفته و بخش عمده‌ای از کاربری‌های خدماتی در مجاورت فضای سبز استقرار یافته است. به علاوه، کاربری خدماتی در بخش‌های شمالی و مرکزی محدوده مورد مطالعه شکل گرفته است و دسترسی افراد به خدمات اساسی را فراهم می‌آورد.

نتیجه‌گیری: نتایج، نشان می‌دهد که الگوریتم مورچگان عملکرد رضایت‌بخشی در محدوده مورد مطالعه داشته است. به بیان دیگر، سامانه پشتیبان تصمیم شاملِ الگوریتم مورچگان، کارکرد مؤثری در مدیریت و برنامه‌ریزی زمین را نشان می‌دهد. نتایج مؤید آن است که چارچوب ارائه شده، امکان توسعه و گسترش متناسب با شرایط کاربران در محیط‌های دیگر را دارا می‌باشد. به علاوه، نتایج حاکی از آن است که الگوریتم مورچگان در محدوده مورد مطالعه از عملکرد بالاتری نسبت به دو روش به‌کارگرفته شده دیگر برخوردار است. اگرچه این مقاله یک سامانه پشتیبان تصمیم

تاریخ دریافت: ۲۹ خرداد ۱۴۰۳
تاریخ داوری: ۲۰ مرداد ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۱۵ شهریور ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۲۰ مهر ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:
بهینه‌سازی کلونی مورچه
سامانه پشتیبان تصمیم
بهینه‌سازی کاربری زمین
برنامه‌ریزی فضایی

* نویسنده مسئول
a_sahebgharani@iut.ac.ir
۰۳۱-۳۳۹۱۱۴۱۰

مجهز به یک الگوریتم بهینه‌سازی که برای مدیریت منابع و برنامه‌ریزی فضایی مفید می‌باشد را معرفی می‌کند، در نظر گرفتن سطوح مختلف کاربری‌ها (مانند: شهری و محلی) و نیز بسترهای مدل‌سازی سازگارتر با شرایط واقعی (مانند: سلول‌ها با مساحت متغیر) از جمله محدودیت‌های این مطالعه بوده که پیگیری آن‌ها در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود.

مقدّمه

در حال حاضر، برنامه‌ریزی کاربری زمین به‌دلیل رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضای مصرف به عملی بسیار پیچیده تبدیل شده است. شهرها از یک طرف مملو از جمعیت بوده و از طرف دیگر اراضی با ارزشی که در معرض توسعه قرار نگرفته‌اند از دست رفته و تحت تأثیر گسترش پراکنده قرار می‌گیرند. با تداوم این شرایط و در کنار تخصیص غیر بهینه کاربری‌ها، شهرها در آینده با مشکلات اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی مواجه خواهند شد. با توجه به این وضعیت، برنامه‌ریزی کاربری زمین به‌طور بهینه، به یکی از جنبه‌های کلیدی و حیاتی در برنامه‌ریزی فضایی تبدیل شده است که در آن، تخصیص منابع به‌طور کارآمد برای ایجاد تعادل در اهداف مختلف سازماندهی مکانی دنبال می‌شود. در برنامه‌ریزی کاربری زمین، پس از برآورد تقاضا، نوبت به مرحله تخصیص زمین و تقسیم این منبع محدود و ارزشمند در میان کاربری‌های مختلف می‌رسد. در این مرحله، به‌دلیل محدودیت در امکانات مالی، انسانی و جز آن، لازم است شرط بهینگی استقرار کاربری‌ها در نظر گرفته شده تا از منابع موجود بیش‌ترین استفاده به‌عمل آمده و کم‌ترین تبعات منفی نظیر: جدایی گزینی اقتصادی و اجتماعی [۱]، فرسودگی محیط [۲]، شکل‌گیری الگوهای پراکنده و با تراکم پایین [۳] و اتلاف منابع در شهرها [۴]، ایجاد شود.

با توجه به آن‌که برنامه‌ریزی کاربری زمین، در پی تحقق اهداف متعددی بوه و این اهداف از منابعی نظیر: ایده‌آل‌ها، آموزه‌ها و تجربیات برنامه‌ریز، و ذینفعان درگیر در فرآیند برنامه‌ریزی کاربری زمین نشأت می‌گیرد، برنامه‌ریز فضایی با مجموعه وسیعی ار متغیرها، داده‌ها، روابط غیر خطی و ابعاد بالا که مسأله را به مسئله‌ای دشوار (NP-hard) تبدیل می‌نماید، درگیر است. به این ترتیب، و با عنایت به لزوم یافتن نقطه یا نقاطی که در آن، میان اهداف سازش شده تا از این طریق علاوه بر تخصیص مناسب منبع زمین، تحقق‌پذیری برنامه‌ها نیز افزوده شده، و توجه به آن‌که این موضوع امری پیچیده است؛ استفاده از فرآیندهای پیشرفته و مبتنی بر رایانه برای مواجهه با این مسأله اجتناب‌ناپذیر خواهد بود [۵-۷]. در این میان، توسعه و به‌کارگیری سامانه‌های پشتیبان تصمیم به‌عنوان ابزارهای کنترل پیچیدگی ضروری بوده تا مدیریت و فرآیند برنامه‌ریزی را تسهیل نماید. این سامانه‌ها، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، فنون مدل‌سازی و روش‌های حل مسائل را با یکدیگر تلفیق نموده تا تصمیم‌گیران و سیاست‌سازان و سایر ذی‌نفعان را در دست‌یابی به تصمیمات آگاهانه یاری نمایند. به همین جهت، ساخت و استفاده از سامانه‌های پشتیبان تصمیم توجه محققان در حوزه‌ها مختلف را به خود جلب نموده است. به‌عنوان نمونه، ریتن و همکاران به معرفی سامانه پشتیبان تصمیم برای مدیریت بهینه زمین‌ها و ذخایر کشاورزی پرداخته [۸] و ژو و چن نیز با استفاده از داده‌های سنجش از دور، شناسایی و کنترل جزایر گرمایی شهری را مورد نظر قرار داده‌اند [۹]. در ارتباط با حفظ محیط زیست نیز، سامانه‌های پشتیبان تصمیم به برنامه‌ریزان برای شناسایی محدوده‌های بهینه برای حفاظت با توجه به تنوع محیطی، خدمات بوم‌شناختی و فشار استفاده از زمین کمک می‌نمایند. در این خصوص، گلنتی کاربرد سامانه‌های پشتیبان تصمیم در حفاظت محیطی را مورد تأکید قرار داده [۱۰] و مویلانن و همکاران نیز به کاربرد ابزارهایی مانند: Marxan در این زمینه اشاره می‌نمایند [۱۱]. در حوزه برنامه‌ریزی شهری نیز توسعه و به‌کارگیری سامانه‌های پشتیبان تصمیم به‌طور گسترده‌ای به منظور مدیریت پراکنده‌رویی شهری، بهینه‌سازی زیرساخت‌ها و کاربری زمین، بهبود فضای سبز و توسعه‌ی شهری مورد توجه قرار داده شده است، به‌طوری که ودل با استفاده از سکوی UrbanSim به مدل‌سازی رشد شهری و تسهیل برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو پرداخته است [۱۲].

در کنار زمینه‌های موضوعی کاربرد سامانه‌های پشتیبان تصمیم که نشان‌دهنده اهمیت ساخت و معرفی این گروه از ابزارها برای برنامه‌ریزی فضایی می‌باشد، می‌توان گفت که در توسعه این سامانه‌ها از مدل‌های مختلفی جهت انجام محاسبات بهره گرفته شده است. به‌طور مثال، در برخی از پژوهش‌ها، روش‌های مبتنی بر ارزیابی چندمعیاره به‌عنوان هسته اصلی سامانه‌های پشتیبان تصمیم در نظر گرفته شده‌اند تا امکان مدیریت سناریوهای پیچیده تصمیم‌گیری که شامل معیارهای چندگانه و متقابل می‌شوند را فراهم سازند. این دسته از مدل‌ها در ارزیابی سناریوهای مختلف کاربری زمین بر اساس معیارهایی هم‌چون: بازگشت اقتصادی، اثرات محیطی و پذیرش اجتماعی کاربرد داشته و با ترکیب لایه‌های اطلاعاتی متنوع منجر به شکل‌گیری تصویری کلی از زمینه مداخله برنامه‌ریزی می‌شوند. مالچفسکی و رینر ضمن ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، کاربری زمین را برنامه‌ریزی نموده‌اند [۱۳]. اکامپو نیز با تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و منطق فازی به بررسی و مواجهه با عدم قطعیت‌های موجود در تصمیم‌گیری تمرکز کرده است [۱۴].

در دسته‌ای دیگر از مطالعات نیز با در نظر گرفتن مدل‌سازی عامل‌مبنا، شبیه‌سازی تعامل عوامل و اثر آن‌ها بر شکل‌گیری الگوهای کاربری زمین به منظور درک رفتار سامانه پیچیده زمین را مورد مطالعه قرار داده‌اند. فیلاتوا با مدل‌سازی عامل‌مبنا، تغییرات کاربری زمین را با در نظر گرفتن پویایی این پدیده تحلیل و تصویر کرده است [۱۵]. لیگمن-زیلینسکا و جنکوفسکی نیز با استفاده از این مفاهیم به شبیه‌سازی رشد شهری و تغییرات کاربری زمین پرداخته‌اند [۱۶].

در گروهی دیگر از مطالعات نیز از روش‌های بهینه‌سازی به‌عنوان واحد مرکزی سامانه‌های پشتیبان تصمیم و به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی کاربری زمین بهره‌گرفته شده است. به‌عنوان نمونه، به دلیل ابعاد بالا و سطح بالای پیچیدگی مسأله تخصیص کاربری زمین و لزوم استفاده از روش‌های فراابتکاری برای حل مسأله [۱۷]، سائو و همکاران، الگوریتم ابتکاری ژنتیک را برای جست‌وجوی راه حل بهینه کاربری زمین پایدار توسعه داده‌اند. توابع هدف مورد نظر در این تحقیق عبارتند از: مطلوبیت اکولوژیک و ژئولوژیک، دسترسی، هزینه تبدیل، سازگاری و فشردگی. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک پیشنهادی از کارآمدی لازم برای دست‌یابی به الگوی بهینه کاربری برخوردار بوده و می‌تواند به‌عنوان سامانه پشتیبان برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار گیرد [۵]. ژنگ و همکاران، به تخصیص کاربری زمین با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدل چند عامله، با در نظر گرفتن اهداف: حفظ منابع و سازگاری محیطی، پرداخته‌اند. مدل پیشنهادی در این پژوهش به‌طور عملی در شهر چانگشو به کار گرفته شده است. کارآیی بالاتر این الگوریتم نسبت به الگوریتم ژنتیک مرسوم در این پژوهش مورد تأیید قرار گرفته و استفاده از آن برای تولید گزینه‌های مختلف کاربری زمین در تصمیم‌گیری فضایی پیشنهاد شده است [۷]. شایگان و همکاران، قابلیت الگوریتم ژنتیک نخبه‌گرا را برای حل مسأله تخصیص کاربری زمین مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این تحقیق دو نوع عملگر تقاطع یکنواخت و تقاطع دو بعدی برای تولید سناریوهای مختلف کاربری زمین مورد استفاده قرار گرفته و قابلیت بالاتر عملگر تقاطع دو بعدی نسبت به تقاطع یکنواخت نشان داده شده است. توابع هدف این تحقیق، میزان فرسایش، میزان رواناب، تناسب اراضی و فشردگی را در بر می‌گیرد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که پس از بهینه‌سازی کاربری اراضی در بخشی از حوضه طالقان، علاوه بر کاهش فرسایش خاک، میزان سوددهی کلی نیز افزایش یافته است [۱۸]. خوش‌آموز و همکاران، از الگوریتم ژنتیک برای تخصیص کاربری‌ها در مقیاس آمایشی استفاده کرده و اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را مورد بهینه‌سازی قرار داده‌اند [۱۹]. سانته و همکاران، کاربرد الگوریتم انجماد تدریجی را برای تخصیص واحدهای زمین به مجموعه‌ای از کاربری‌های ممکن، با در نظر گرفتن اهداف: مناسبت کاربری‌ها، و فشردگی مورد آزمون قرار داده‌اند. مدل ارائه شده در این مطالعه در شهر تراچا در اسپانیا به‌کار گرفته شده است. نتایج این تحقیق، نشان می‌دهد که در خروجی حاصل، کاربری‌های پیشنهادی و نحوه هم‌جواری آن‌ها از فشردگی و مناسبت قابل قبولی برخوردار است [۲۰]. دا و براون، پس از مطرح نمودن چند هدفه بودن و پیچیدگی تخصیص و بهینه‌سازی کاربری زمین، و بیان ضعف مدل‌های دقیق برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه، الگوریتم انجماد تدریجی را برای حل مسأله تخصیص فضایی کاربری، به‌کار گرفته‌اند. در این مطالعه، ۱۲۰۰ الگوی تخصیص کاربری زمین مورد نظر قرار گرفته است. نتایج این پژوهش، نشان می‌دهد که الگوریتم انجماد تدریجی از کارآیی لازم در تخصیص فضایی کاربری زمین برخوردار است [۲۱]. آئرتز و همکاران، به بهینه‌سازی کاربری زمین با استفاده از روش فراابتکاری انجماد تدریجی، در ارتباط با برنامه‌ریزی اهداف برای بهینه‌سازی کاربری زمین پرداخته‌اند. در این مقاله اشاره شده است که این روش‌ها قابلیت حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه با ابعاد بالا را دارند. ضمن آن‌که توابع هدف مورد نظر این تحقیق، هزینه توسعه و فشردگی کاربری‌های تخصیص یافته می‌باشد [۲۲].

همان‌گونه که مرور برخی از منابع موجود در زمینه موضوعی مطالعه نشان می‌دهد، تاکنون الگوریتم‌های مختلفی برای بهینه‌سازی کاربری زمین توسعه یافته است. با این وجود، دست‌یابی به یک سامانه پشتیبان تصمیم مجهز به الگوریتمی کارآ با امکان تولید جواب مناسب، هنوز هم در کانون توجه محققین در عرصه‌های گوناگون قرار دارد. لازم به ذکر است که توجه به این امر در حوزه برنامه‌ریزی فضایی و استفاده از روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی در قالب سامانه‌های پشتیبان تصمیم و نیز کاربست آن در تهیه برنامه‌های توسعه و تسهیل فرآیند برنامه‌ریزی به‌منظور مدیریت زمین به شکلی کارآمد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌عبارت دیگر، با توجه به ماهیت پیچیده موضوع برنامه‌ریزی و تخصیص کاربری زمین (به‌دلیل تعدد کاربری‌ها، مقیاس‌ها و واحدهای تخصیص) و بهره‌گیری از رویکردهای طراحانه در محیط‌های برنامه‌ریزی کشور، ضرورت معرفی سامانه‌های پشتیبان تصمیم و برنامه‌ریزی که به‌عنوان ابزاری کمکی در اختیار تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان قرار گرفته تا علاوه بر خروجی‌های ناشی از فرآیندهای طراحانه و مبتنی بر تجربه، توزیع بهینه کاربری‌ها را با توجه به اهداف و قیود حاکم بر سامانه کاربری زمین تولید نماید، به نحوی که خروجی و تصمیم نهایی با در نظر گرفتن چیدمان‌های مختلف کاربری‌ها و تعامل رویکردهای مختلف (طراحانه و کمّی) حاصل گردد، دو چندان خواهد بود.

با توجه به آن‌که تاکنون روش الگوریتم مورچگان در حل مسائل مختلفی از جمله: مسأله فروشنده دوره گرد، خوشه بندی داده‌ها، بهینه‌سازی ترکیبی و مسأله مسیریابی شبکه و توزیع گونه‌های فعالیت [۲۳-۲۵] مورد استفاد قرار گرفته و نتایج رضایت‌بخشی را به همراه داشته است، در مطالعه حاضر، به توسعه یک سامانه پشتیبان تصمیم با استفاده از الگوریتم مورچگان به‌منظور بهینه‌سازی کاربری زمین پرداخته شده و علاوه بر آن مقایسه خروجی‌های سامانه معرفی شده با روش‌های دیگر (الگوریتم ژنتیک و انجماد تدریجی) صورت می‌گیرد. به‌علاوه، این پژوهش در تلاش است تا به پرسش: "کاربری‌ها در محدوده‌های شهری بایستی با چه آرایشی توزیع شوند تا اهدافی خاص بیشینه و یا کمینه-گردند؟" پاسخ دهد و در راستای آن به توسعه و به‌کارگیری یک سامانه پشتیبان تصمیم بپردازد. نوآوری‌های این تحقیق عبارتند از: (۱) توسعه و به‌کارگیری الگوریتم مورچگان در تخصیص کاربری‌ها در قالب یک سامانه پشتیبان تصمیم دارای یک واسط گرافیکی کاربر (GUI) و در یک محدوده واقعی و (۲) مقایسه نتایج الگوریتم مورچگان با سایر الگوریتم‌های فراابتکاری (ژنتیک و انجماد تدریجی) از نظر کارایی و کیفیت.

روش تحقیق

مروری بر مبانی بهینه‌سازی

مسأله بهینه‌سازی، یک بردار تصمیم است که قیود را برآورده ساخته و تابع هدف را بهینه می‌نماید. این توابع که تشریح ریاضی تعدادی عملکرد هستند معمولاً با یکدیگر در تقابل قرار دارند. بنابراین، اصطلاح "بهینه"، به معنای یافتن جواب‌هایی است که به هدف، پاسخی قابل قبول داده و برای تصمیم‌گیر نیز رضایت‌بخش باشد [۲۶]. در عمل و در مسائل بهینه‌سازی بزرگ، یافتن نقطه بهینه، عملی زمان‌بر بوده و به همین علت، در حل این مسائل بر یافتن مجموعه‌ای از پاسخ‌ها یا پاسخی که در آن بهینگی نسبی برآورده گردد، تکیه می‌شود. به‌طور کلی مسائل بهینه‌سازی چندهدفه به طور ریاضی، در قالب روابط زیر بیان می‌شوند:

$$minimize / maximize\ f_n(x); n = 1, 2, \ldots, N \qquad (۱)$$

$$g_i(x) \le 0; i = 1, \ldots, m; h_j(x) = 0; j = 1, \ldots, p \qquad (۲)$$

$$x = [x_1, x_2, \ldots, x_m]^T \qquad (۳)$$

رابطه (۱) بردار توابع هدف است که به‌صورت $f(x) = [f_1(x), \ldots, f_n(x)]$ قابل نمایش است. رابطه (۲) قیود و محدودیت‌های توابع هدف را بیان می‌کند که می‌تواند به‌طور تساوی یا نامساوی باشد. رابطه‌ی (۳) نیز متغیرهای تصمیم را معرفی می‌کند. به‌طور کلی به‌منظور حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه رویکردهای مختلفی وجود دارد. به‌عنوان مثال، در یک رویکرد به تبدیل مسأله چندهدفه به یک مسأله تک هدفه پرداخته و در رویکردی دیگر، به یافتن پاسخ‌های نامغلوب (جواب‌های پارتو)، پاسخ‌هایی که در هیچ هدفی از سایر پاسخ‌ها بدتر نبوده و حداقل در یکی از اهداف از سایر جواب‌ها بهتر باشد، مبادرت می‌شود. رویکرد اول در زمانی که ترجیحات میان اهداف معین باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

معرفی الگوریتم مورچگان

الگوریتم مورچگان برای اولین بار توسط دوریگو در سال ۱۹۹۲ با الهام از رفتار مورچگان توسعه یافته و تاکنون در علوم و زمینه‌های مختلف به‌کارگرفته شده است. در طبیعت، مورچگان در فرآیند جست‌وجوی منابع غذایی، مسیر رسیدن به منبع را با ترشح فرومون نشانه‌گذاری می‌کنند. با توجه به تغییر غلظت فرومون و تبخیر آن در محیط، مورچگان مسیر با بالاترین غلظت فرومون را دنبال نموده و به نشانه‌گذاری ادامه می‌دهند. با گذشت زمان و افزایش شمار مورچگان، مقدار فرومون افزایش یافته و هر چه عبور از مسیرهای مشابه بیشتر شود، محبوبیت مسیرها نیز افزایش می‌یابد. با تکرار این فرآیند مسیر یا مسیرهای بهینه که اغلب کوتاه‌ترین مسیر دست‌یابی به منبع غذایی می‌باشد، تعیین می‌گردد [۲۷]. جدول ۱، مراحل الگوریتم اجتماع مورچگان را نشان می‌دهد.

احتمال انتخاب مسیر و سرعت تبخیر فرومون، دو مورد از مهم‌ترین بخش‌های این الگوریتم هستند. یکی از روش‌های مورد توجه برای تعیین احتمال به‌صورت زیر است:

$$p_{ij} = \frac{\varphi_{ij}^{\alpha} d_{ij}^{\beta}}{\sum_{i,j=1}^{n} \varphi_{ij}^{\alpha} d_{ij}^{\beta}} \qquad (۴)$$

به‌صورتی که α و β ضرایب تاثیر بوده و مقادیر آن‌ها به‌طور معمول تقریباً برابر با ۲ در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین، φ_{ij} غلظت فرومون میان مسیر i و j و d_{ij} درجه مطلوبیت مسیر است. این فرمول بازتاب دهنده آن است که مورچه‌ها اغلب از مسیری پیروی می‌کنند که از غلظت فرومون بیش‌تری نسبت به سایر مسیرها برخوردار باشد. غلظت فرومون به‌دلیل تبخیر، در طول زمان تغییر می‌کند و منجر به جلوگیری از افتادنِ الگوریتم در بهینه محلی می‌شود. مقدار فرومون موجود در محیط از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود به طوری‌که $\gamma \in [0,1]$ است [۲۸].

جدول ۱: الگوریتم مورچگان [۲۸]

Table1: The ant colony algorithm [28]

شروع (Begin)

تعریف توابع هدف (Define the objective function)

تعریف نرخ تبخیر فرومون γ (Define the pheromone evaporation rate)

تازمانیکه معیار توقف برآورده شود (**While** stoppage criterion)

برای تمام گره‌های شبکه (**For** all nodes in the network)

تولید جواب جدید (Generate a new solution)

ارزیابی جواب جدید (Evaluate the new solution)

نشانه‌گذاری مکان‌ها یا مسیرهای بهتر با فرومون $\delta\varphi_{ij}$ (Mark better locations or paths with pheromone)

به روز رسانی فرومون $\varphi_{ij} \leftarrow (1-\gamma)\varphi_{ij} + \lambda\varphi_{ij}$ (Update pheromone)

اتمام حلقه برای (End for)

تعیین بهترین مکان یا مسیر موجود (Determine the best location or path)

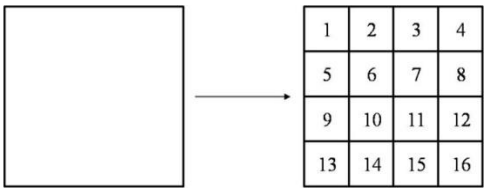
اتمام تازمانیکه (End while)

پایان (Finish)

$$\varphi_{ij}^{t+1} = (1-\gamma)\varphi_{ij}^{t} + \delta\varphi_{ij}^{t} \quad (۵)$$

مدل‌سازی مسأله تخصیص کاربری زمین

زمین متغیری پیوسته و عمل تخصیص نیازمند متغیر گسسته است. برای تبدیل متغیر پیوسته زمین به متغیر گسسته، محدوده مورد مطالعه به مجموعه‌ای از واحدهای مربع شکل (سلول) با اندازه (مساحت) یکسان تقسیم می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱: گسسته‌سازی متغیر پیوسته‌ی زمین
Fig. 1: Discretization of the land continuous variable

تعریف متغیر تصمیم

در محدوده‌ای با i سلول و m گونه کاربری زمین، متغیر تصمیم، تخصیص کاربری m ام به سلول i ام می‌باشد. بنابراین، متغیر تصمیم با نماد x_{im} قابل نمایش است که در آن x_{im} یک متغیر باینری (دودویی) بوده که می‌تواند مقادیر ۰ و یک را اختیار نماید. اگر کاربری m به سلول i اختصاص یابد مقدار متغیر تصمیم برابر ۱ و در غیر این صورت برابر با ۰ خواهد بود.

انتخاب و فرموله‌سازی توابع هدف

مرور پیشینه پژوهش نشان می‌دهد، که در تحقیقات مختلف، اهداف گوناگونی به‌منظور تخصیص کاربری زمین در نظر گرفته شده است. به‌طور مثال: بالینگ و همکاران، چهار هدف: بیشینه‌سازی توسعه اقتصادی و کمینه‌سازی تراکم ترافیک، مالیات و هزینه‌ها و تبدیل مکان‌های فرهنگی و تاریخی را به‌عنوان اهداف بهینه‌سازی کاربری زمین در نظر گرفته‌اند [۲۹]؛ وانگ و همکاران، در فرآیند بهینه‌سازی تخصیص کاربری زمین، بیشینه‌سازی ارزش اقتصادی، و کمینه‌سازی از دست دادن کیفیت خاک، آب و پوشش جنگلی را دنبال کرده‌اند [۳۰]؛ چاندرامولی و همکاران، بیشینه‌سازی سطح کاربری مسکونی، فضای سبز شهری، امکانات رفاهی و سازگاری کاربری‌ها را مد نظر قرار داده [۳۱] و چنگ و کو، در تخصیص اراضی به بیشینه‌سازی توسعه اقتصادی و فرصت‌های شغلی و کمینه‌سازی آلودگی زیست محیطی و میزان کربن دی‌اکسید آزاد شده پرداخته‌اند [۶].

با توجه به سه معیار: دسترسی به داده‌های مورد نیاز، تعداد تکرار در تحقیقات پیشین، و امکان فرموله‌سازی هر هدف، در این پژوهش سه هدف: بیشینه‌سازی تناسب اراضی، سازگاری و فشردگی کاربری‌ها به‌عنوان اهداف تخصیص کاربری زمین در نظر گرفته شده‌اند. لازم به ذکر است که انتخاب این سه هدف به کلیّت فرآیند حل لطمه‌ای وارد نکرده و امکان افزایش، کاهش یا تعویض اهداف با توجه به ویژگی محدوده‌های مورد مطالعه و خواست تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان امکان‌پذیر خواهد بود. این اهداف در جدول ۲ فرموله شده‌اند.

جدول ۲: فرموله‌سازی اهداف انتخابی بهینه‌سازی کاربری زمین
Table2: Formulation of the selected objectives for land use optimization

نماد (Symbol)	هدف (Objective)	فرموله‌سازی (Formulation)	تشریح فرمول (Description)
f_1	بیشینه‌سازی فشردگی کاربری‌ها (Land use compactness maximization)	$f_1 = max\sum_{i=1}^{n} C_i$	در این معادله، C_i مقدار فشردگیِ محاسبه شده برای سلول iام، و n تعداد کل سلول‌های موجود در محدوده مورد مطالعه است. به این ترتیب مقدار فشردگیِ هر سلول محاسبه شده، و سپس از مقادیر حاصل مجموع گرفته می‌شود. (C_i is the compactness value for cell i, and n is the number of cells in the study area. In doing so, this function sums up the calculated compactness value of all cells.)
f_2	بیشینه‌سازی سازگاری کاربری‌ها (Land use compatibility maximization)	$f_2 = max\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{r} comp_{i,j}$	در این رابطه، $comp_{i,j}$ مقدار سازگاری کاربری سلول iام و jام، و r، n، به ترتیب شعاع همسایگی و تعداد کل سلول‌های موجود در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. (In this equation, $comp_{i,j}$ is the compatibility value of cell i with cell j, and n and r are the neighborhood radius and the number of cells in the study area, respectively.)
f_3	بیشینه‌سازی تناسب اراضی (Land suitability maximization)	$f_3 = max\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{l} suit_{i,j}$	در این رابطه، $suit_{i,j}$ مقدار مطلوبیتِ کاربری سلول iام در معیار jام، است. (In this equation, $suit_{i,j}$ is the suitability value of the allocated type to cell i in the jth criterion.)

فرموله‌سازی قیود مسئله

قیود در نظر گرفته شده عبارتند از:

$$\min_required_m \le \beta \times \sum_{i=1}^{n}\sum_{m=1}^{M} x_{im} \le \max_required_m \quad (۶)$$

$$\min_required_m \le \beta \times \sum_{i=1}^{n}\sum_{m=1}^{M} x_{im} \le \max_required_m \quad (۷)$$

قید اول (رابطه ۶)، نشان‌دهنده قید مساحت هر کاربری بوده و به معنای آن است که مجموع مساحت کاربری mام در کل فرآیند تخصیص بایستی در بازه $\left[\min_required_m, \max_required_m\right]$ قرار بگیرد. در این قید β اندازه سلول تخصیص است. قید دوم (رابطه ۶) نیز تضمین می‌نماید که در هر سلول تخصیص فقط و فقط یک گونه کاربری اختصاص بیابد.

نحوه ترکیب اهداف

به‌منظور ترکیب اهداف با یکدیگر و تبدیل مسأله بهینه‌سازی چند هدفه به یک مسأله تک هدفه روش‌های متنوعی نظیر برنامه‌ریزی اهداف، مجموع وزنی و جز آن وجود دارد. در مقاله حاضر، از روش مجموع وزنی که در رابطه ۷ نشان داده شده است، استفاده می‌شود. در این رابطه f_o مقدار تابع هدف o و w_o وزن تابع o در میان سایر اهداف می‌باشد.

$$f_{total} = \sum_{o=1}^{O}\left(w_o \times f_o\right) \quad (۸)$$

توسعه الگوریتم مورچگان برای مسأله تخصیص کاربری زمین

وظیفه هر مورچه در فرآیند بهینه‌سازی، یافتن موقعیت‌های بهتر برای اشغال است. به این ترتیب، الگوریتم مورچگان در ابتدا با استقرار مورچگان در محدوده تخصیص آغاز می‌شود. سپس، مورچگان به‌صورت دو به دو با یکدیگر جابه‌جا می‌شوند. انتخاب مکان بر مبنای فرومون موجود در محیط و ارزش اکتشافی صورت می‌گیرد. پس از مرحله انتخاب و جابه‌جایی، مقدار تابع هدف محاسبه می‌شود. در صورتی که این مقدار بهبود یابد، تعویض مورد قبول قرار گرفته و در غیر این صورت، مکانی دیگر انتخاب می‌شود. این فرآیند تا زمان برآورده شدن شرط توقف ادامه می‌یابد.

به منظور انتخاب مورچگان برای جابه‌جایی، از یک رابطه احتمالی استفاده می‌شود. احتمال جابه‌جایی مورچه q با کاربری k واقع در سلول i در زمان t به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$p_{ik}^{q}(t) = \begin{cases} \dfrac{\left[\tau_{ik}(t)\right]^{\alpha}.\left[\eta_{ik}(t)\right]^{\beta}}{\sum_{x\in q}\left[\tau_x(t)\right]^{\alpha}.\left[\eta_x(t)\right]^{\beta}}, if\ \ swap \in q \\ 0,\ otherwise \end{cases} \quad (۹)$$

در این رابطه، $\tau_{ik}(t)$ شدت فرومون مورچه از نوع k، $\eta_{ik}(t)$ مقدار اکتشافی برای انتخاب سلول، و مقادیر α و β ثابت‌هایی هستند که اهمیت شدت فرومون در برابر مقدار اکتشافی را نشان می‌دهد. ارزش اکتشافی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\eta_{ik} = \frac{f_{ik}^{n}}{\sum_i f_{ik}^{n}} \quad (۱۰)$$

مقدار شدت فرومون در زمان ۰ و در طول اجرای الگوریتم به‌ترتیب از طریق روابط ۱۰ و ۱۱ تعیین می‌شود که در آن G مجموع سلول‌های موجود در محدوده مورد مطالعه، ρ نرخ تبخیر فرومون، $\Delta\tau_{ik}(t)$ مقدار فرومون باقی مانده در سلول i با توجه به تابع هدف U، و r عددی ثابت است.

$$\tau_{ik}(t=0) = \frac{1}{G} \quad (۱۱)$$

$$\tau_{ik}(t+1) = \tau_{ik}(t)(1-\rho) + \Delta\tau_{ik}(t);\ \Delta\tau_{ik}(t) = r.U \quad (۱۲)$$

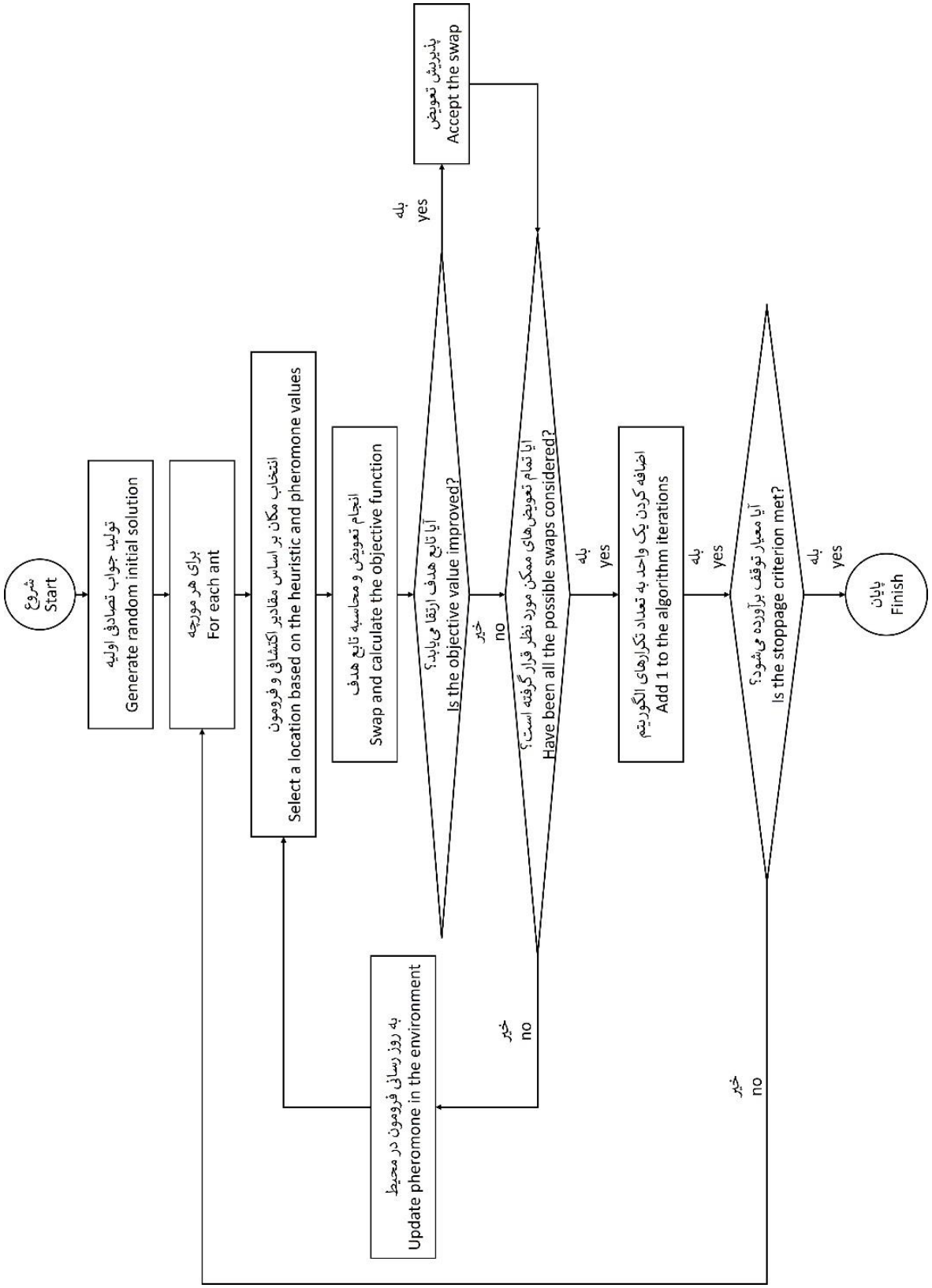
شکل ۲، فرآیند الگوریتم مورچگان برای حل مسأله کاربری زمین را نشان می‌دهد [۲۳].

معرفی محدوده مورد مطالعه

منطقه ۷ شهر اصفهان در اثر افزایش جمعیت و مهاجرت و تخصیص کاربری های بدون برنامه، طی سه دههٔ گذشته به شدت در معرض گسترش قرار گرفته است [۳۲]. این منطقه دارای پتانسیل‌های جذب جمعیت است، به گونه ای که حاصل آن گسترش بی‌رویه و توسعه فزاینده کالبدی می‌باشد. بخش وسیعی از این توسعه‌ها ، توسعه غیر رسمی، خودرو و بی‌ضابطه است [۳۳]. به‌علاوه، این منطقه از جمله مناطق ناپایدار شهر اصفهان از نظر عوامل اقتصادی،اجتماعی، کالبدی، زیربنایی و بهداشتی-رفاهی به‌شمار می‌رود [۳۴]. منطقه ۷ شهر اصفهان به‌دلیل تعداد منطقی سلول‌های دربرگیرنده و مشکلات موجود در آن در حوزه کاربری زمین به‌عنوان بستر پیاده‌سازی الگوریتم مورچگان انتخاب شده است (شکل ۳).

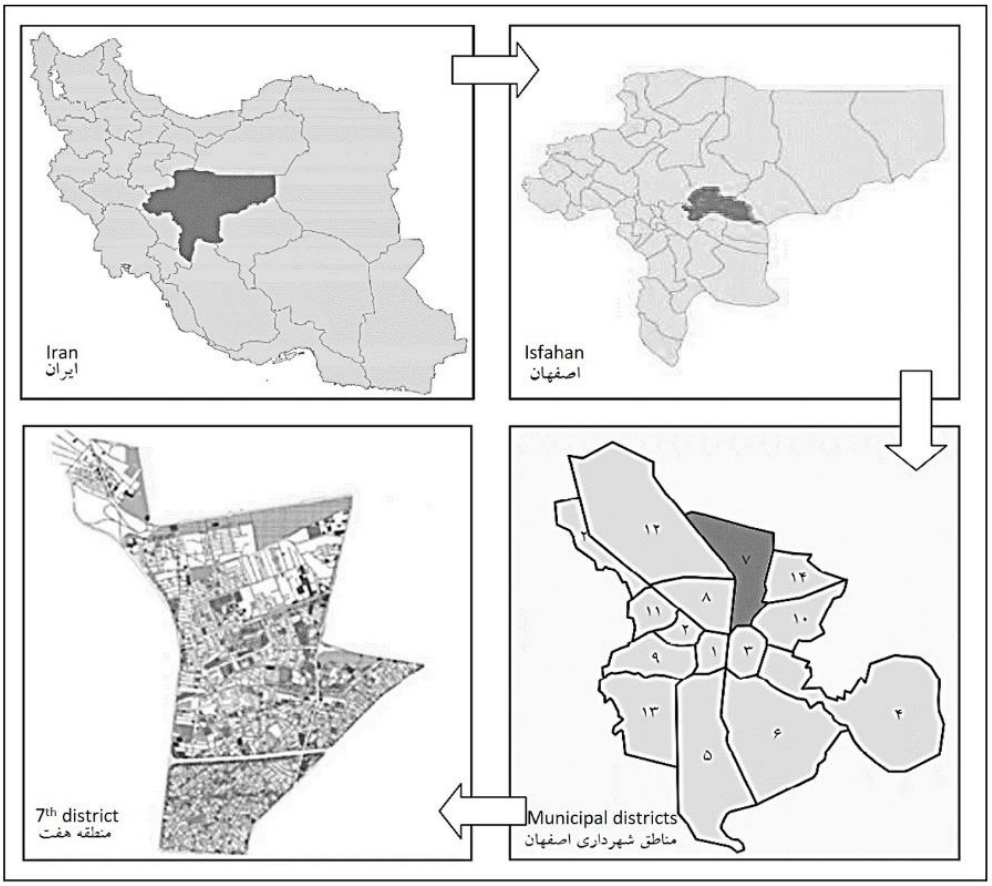
معرفی مفروضات و داده‌های مسئله

- *گونه‌های کاربری:* کاربری‌های در نظر گرفته شده به‌منظور عمل تخصیص عبارتند از شش گونه: مسکونی، بهداشتی، آموزشی، ورزشی، فضای سبز و فرهنگی.
- *تعداد سلول تخصیص پوشاننده محدوده مورد مطالعه:* تعداد سلول‌های تشکیل‌دهنده شبکه تخصیص برابر با ۳۳۴ در نظر گرفته شده است.
- تعداد سلول‌های مورد نیاز کاربری‌ها: تعداد سلول‌های مورد نیاز برای کاربری‌های مسکونی، آموزشی، فرهنگی، بهداشتی، ورزشی و فضای سبز به ترتیب برابر با ۱۹۵، ۱۵، ۳۴، ۲۰، ۱۷ و ۵۳ تعیین شده است.



شکل ۲: مراحل الگوریتم مورچگان تطبیق یافته با مسأله بهینه‌سازی کاربری زمین

Fig. 2: Flowchart of the adapted ant colony algorithm with the land use optimization problem



شکل ۳: محدوده مورد مطالعه [۳۳]

Fig. 3: Study area [33]

وزن اهداف برای محاسبه رابطه ۷: وزن ترکیبی اهداف مختلف برای اهداف اول، دوم و سوم به ترتیب برابر با ۰/۲۵، ۰/۲۵ و۰/۵ در نظر گرفته شده است.

- *سازگاری:* میزان سازگاری کاربری‌ها با استفاده از روش دلفی و مشارکت ۱۵ متخصص مطابق با جدول ۳ به‌دست آمده است.
- تناسب اراضی: عامل فیزیکی تاثیرگذار بر نحوه استقرار کاربری‌ها, عامل فاصله از شبکه معابر موجود در نظر گرفته شده است. میزان مطلوبیت حاصل برای هر گونه کاربری زمین با استفاده از روش دلفی و مشارکت ۱۵ نفر در این روش به‌شرح جدول ۴ محاسبه شده است.
- پارامترهای الگوریتم مورچگان: مقادیر پارامترهای الگوریتم مطابق با ستون سوم جدول ۵ تنظیم می‌باشد. لازم به ذکر است که این مقادیر بهترین پارامترهای حاصل از آزمایش‌های متعدد با حالات مختلف ترکیب مقادیر واقع در ستون دوم این جدول می‌باشد.

نتایج و بحث

پس از تعیین داده‌های ورودی و پارامترهای الگوریتم مورچگان، به‌منظور پیاده‌سازی آن در محدوده مورد مطالعه، یک واسط گرافیکی کاربر در نرم‌افزار MATLAB مطابق با شکل ۴ توسعه داده شده و به‌منظور اجرای آن از رایانه‌ای با CPU، CoreTM 2 Duo T9550 @ 2.66 GHz، و ۳ گیگابایت RAM استفاده به‌عمل آمده است.

خروجی حاصل از بهینه‌سازی تمامی اهداف به‌طور همزمان نشان می‌دهد که مقدار تابع هدف نهایی برابر با ۱۰۵۴.۸۷۵ بوده و این مقدار در ۱۳۵۲.۱۸۴۵ ثانیه حاصل شده است. شکل ۵ آرایش بهینه کاربری‌ها در الگوی بهینه را نشان می‌دهد.

در نهایت، مقایسه خروجی الگوریتم توسعه داده شده در این پژوهش با الگوریتم ژنتیک و الگوریتم انجماد تدریجی مقایسه شده است (جدول ۶). لازم به‌ذکر است که مقایسه بر روی بهترین نتایج حاصل از هر یک از الگوریتم‌ها صورت گرفته است.

همان‌گونه که شکل ۶ نشان می‌دهد، مقایسه خروجی‌ها بیانگر آن است که الگوریتم مورچگان خروجی بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک و انجماد تدریجی هم از نظر کیفیت جواب (مقدار تابع هدف) و هم از نظر کارآیی الگوریتم (زمان رسیدن به جواب) برای حل مسأله معرفی شده در محدوده مورد مطالعه تولید کرده است. به‌علاوه، کیفیت جواب الگوریتم ژنتیک از الگوریتم انجماد تدریجی بالاتر بوده اما زمان حل الگوریتم ژنتیک بالاتر از الگوریتم انجماد تدریجی است.

جدول ۳: مقدار سازگاری کاربری‌ها
Table 3: Land compatibility values

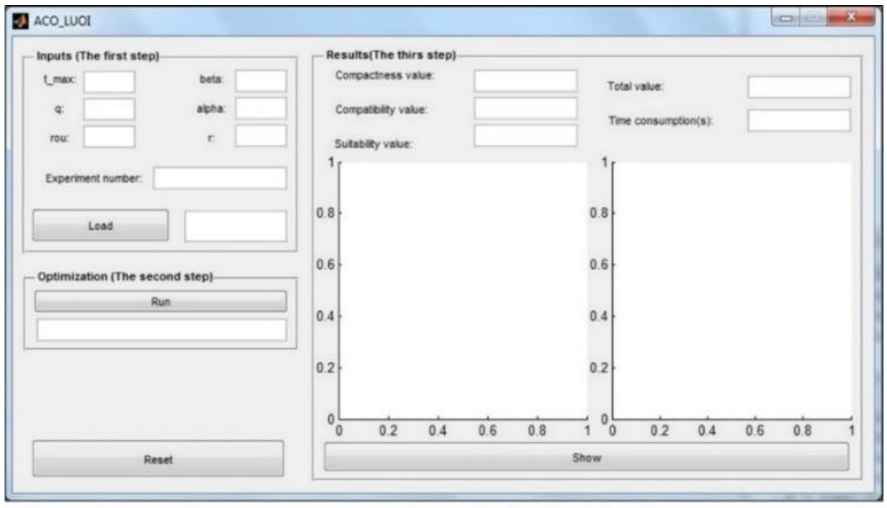
کاربری‌ها (Types)	مسکونی (Residential)	آموزشی (Educational)	فرهنگی (Cultural)	بهداشتی (Medical)	ورزشی (Sports)	فضای سبز (Green space)
مسکونی (Residential)	1.00	0.50	0.25	0.25	0.50	0.50
آموزشی (Educational)	0.50	1.00	0.50	0.75	0.75	1.00
فرهنگی (Cultural)	0.25	0.50	1.00	0.25	0.25	0.75
بهداشتی (Medical)	0.25	0.75	0.25	1.00	0.75	1.00
ورزشی (Sports)	0.50	0.75	0.25	0.75	1.00	1.00
فضای سبز (Green space)	0.75	1.00	0.75	1.00	1.00	1.00

جدول ۴: تناسب کاربری‌ها نسبت به معیار فاصله از شبکه معابر
Table 4: Land type suitability corresponding to the criterion of distance from the road network

	تناسب اراضی (Land suitability)	میزان مطلوبیت برای کاربری (Suitability for each land type)					
		مسکونی (Residential)	بهداشتی (Medical)	آموزشی (Educational)	ورزشی (Sports)	فضای سبز (Green space)	فرهنگی (Cultural)
فاصله (Distance)	0.00	0.25	0.75	0.75	0.75	0.50	0.50
	0.25	0.25	0.75	0.75	0.75	0.50	0.50
	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.50
	0.75	0.75	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25
	1	1	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25

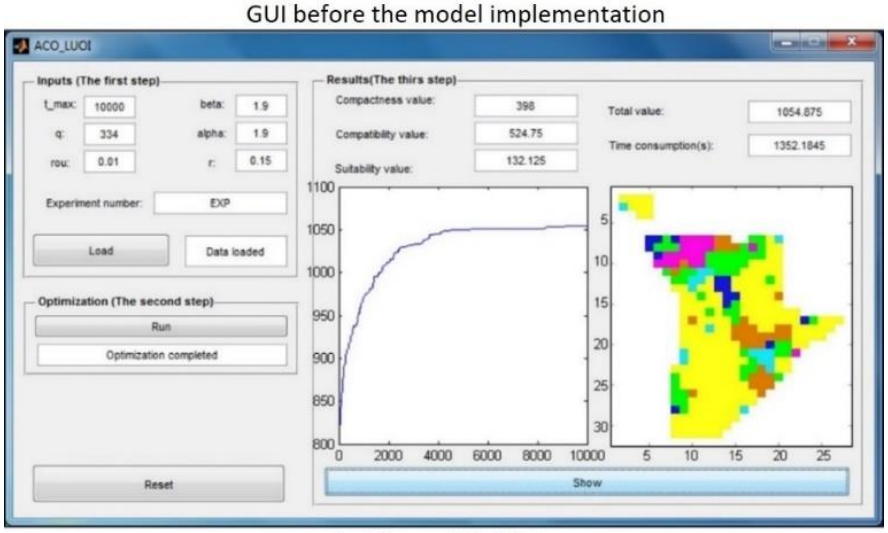
جدول ۵: پارامترهای الگوریتم مورچگان
Table 5: Parameters of the ant colony algorithm

پارامترها (Parameters)	مقادیر آزمایشی (Experimental values)	بهترین مقادیر (Best values)
t_max	1000	
q	334	
ρ	0.010, 0.015, 0.020	0.01
α	1.7, 1.8, 1.9, 2.0	1.90
β	1.7, 1.8, 1.9, 2.0	1.90
r	0.10, 0.15, 0.20	0.15



واسط گرافیکی پیش از اجرا

GUI before the model implementation

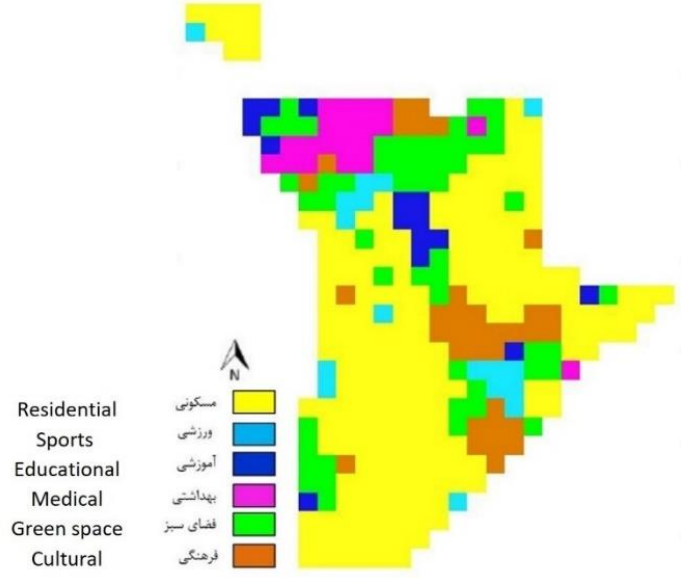


واسط گرافیکی پس از اجرا

GUI after the model implementation

شکل ۴: واسط گرافیکی کاربر طراحی شده برای پیاده‌سازی الگوریتم مورچگان

Fig. 4: Graphical user interface designed for the ant colony implementation



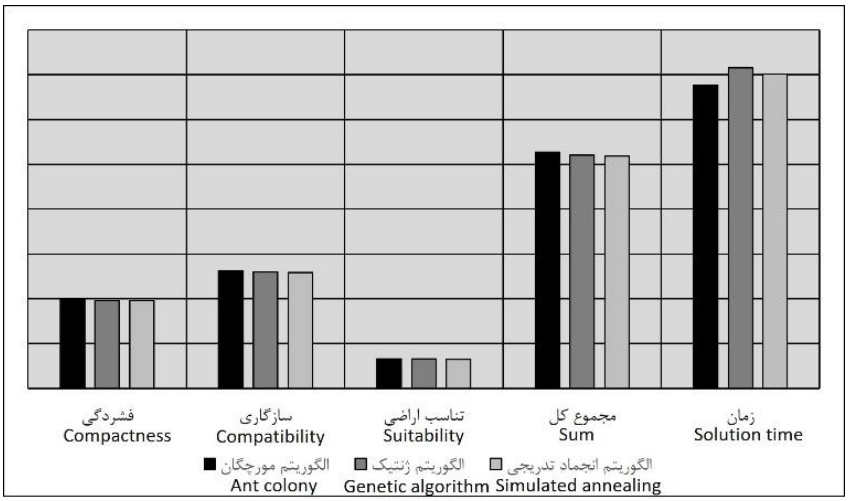
شکل ۵: آرایش بهینه کاربری‌ها در محدوده مورد مطالعه

Fig. 5: Optimal land use arrangement

جدول ۶: مقایسه خروجی الگوریتم مورچگان، انجماد تدریجی، ژنتیک و وضع موجود

Table 6: Comparison of the outputs of the ant colony, simulated annealing, and genetic algorithms with the existing land use arrangement

الگوریتم (Algorithm)	هدف اول (f1)	هدف دوم (f2)	هدف سوم (f3)	مجموع (sum)	زمان حل (ثانیه) (Solution time (s))
مورچگان (Ant colony)	398	524.75	132.135	1054.875	1352.1845
انجماد تدریجی (Simulated annealing)	391	517.25	129.100	1037.350	1402.4157
ژنتیک (Genetic)	391	519.50	131.210	1041.710	1431.3458



شکل ۶: مقایسه نتایج الگوریتم‌ها

Fig. 6: Comparing the algorithms' outputs

نتیجه‌گیری

در راستای پرسش پیش روی این پژوهش، "کاربری‌ها در بافت‌های شهری بایستی با چه آرایشی توزیع شوند تا اهدافی خاص (مانند: فشردگی، سازگاری و جز آن) بیشینه و یا کمینه‌گردند؟" در این مقاله، یک سامانه پشتیبان تصمیم با استفاده از یک الگوریتم فراابتکاری برای تخصیص کاربری‌ها توسعه یافته و به‌کارگیری شده است. در این مطالعه، سه هدف و دو قید جهت تخصیص شش گونه کاربری به منطقه ۷ شهر اصفهان در نظر گرفته شده و الگوریتم، در قالب یک واسط گرافیکی کاربر پیاده‌سازی شده است. در نهایت، خروجی‌های حاصل از الگوریتم مورچگان با الگوریتم ژنتیک و انجماد تدریجی مورد مقایسه قرار گرفته و اهم نتایج تحقیق به شرح زیر است:

- کارآیی و کیفیت سامانه پشتیبان تصمیم مجهز به الگوریتم مورچگان در حل مسأله معرفی شده در محدوده مورد مطالعه از الگوریتم ژنتیک و انجماد تدریجی بالاتر است.
- خروجی سامانه پشتیبان تصمیم نشان می‌دهد که در وضعیت بهینه و با توجه به اهداف در نظر گرفته شده برای بهینه‌سازی، بخش اعظمی از کاربری‌های خدماتی در کنار فضای سبز استقرار یافته‌اند. هم‌چنین، کاربری‌های خدماتی در شمال و مرکز محدوده مستقر شده که دسترسی ساکنین موجود در بافت درونی به خدمات مورد نیاز را امکان‌پذیر می‌سازد.
- خروجی سامانه پشتیبان تصمیم نشان می‌دهد که با توجه به سه هدف: فشردگی، سازگاری و تناسب اراضی، کاربری‌های فرهنگی و ورزشی عمدتاً در قسمت مرکزی محدوده مورد مطالعه قرار گرفته است که در کنار سایر کاربری‌ها، خدمات مورد نیاز در مرکز بافت را تأمین می‌نماید.

از جمله پیشنهادات برای انجام پژوهش‌های آتی نیز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استفاده از توابع هدف با امکان بازنمایی مقیاس مختلف کاربری‌ها (محلی، منطقه‌ای و شهری) در کنار یکدیگر.
- تطابق مدل با داده‌های برداری در سامانه اطلاعات جغرافیایی.
- تلفیق مدل با نظریه گراف و یکپارچه‌سازی آن با شبکه معابر و عامل دسترسی.
- تعریف توابع هدف به‌منظور بازنمایی تأثیرات متقابل اهداف بر یکدیگر.
- تعریف قیود مساحت به‌صورت متغیر در مقیاس سلول و قطعه.

تقدیر و تشکر

نویسنده از دقت نظر و سرعت عمل اعضای محترم هیأت تحریریه، داوران و مسئولین اجرایی نشریه‌ی پژوهش‌های سنجش از دور و اطلاعات مکانی تشکر و قدردانی می‌نماید.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مآخذ

[1] Peng J, Wang Y, Wu J, Zhang Y, Li W. Ecological effects associated with land-use change in China's southwest agricultural landscape. Int J Sustain Dev World Ecol. 2006;13(4):315-25. doi:10.1080/13504500609469681.

[2] Randolph J. Environmental land use planning and management. Washington, DC: Island Press; 2004.

[3] Verburg PH, Veldkamp A, Fresco LO. Simulation of changes in the spatial pattern of land use in China. Appl Geogr. 1999;19(3):211-33. doi:10.1016/S0143-6228(99)00003-X.

[4] Ligmann-Zielinska A, Church RL, Jankowski P. Spatial optimization as a generative technique for sustainable multiobjective land-use allocation. Int J Geogr Inf Sci. 2008;22(6):601-22. doi:10.1080/13658810701587495.

[5] Cao K, Batty M, Huang B, Liu Y, Yu L, Chen J. Spatial multi-objective land use optimization: extensions to the non-dominated sorting genetic algorithm-II. Int J Geogr Inf Sci. 2011;25(12):1949-69. doi:10.1080/13658816.2011.569014.

[6]Chang Y-C, Ko T-T. An interactive dynamic multi-objective programming model to support better land use planning. Land Use Policy. 2014;36:13-22. doi:10.1016/j.landusepol.2013.07.001.

[7] Zhang H, Zeng Y, Bian L. Simulating multi-objective spatial optimization allocation of land use based on the integration of multi-agent system and genetic algorithm. Int J Environ Res. 2010;4(4):765-76. doi: 10.22059/ijer.2010.263.

[8] Ritten JP, Bastian CT, Gray ST, Hoag D, Paisley SI, Frasier WM. Optimal rangeland stocking decisions under stochastic and climate-impacted weather. Am J Agric Econ. 2010;92(4):1242-55. doi:10.1093/ajae/aaq055.

[9] Xu H-Q, Chen B-Q. Remote sensing of the urban heat island and its changes in Xiamen City of SE China. J Environ Sci (China). 2004;16(2):276-81.

[10] Geneletti D. Incorporating biodiversity assets in spatial planning: methodological proposal and development of a planning support system. Landscape Urban Plan. 2008;84(3-4):252-65. doi:10.1016/j.landurbplan.2007.08.003.

[11] Moilanen A, Wilson KA, Possingham HP. Spatial conservation prioritization: quantitative methods and computational tools. Oxford: Oxford University Press; 2009. doi: 10.1093/oso/9780199547760.001.0001.

[12] Waddell P. UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning. J Am Plan Assoc. 2002;68(3):297-314. doi:10.1080/01944360208976274.

[13] Malczewski J, Rinner C. Multicriteria decision analysis in geographic information science. Berlin: Springer; 2015. doi: 10.1007/978-3-540-74757-4.

[14] Ocampo L. Development and usage of multi-criteria decision making/analysis methodologies with fuzzy sets for guiding strategic development decisions. England: University of Portsmouth; 2023.

[15] Filatova T, Parker DC, van der Veen A. Agent-based urban land markets: agent's pricing behaviour, land prices and urban land use change. J Artif Soc Soc Simul. 2009;12(1):3. doi:10.18564/jasss.1370.

[16] Ligmann-Zielinska A, Jankowski P. Spatially-explicit integrated uncertainty and sensitivity analysis of criteria weights in multicriteria land suitability evaluation. Environ Model Softw. 2014;57:235-47. doi:10.1016/j.envsoft.2014.03.007.

[17] Ahuja RK, Orlin JB, Tiwari A. A greedy genetic algorithm for the quadratic assignment problem. Comput Oper Res. 2000;27(10):917-34. doi:10.1016/S0305-0548(99)00141-2.

[18] Shaygan M, Ali Mohammadi A, Mansourian A. Multi-objective land use allocation optimization through NSGA-II algorithm. Iran J Remote Sens GIS. 2012;4(2).

[19] Khosh Amooz EA, Arashpour M, Golkaran A, Ahmadi A. Genetic algorithms and planning problems. Amayeshe Mohit. 2010;3(11):85-97.

[20] Santé-Riveira I, Crecente R, Miranda D. Algorithm based on simulated annealing for land-use allocation. Comput Geosci. 2008;34(3):259-68. doi:10.1016/j.cageo.2007.03.014.

[21] Duh JD, Brown DG. Knowledge-informed Pareto simulated annealing for multi-objective spatial allocation. Comput Environ Urban Syst. 2007;31(3):253-81. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2006.09.002.

[22] Aerts JC, Heuvelink GB. Using simulated annealing for resource allocation. Int J Geogr Inf Sci. 2002;16(6):571-87. doi:10.1080/13658810210138742.

[23] Liu X, Li X, Liu L, He J, Ai B. A multi-type ant colony optimization (MACO) method for optimal land use allocation in large areas. Int J Geogr Inf Sci. 2012;26(7):1325-43. doi:10.1080/13658816.2011.633923.

[24] Lumer ED, Faieta B. Diversity and adaptation in populations of clustering ants. In: Meyer JA, Roitblat HL, Wilson SW, editors. From animals to animats 3: Proceedings of the Third International Conference on Simulation of Adaptive Behavior. Cambridge, MA: MIT Press; 1994. doi: 10.7551/mitpress/3117.003.0071.

[25] Sim KM, Sun WH. Multiple ant-colony optimization for network routing. In: First International Symposium on Cyber Worlds, 2002. Proceedings; 2002. IEEE. doi:10.1109/CW.2002.1180922.

[26] Coello CC, Lamont GB, Van Veldhuizen DA. Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems. Berlin: Springer; 2007. doi: 10.1007/978-0-387-36797-2.

[27] Merrikh Bayat F. Nature-inspired optimization algorithms. Nas; 2012.

[34] Nastaran M, Ghalehnoee M, Sahebgharani A. Ranking sustainability of urban districts through factor and cluster analyses, case study: Municipal Districts of Isfahan. Arman Shahr Archit Urban Dev. 2014;12(2):177-89.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

علیرضا صاحبقرانی در حال حاضر، عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی حمل‌ونقل دانشگاه صنعتی اصفهان است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان، مدل‌سازی یکپارچه حمل‌ونقل و کاربری زمین، بهینه‌سازی چند سطحی حمل‌ونقل و فعالیت، تحلیل و مدل‌سازی دسترسی، مدل‌سازی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل همگانی و توسعه‌ی سیستم‌های پشتیبان تصمیم فضایی در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و بهینه‌سازی کاربری زمین می‌باشد.

Sahebgharani, A. Assistant Professor at the Department of Transportation Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran

a_sahebgharani@iut.ac.ir

[28] Jalali Naini G, Jafari Eskandari M, Nozari H. Engineering optimization with emphasis on metaheuristic methods. The Dibagaran Artistic and Cultural Institute; 2012.

[29] Balling RJ, Taber JD, Brown M. Multiobjective urban planning using genetic algorithm. J Urban Plan Dev. 1999;125(2):86-99. doi:10.1061/(ASCE)0733-9488(1999)125:2(86).

[30] Wang X, Yu S, Huang G. Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level. Landscape Urban Plan. 2004;66(2):61-74. doi:10.1016/S0169-2046(03)00098-9.

[31] Chandramouli M, Huang B, Xue L. Spatial change optimization: integrating GA with visualization for 3D scenario generation. Photogramm Eng Remote Sens. 2009;75(8):1015-22. doi:10.14358/PERS.75.8.1015.

[32] Shahrokhaneh S. Review of the Isfahan's 7th and 8th Detailed Plan. 2007.

[33] Mohammadi M, Malekipour E, Sahebgharani A. Modeling urban expansion in peripheral lands through cellular automata (CA) and analytic hierarchical process, case study of Isfahan's 7th Municipal District. J Urban Reg Stud Res. 2013;5(18):175-92.

Citation (Vancouver): Sahebgharani A. [Development of a Decision Support System for Optimizing Land Use Allocation Using the Ant Colony Algorithm (Case Study: 7th Municipal District of Isfahan)]. *J. RS. GEOINF. RES. 2024; 2(2): 219-232*

https://doi.org/10.22061/jrsgr.2024.11006.1070

COPYRIGHTS

© 2024 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/)