



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Evaluation of Metaheuristic Algorithms in Selecting the Building Optimal Cover Based on the Effect of Urban Heat Islands

A. Ghandian¹, N. Mostofi^{*1}, A. Majidzadeh², H. Motieyan³¹ Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University- South Tehran Branch, Tehran, Iran² Department of Geodesy and Surveying Engineering, Faculty of Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran³ Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

ABSTRACT

Received: 28 February 2024

Reviewed: 30 April 2024

Revised: 8 May 2024

Accepted: 24 May 2024

KEYWORDS:

Genetic Optimization Algorithm

Landsat 8 Satellite Images

Particle Swarm Optimization
Algorithm

Remote Sensing

Urban heat Islands

* Corresponding author

✉ n_mostofi@azad.ac.ir

☎ (+9821) 26744520

Background and Objectives: Nowadays, the development of urbanization and the increase of urban population have caused the air to heat up more than in the past and create urban heat islands. Urban heat islands are a phenomenon caused by the urbanization effects, due to which the temperature in the urban environment rises higher than in the suburbs. This phenomenon can cause irreparable damage due to the increasing atmospheric and environmental temperature, such as biological pollution, greenhouse gas emissions, diseases caused by heat, and impact on water quality brought to communities and the environment. This research proposes an effective and efficient approach with the help of remote sensing and optimization algorithms based on replacing the roof covering of an area with less heat-absorbing coverings to reduce the temperature and try to eliminate the heat island phenomenon. In this research, we are trying to reduce the urban heat island effect based on algorithms and statistical parameters affecting the ambient temperature, which has had few studies in past research. Also, using the intelligent optimization method in this field can cause innovation and create better and more accurate results. The new way that this study examines is to change the roof covering of an area with other functional coverings that reduce the air temperature in that area. The coverings that we considered to replace the covering of the roofs to moderate and cool the temperature of the studied area are two types of coverings: soil and vegetation.

Methods: The proposed approach of this research is to use two optimization algorithms of genetic and particle swarm, and the parameters that form the objective function of these two algorithms are the temperature standard deviation and the average financial cost of the coverage changing of each building parcel. The research dataset is Landsat 8 satellite images of Andisheh neighborhood in Tehran. This research uses satellite images for purposes such as preparing color images, mapping the vegetation and non-vegetation indices of the study area, and calculating the earth's surface temperature and urban heat islands.

Findings: The results indicate that both optimization algorithms have provided good performance and improved the problem parameters, but the genetic optimization algorithm obtained a better result in less time and iteration. In comparing the two algorithms, the genetic optimization algorithm reduced the standard deviation by 19%, bringing its value to 0.42. On the other hand, the particle swarm optimization algorithm for a longer time, reduced the standard deviation by 14%, bringing its value to 0.44.

Conclusion: The genetic algorithm in optimizing the building roofs obtained excellent results with a total cost of 4678 and a standard deviation of 0.4177. It converged quickly with the 12100 number of objective function evaluations and significantly reduced both the cost function parameters (The genetic algorithm has reached the best possible answer). The particle swarm optimization algorithm also failed to achieve an answer as good as the genetic algorithm with a total cost of 4965, a standard deviation of 0.4430, and a 20100 number of objective function evaluations. About the comparison between these two algorithms, the genetic, with less than 3000 objective function evaluations, was able to experience the most optimal solution that particle swarm algorithm reached with the 20100 number of function evaluations. The use of metaheuristic algorithms in practical problem optimizations, which

we frequently encounter in various industries today, can be very efficient. The results of these algorithms are very suitable despite the differences in the outputs, and it will be impossible to reach such answers to different problems without using such algorithms. In future work, based on what we obtained in this research, we suggest using other optimization algorithms or even powerful modeling algorithms such as artificial neural networks. Also, it is possible to study the change in building roof covers and the use of newer coverings in moderating the temperature by adopting new parameters from the cost function in optimization and deep learning algorithms.



NUMBER OF REFERENCES
31



NUMBER OF FIGURES
17



NUMBER OF TABLES
12

مقاله پژوهشی

ارزیابی الگوریتم‌های فراابتکاری در انتخاب پوشش بهینه ساختمان‌ها بر اساس اثر جزایر حرارتی شهری

امیررضا قندیان^۱، نیکروز مستوفی^{۱*}، عباس مجیدی زاده^۲، حمید مطیعان^۳

^۱ گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب، تهران، ایران

^۲ گروه ژئودزی و مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران

^۳ گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: امروزه، توسعه شهرنشینی و افزایش جمعیت شهری، بیش از گذشته باعث گرم شدن هوا و ایجاد جزایر حرارتی شهری شده است. جزایر حرارتی شهری، پدیده‌ای ناشی از آثار شهرنشینی است که به واسطه آن، درجه حرارت در محیط شهری از مناطق حومه‌ای بالاتر می‌رود. این پدیده، به سبب افزایش دما جوی و محیطی می‌تواند صدمات جبران ناپذیری از قبیل آلودگی‌های زیستی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، بیماری‌های ناشی از گرما و تأثیر در کیفیت آب را برای جوامع و محیط زیست به بار آورد. این پژوهش، به منظور کاهش دما و تلاش برای از بین بردن پدیده جزیره حرارتی، رویکرد مؤثر و کارآمدی را به کمک علم سنجش از دور و الگوریتم‌های بهینه‌سازی براساس جایگزینی پوشش بام‌های یک منطقه با پوشش‌های با جذب گرمای کمتر پیشنهاد می‌کند. در این پژوهش، سعی بر آن است تا اثر جزیره حرارتی شهری را بر مبنای الگوریتم‌ها و پارامترهای آماری تأثیرگذار بر دمای محیط که در تحقیقات گذشته کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، کاهش دهیم. همچنین، استفاده از روش بهینه‌سازی هوشمند در این زمینه می‌تواند باعث نوآوری و ایجاد نتایج بهتر و دقیق‌تری شود. مسیر جدیدی که این مطالعه بررسی می‌کند، تغییر پوشش سقف یک منطقه با پوشش‌های کاربردی دیگر است که باعث کاهش دمای هوا در آن منطقه می‌شود. پوشش‌هایی که جهت جایگزینی پوشش بام‌ها برای تعدیل و خنک‌سازی دمای منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شدند، دو نوع پوشش خاک و گیاهی می‌باشند.

روش‌ها: رویکرد پیشنهادی این پژوهش، استفاده از دو الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات است و پارامترهایی که تابع هدف این دو الگوریتم را تشکیل می‌دهند، دو پارامتر انحراف معیار دما و میانگین هزینه مالی تغییر پوشش سقف هر قطعه ساختمانی است. مجموعه داده تحقیق، تصاویر ماهواره‌ای لندنست ۸ از محله اندیشه شهر تهران است. در این تحقیق، از تصاویر ماهواره‌ای برای اهدافی همچون تهیه تصاویر رنگی، نگاشت شاخص‌های گیاهی و غیرگیاهی منطقه مورد مطالعه، محاسبه دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شهری استفاده شده است.

یافته‌ها: نتایج به دست آمده بیانگر این موضوع می‌باشد که هر دو الگوریتم بهینه‌سازی عملکرد خوبی را ارائه داده و پارامترهای مسأله را بهبود بخشیده‌اند، اما الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک، نتیجه بهتری را در زمان و تکرار کم‌تری کسب کرده است. در مقایسه این دو الگوریتم، الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک انحراف معیار را ۱۹ درصد کاهش داد و مقدار آن را به ۰/۴۲ رساند. از سوی دیگر، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در مدت زمانی طولانی‌تر، انحراف معیار را ۱۴ درصد کاهش داد و مقدار آن را به ۰/۴۴ رساند.

نتیجه‌گیری: الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی پوشش بام ساختمان‌ها، نتایج بسیار خوبی را با هزینه کل ۴۶۷۸ و انحراف معیار ۰/۴۱۷۷ کسب کرد. با تعداد ۱۲۱۰۰ بار ارزیابی تابع هدف به سرعت همگرا شد و هر دو پارامتر تابع هزینه را به

تاریخ دریافت: ۰۹ اسفند ۱۴۰۲
تاریخ داوری: ۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۱۹ اردیبهشت ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۴ خرداد ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات
الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک
تصاویر ماهواره لندنست ۸
جزایر حرارتی شهری
سنجش از دور

* نویسنده مسئول

n_mostofi@azad.ac.ir

۰۲۱-۲۶۷۴۴۵۲۰

میزان قابل توجهی کاهش داد (الگوریتم ژنتیک تا حد ممکن به بهترین جواب رسیده است). الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات نیز با کسب هزینه کل ۴۹۶۵، انحراف معیار ۰/۴۴۳۰ و با تعداد ۲۰۱۰۰ بار ارزیابی تابع هدف نتوانست جوابی به خوبی الگوریتم ژنتیک برسد. در خصوص مقایسه بین این دو الگوریتم، ژنتیک با کم‌تر از ۳۰۰۰ بار ارزیابی تابع هدف، توانست بهینه‌ترین جوابی را که الگوریتم ازدحام ذرات در ۲۰۱۰۰ بار ارزیابی به آن رسیده، تجربه کند. استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی مسائل عملی، که امروزه در صنایع متنوع به دفعات با آن‌ها مواجه می‌شویم، می‌تواند بسیار کارآمد باشد. نتایج این الگوریتم‌ها، با وجود اختلافات در خروجی‌ها بسیار مناسب و رسیدن به چنین جواب‌هایی برای مسائل مختلف بدون استفاده از این‌گونه الگوریتم‌ها غیرممکن خواهد بود. به عنوان کارهای آتی براساس آنچه که در این پژوهش حاصل شده، پیشنهاد می‌شود از سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی و یا حتی الگوریتم‌های قدرتمند مدل‌سازی همچون شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شود. همچنین، می‌توان تغییر پوشش بام ساختمان‌ها و استفاده از پوشش‌های جدیدتر را در تعدیل دما با اتخاذ پارامترهای جدید از تابع هزینه در الگوریتم‌های بهینه‌سازی و یادگیری عمیق مورد بررسی قرار داد.

مقدمه

را در خود نگه می‌دارند، در به وجود آمدن و شدت جزایر حرارتی مؤثر هستند. در کل، جزایر حرارتی را می‌توان به سه عامل اثرات تبدیل انرژی در شهرها، کاهش تبخیر و تعرق و تولید انرژی انسانی نسبت داد [۱۳]. یکی از عمده‌ترین دلایل آثار نامطلوب زیست محیطی، حذف و جایگزینی پوشش گیاهی با ساختمان‌هاست که این امر، منجر به فروپاشی چرخه زیست محیطی شده و نقش به‌سزایی در شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری خواهد داشت [۱۴، ۱۵]. مقدار زیاد آجر، بتن، آسفالت، سنگ و سایر سطوح مشابه در مناطق شهری، که معمولاً بازتاب کم و ظرفیت گرمایی بالایی دارند، دارای جذب تابش موج کوتاه خورشیدی بیشتری نسبت به سطوح با چگالی کم در مناطق روستایی و حومه‌ای در طول روز هستند. علاوه بر این‌ها، تغییرات مصنوعی سطح زمین ناشی از خیابان‌های باریک‌تر و ساختمان‌های بلندتر، جریان هوای سطحی را کاهش می‌دهد و پدیده‌ای به نام اثر دره شهری (Canyon Effect) را ایجاد می‌کند [۱۶، ۱۷].

جزایر حرارتی شهری به صورت فصلی، سالانه و چند دهه‌ای تغییر می‌کنند. اثر جزایر حرارتی شهری مشکلات خاصی را در تابستان نیز ایجاد می‌کند زیرا دمای بالای منطقه را افزایش می‌دهد، که منجر به افزایش مصرف انرژی برای خنک‌سازی، تشدید آلودگی هوا و بیماری یا حتی مرگ ناشی از فشار گرما می‌شود [۱۸]. پیش‌بینی قابل اطمینان دمای شهری برای توسعه سیاست‌های کاهش تغییرات آب و هوایی خاص شهر ضروری است؛ اما ماهیت متغیر جزایر حرارتی شهری در طول زمان، چنین مطالعاتی را پیچیده می‌کند [۱۹].

جزیره حرارتی شهری به‌طور کلی به دو صورت سنتی و سنسورهای حرارتی از راه دور ارزیابی می‌شود. با توسعه سنسورهای حرارتی از راه دور، فناوری تصویربرداری مبتنی بر ماهواره به‌طور گسترده برای شناسایی از راه دور جزایر حرارتی استفاده می‌شود زیرا می‌تواند یک روش مستقیم و سازگار برای تعیین توزیع مکانی- زمانی دمای سطح زمین (Land Surface Temperature (LST)) ارائه دهد [۲۰، ۲۱]. تصاویر حرارتی با وضوح بالا ماهواره‌ای، این مزیت را دارند که یک شبکه مترامم تکرار شونده از داده‌های دما را در کل منطقه شهری، و حتی دمای هر ساختمان فراهم کنند. این داده‌های حرارتی می‌توانند برای توصیف

طی نیم قرن اخیر، افزایش جمعیت و به سبب آن رشد شهرنشینی، زندگی انسان‌ها و پدیده‌های طبیعی کره زمین را تحت تأثیر قرار داده است [۱، ۲]. یکی از اثرات توسعه شهرنشینی، تغییرات کاربری اراضی کشاورزی، جنگلی و روستاهای حومه شهر به مناطق شهری، صنعتی و دیگر زیرساخت‌ها است. از دیگر مشکلاتی که شهرنشینی ایجاد کرده است، می‌توان به کاهش پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی، تغییرات اساسی در فرآیندهای تابشی، ترمودینامیکی و خصوصیات فیزیکی زمین، آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد. این تغییرات بر روی دمای سطح زمین اثر گذاشته و موجب گرم شدن و نمود جزایر حرارتی شهری شده است [۳، ۴، ۵]. جزایر حرارتی شهری، پدیده‌ای ناشی از آثار توسعه شهرنشینی است که درجه حرارت منطقه شهری از محیط اطراف آن بالاتر است [۶]. از طرفی دیگر، رشد جمعیت در مناطق شهری منجر به استفاده از زمین‌های غیر قابل نفوذ بیشتر در فعالیت‌های ساختمانی شده و فرآیندهای تعادل انرژی و آب را تغییر داده و بر پویایی حرکت هوا تأثیر گذاشته‌اند [۷، ۸]. بنابراین توسعه و رشد شهری و افزایش جمعیت ناشی از آن، چنانچه بدون برنامه‌ریزی صورت گیرد، موجب از بین رفتن پوشش طبیعی زمین که خود به‌مثابه یکی از مهم‌ترین عوامل خنک‌کنندگی دمای سطح زمین است، و به دنبال آن سبب پیدایش جزایر حرارتی شهری می‌شود [۹]. جزیره حرارتی شهری زمانی ایجاد می‌شود که بخش بزرگی از پوشش طبیعی زمین در یک منطقه با سطوح ساختمانی جایگزین شود که تشعشعات خورشیدی ورودی را در طول روز به دام می‌اندازد، و سپس در شب، آن را بازتاب می‌کند [۱۰]. جزیره حرارتی با دمای هوای بالاتر در مناطق شهری، در مقایسه با مناطق روستایی اطراف مشخص می‌شود و شدت آن به ویژگی‌هایی همچون تراکم شهری، عوامل جغرافیایی و شرایط جوی غالب بستگی دارد [۱۱]. پدیده جزیره حرارتی یکی از مسائل مهم در شهرها، به‌خصوص در شهرهای گرمسیری استوایی و در برخی مطالعات، به‌عنوان یکی از واضح‌ترین نمونه‌های تغییر ناخواسته اقلیم، توصیف شده است [۱۲]. در این حوزه عواملی همچون آب و هوا، موقعیت جغرافیایی، زمان روز و فصل، شکل شهر و استفاده از موادی که به‌طور مؤثری گرما

بیشترین دما در کاربری‌های نواحی مسکونی و بایر رخ می‌دهد [۹]. کرمی زارچی و همکاران در سال ۱۳۹۸، استفاده از رابطه خطی بین دمای سطح زمین و شاخص‌های تفاضلی نرمال‌شده ساختمانی و تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی، را برای محاسبه شدت جزایر حرارتی از طریق تصاویر سنجنده‌های ETM+ و TIR/OLI ماهواره لندست پیشنهاد کردند [۲۷]. برای تخمین شدت جزیره حرارتی شهری، از شیب خط برازش داده شده به نمودار دمای سطح زمین بر حسب درصد پوشش زمینی شهری، استفاده کردند. هدف از این مطالعه، ارائه یک روش با دقت مناسب برای محاسبه شدت جزایر حرارتی شهری می‌باشد. نمودار دمای سطح زمین (Land Surface Temperature) برحسب شاخص پوشش شهری و نقشه درصد شهری، از یک تابع تقریباً خطی با یک حائل پیروی می‌کند. شیب نمودار برازش داده شده به این نمودارها، به‌عنوان شدت جزایر حرارتی شهری معرفی شده است. در نهایت، روش طبقه‌بندی ماشین‌بردارپشتیبان با دقت ۹۳٪ بهتر از روش حداکثر احتمال با دقت ۸۸٪ عملیات طبقه‌بندی را انجام داد [۲۷]. طاهری و همکاران سال ۲۰۱۹، در مطالعه‌ای برای شناسایی تأثیر ویژگی‌های سطح شهری بر دمای سطح زمین، به محاسبه پارامترهای مورفولوژی شهری مانند حجم ساختمان و ضریب دید آسمان (Sky View Factor) حاصل از داده‌های LIDAR، شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی و شاخص ساختمانی شاخص- مینا (Index-based Built-up Index) با استفاده از مجموعه داده‌های لندست ۸ پرداختند [۲۸]. برای ارزیابی همبستگی و اهمیت آماری متغیرها بر روی دمای سطح زمین و مدل‌سازی دمای سطح زمین در شب، از رگرسیون کمترین مربعات جزئی (Partial Least Square) استفاده کردند. هدف این مطالعه، مدل‌سازی جزیره حرارتی شهری در شب با استفاده از پارامترهای مورفولوژیکی، داده‌های سنجش از دور و رگرسیون کمترین مربعات جزئی است. در این مطالعه برای تخمین دمای سطح زمین منطقه مورد مطالعه، از الگوریتم تک کاناله بر اساس باند ۱۰ استفاده شد. پارامترهای شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی، ضریب دید آسمان، شاخص ساختمانی شاخص- مینا و حجم ساختمان به‌عنوان متغیر مستقل و دمای سطح زمین به‌عنوان متغیر پاسخ در نظر گرفته شد. نتایج، نشان داد که دمای سطح زمین رابطه مثبتی با حجم ساختمان و شاخص ساختمانی شاخص- مینا دارد که هر دو پارمتر، نواحی ساختمانی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند. بخش شهری دمای سطح زمینی بالاتری نسبت به بخش‌های حومه شهری دارند. همچنین، دمای سطح زمین با ضریب دید آسمان و شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی رابطه منفی داشت که نشان دهنده این است که هر جا ضریب دید آسمان بالا بود (محیط بدون مانع مناطق حومه‌ای)، دمای سطح زمین پایین بود. علاوه بر این، هر جا شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی بالا بود، دمای سطح زمین نیز پایین بود [۲۸]. ژائو و همکاران سال ۲۰۲۰، در مطالعه‌ای از آنالیزهای تجربی متنوعی برای کمی‌سازی پاسخ دمای سطح زمین به ترکیب/ پیکرندگی مناظر طبیعی استفاده کردند [۲۹]. هدف این تحقیق، ارزیابی

بزرگی و وسعت فضایی یک جزیره حرارتی شهری و کاربری/ پوشش زمینی مورد استفاده قرار گیرند [۲۲، ۲۳]. امروزه، تأثیر مورفولوژی شهری بر عملکرد انرژی ساختمان توجه بیشتری را به خود جلب کرده است زیرا مصرف انرژی ساختمان بیش از یک چهارم کل مصرف انرژی شهرها را تشکیل می‌دهد. با رشد سریع شهرنشینی، مورفولوژی بلوک‌های شهری از نوع تک و کم‌تراکم به نوع متنوع و پرتراکم تبدیل می‌شود که تأثیر زیادی بر شرایط تهویه سطح زمین، عملکرد تهویه و افزایش گرما در مقیاس منطقه‌ای دارد. بنابراین، اثر جزیره حرارتی شهری را افزایش داده و مصرف انرژی ساختمان را افزایش می‌دهد [۲۴، ۲۵، ۲۶].

مستوفی و حسنلو سال ۲۰۱۷، در مطالعه‌ای با هدف پایش جزایر حرارتی شهری به توسعه یک مدل تحلیلی غیرخطی و مبتنی بر کرنل پرداختند [۲۲]. آن‌ها از تصاویر لندست ۸ برای نظارت بر جزیره حرارتی سطحی (Surface Heat Island) و بازیابی دمای روشنایی و انواع کاربری/ پوشش زمین استفاده کردند. این مطالعه، از یک رویکرد کمی برای ارزیابی رابطه بین جزیره حرارتی سطحی و شاخص‌های گیاهی و غیر گیاهی مناسب، استفاده می‌کند. این پژوهش، بر مبنای سه سناریو پیاده‌سازی شده است، ترکیب مدل رگرسیون خطی (Linear Regression Model) با کل مجموعه ویژگی‌ها بدون انتخاب هیچ‌کدام از آن‌ها، ترکیب رگرسیون بردار پشتیبان (Support Vector Regression) با کل مجموعه ویژگی‌ها بدون انتخاب هیچ‌کدام از آن‌ها، و ترکیب ویژگی‌های انتخاب‌شده مناسب به‌صورت ژنتیکی در روش رگرسیون بردار پشتیبان. نتایج، نشان داد که سناریوی سوم، عملکرد قابل اعتمادتری با استفاده از معیار خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده (Normalized Root Mean Square Error) در مقایسه با سناریوهای دیگر دارد. همچنین، روش انتخاب ویژگی‌های ژنتیکی برای تخمین داده‌های جزیره حرارتی سطحی، نشان داد که بهتر است از شاخص‌های مؤثرتر و بهینه‌تر مانند شاخص تفاضلی نرمال‌شده ساختمانی (Normalized Difference Built-up Index)، شاخص تفاضلی نرمال‌شده زمین بایر (Normalized Difference Bareness Index)، شاخص خاک بایر (Bare soil Index)، سبزی و روشنایی استفاده شود [۲۲]. شعبانی و همکاران در سال ۱۳۹۸، برای پایش زمانی- مکانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی، از شاخص‌های تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index)، شاخص شدت جزیره حرارتی شهری (Urban Heat Island Intensity Index) و مقادیر دمای سطح زمین استفاده کردند [۹]. آن‌ها تأثیر تغییرات کاربری زمینی بر دمای سطح زمین را مورد بررسی قرار دادند. در زمینه پایش تغییرات کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه، روند کاهش پوشش گیاهی و افزایش کاربری‌های مسکونی و نواحی بایر را اثبات کردند. آن‌ها نشان دادند تغییرات کاهش و افزایش کاربری‌های استخراج‌شده، موجب افزایش دمای سطح زمین طی بازه مورد نظر شده است؛ به‌طوری که با بررسی بیشترین دمای مربوط به هر کاربری، مشخص شد که

به‌کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری، امری ضروری است. مسیر جدیدی که در این مطالعه در نظر گرفته شده است، تغییر پوشش بام‌های یک منطقه با پوشش‌های تأثیرگذار دیگری است که باعث کاهش دمای هوا در آن ناحیه شود. این امر، به کمک دو الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات صورت خواهد گرفت و نتایج آن‌ها بررسی و سپس مقایسه خواهد شد. در این تحقیق، تأثیرات استفاده از دو نوع پوشش برای سقف شامل خاک و پوشش گیاهی، بر روی مقدار درجه حرارت سطح بررسی شده است. همچنین، استفاده از پوشش آب در روش اجرایی در نظر گرفته شده بود، به دلیل کمبود و هزینه بالایی که داشت، در ادامه روند اجرای الگوریتم‌ها حذف گردید و صرفاً برای دیدن نتایج اولیه و میزان تأثیرگذاری آن وارد این پروسه شد. لازم به ذکر است که رویکرد برنامه‌ریزی مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی با امکان بررسی پوشش‌های متفاوت سقف‌ها و کمینه‌سازی پارامترهای آماری درجه حرارت منطقه، سهم کمی از تحقیقات را در مطالعات گذشته به خود اختصاص داده است و لذا ایجاب می‌کند تا مطالعات و به‌دنبال آن، اقدامات بیشتری در زمینه‌ی کاهش دما در نواحی شهری صورت گیرد.

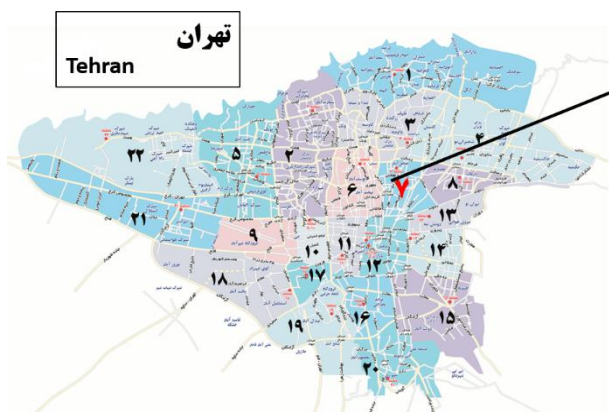
منطقه و مجموعه داده مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه برای انجام این تحقیق، محله اندیشه شهر تهران و در محدوده مرکزی شهر، واقع در منطقه ۷ شهرداری است (شکل ۱). به دلیل موقعیت آن در مرکز شهر که محل عبور و مرور بسیاری از مردم در سطح شهر می‌باشد، دمای این منطقه نسبت به مناطق اطراف خود کمی بالاتر است و پدیده جزیره حرارتی شهری در این منطقه شکل می‌گیرد.

تصاویر استفاده‌شده برای این منظور، تصاویر ماهواره لندست ۸ مربوط به تاریخ ۲۲ شهریور ۱۴۰۰ (۱۳ سپتامبر ۲۰۲۱) می‌باشد که از سایت USGS اخذ شده است. سپس تصحیحات هندسی و رادیومتریکی بر روی این داده‌ها اعمال گردید. مرحله برش‌دادن تصاویر برای رسیدن به تصاویر مربوط به محدوده تهران و منطقه مورد مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار ENVI v4.5 انجام شد.

سهم حرارتی هر یک از انواع پوشش زمینی شهری، از منظر ترکیب و پیکربندی می‌باشد. در این تحقیق، از رگرسیون شبکه الاستیک منظم شده برای ارزیابی سهم حرارتی ۶ نوع پوشش زمینی شهری استفاده شد. رگرسیون شبکه الاستیک در مقایسه با رگرسیون کمترین مربعات معمولی (Ordinary Least Squares Regression) برای مدل‌سازی دمای سطح زمین، با محاسبه هم‌خطی کامل بین پوشش‌های زمینی متعدد، مناسب‌تر عمل کرد. در منطقه مورد مطالعه، ساختمان‌ها بیشترین سهم را در به‌وجود آوردن جزایر حرارتی دارند. اثر گرمایش ساختمان، بسیار بیشتر از سطح غیر قابل نفوذ بود. افزایش پهناهای آبی، بیشترین تأثیر را بر کاهش دمای سطح زمین محلی دارد. بعد از پهناها نیز، افزایش علفزارها و درختان شهری به ترتیب بیشترین تأثیر را برای این منظور دارند. در این مطالعه، خنک‌سازی تراکمی پوشش گیاهی تنها زمانی مؤثر است که پوشش گیاهی محلی کمتر از ۴۰٪ باشد. تراکم ساختمانی نیز تنها زمانی که پوشش ساختمانی بیش از ۱۵٪ باشد، در گرمایش محلی نقش دارد [۲۹]. نصیری و همکاران سال ۲۰۲۲، در مطالعه‌ای از داده‌های چندزمانی لندست ۷ برای تخمین جزایر حرارتی و شاخص بحران محیطی (Environmental Crisis Index) حاصل از دمای سطح زمین و شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی استفاده کردند [۳۰]. دلیل استفاده آن‌ها از داده‌های این سنسور، طول دوره تکرار و پیوستگی آن بود. نتایج، نمایانگر تشدید اثرات جزیره حرارتی سطوح شهری، به‌ویژه در دوره‌های شهرنشینی می‌باشد. همبستگی مثبت و معناداری بین دمای سطح زمین و مناطق شهری مشاهده شد. این نتایج، تأثیر زیاد شهرنشینی بر شکل‌گیری جزایر حرارتی سطوح شهری در منطقه مورد مطالعه را تأیید می‌کند [۳۰].

در مطالعات گذشته از روش‌های متعددی برای بررسی جزایر حرارتی شهری و کاهش آن در مناطق شهری استفاده شد؛ ولی در این تحقیقات به برنامه‌ریزی‌های اجرایی در محیط شهری مانند تغییر پوشش بام ساختمان‌ها و استفاده از مواد مختلف برای بررسی میزان تغییر در دمای آن ناحیه، توجه کافی نشده است. همچنین، استفاده از راهکارهای امروزی و مؤثر برای کاهش پدیده جزایر حرارتی شهری، همچون



شکل ۱: محله اندیشه تهران (محدوده مورد مطالعه)
Fig. 1: Andisheh neighborhood of Tehran (study area)

برای باندهای لندست ۸ جمع‌آوری شده و از آن، برای تغییر پوشش بام‌ها استفاده خواهد شد. هدف در این مطالعه، تغییر و جایگزینی پوشش بام‌های منطقه مورد مطالعه (محله اندیشه تهران) با دو پوشش (کتابخانه طیفی) ذکر شده است، به طوری که دو شرط زیر به صورت هم‌زمان اعمال شوند:

○ میزان انحراف معیار (STD) دمای کل منطقه کاهش یابد (کاهش دما)،

○ این امر به صورتی تحقق پذیرد که کم‌ترین هزینه مالی در نظر گرفته شود (کاهش هزینه).

هدف اصلی این تحقیق، کنترل جزایر حرارتی در منطقه مورد مطالعه با کمترین هزینه می‌باشد. از آنجا که پدیده جزایر حرارتی مرتبط است با تفاوت دمای یک منطقه با محیط اطراف خود، لذا در این مقاله سعی شده است با کاهش انحراف معیار دمای منطقه، این اختلافات دمایی کاهش داده شود. همچنین از آنجا که پوشش‌های به کار برده شده اثر کاهشی در متوسط دمای منطقه دارند، لذا در نظر گیری تابع هزینه انحراف دما در الگوریتم‌ها، نقاط کانونی دما را جهت تغییر پوشش انتخاب می‌کند. از طرفی دیگر اگر تابع هزینه الگوریتم بر اساس کاهش متوسط دما منطقه باشد، تغییر پوشش هر ساختمان تقریباً به یک اندازه در این کاهش تاثیر داشته و الگوریتم‌ها همگرا نخواهد شد. همچنین برای کنترل و محدود کردن الگوریتم در انتخاب پوشش‌های گران‌تر مانند پوشش‌های گیاهی، معیار هزینه نیز در نظر گرفته شده است.

همچنین، از همان ابتدا ساختمان‌هایی برای ورود به الگوریتم انتخاب شدند که در نیمه بالای میانگین دما قرار داشتند و ساختمان‌های زیر دمای میانگین وارد الگوریتم نشدند؛ زیرا دلیل برای تغییر پوشش این ساختمان‌ها وجود ندارد. این امر باعث شد تا الگوریتم در تصمیم‌گیری و عدم ایجاد خطا بهتر عمل کند.

به دلیل وجود تعداد زیادی ساختمان در این منطقه و عدم توانایی در تغییر کل پوشش بام ساختمان‌ها، باید تعداد (درصد) مشخصی از بام‌هایی که قرار است دستخوش تغییر شوند را، از قبل تعیین نمود. در چنین مقیاسی، انتخاب و تصمیم‌گیری در مورد استفاده از پوشش بام و قطعه ساختمانی، دارای فضای جستجوی بسیار گسترده‌ای است که حل آن با الگوریتم‌های ریاضی موجود در زمانی کوتاه سخت یا غیرممکن خواهد بود. در نتیجه، در این مطالعه سعی شده است که تا با به‌کارگیری الگوریتم‌های هوشمند بهینه‌سازی، این امر را ممکن نمود. لذا از دو الگوریتم بهینه‌سازی مطرح در این زمینه، یعنی الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، طی سناریوهای مختلفی استفاده، و نتایج آن‌ها بررسی و مقایسه خواهد شد.

لازم به ذکر است که برای محاسبه هزینه مالی برای هر ملک، مساحت آن در قیمت نسبی پوشش مورد نظر ضرب گردید که این قیمت‌ها، با توجه به نرخ تقریبی در زمان نگارش و منطقه مورد مطالعه تعیین شد. قیمت‌های نسبی طبق جدول ۲ به دست آمد.

در این تحقیق، برای تجزیه و تحلیل جزیره حرارتی منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شده که مشخصات باندهای آن (وضوح طیفی، مکانی، زمانی و رادیومتریکی) در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول ۱: مشخصات باندهای ماهواره لندست ۸

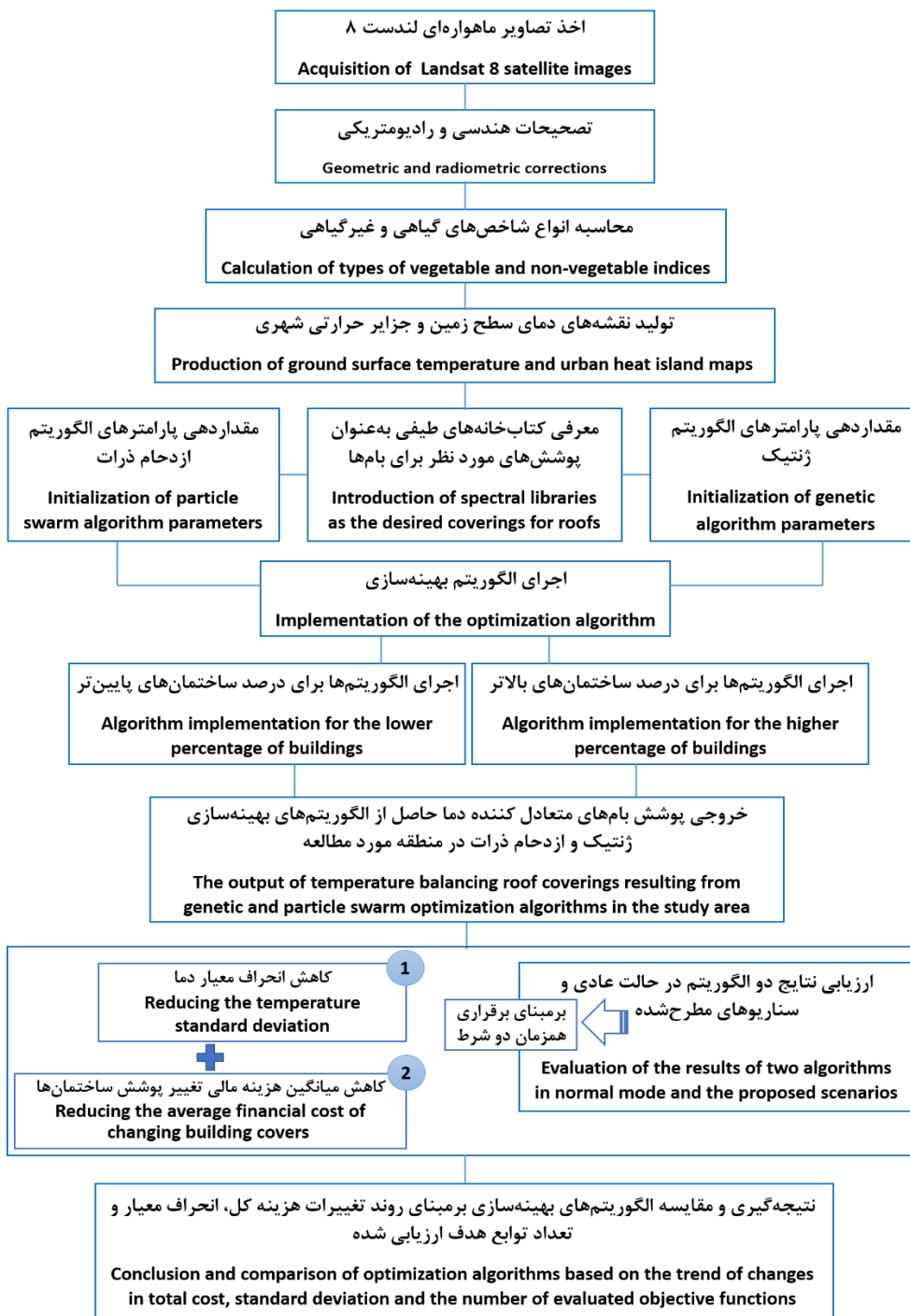
Table 1: Band specifications of Landsat 8

	Spectral Resolution (μm)	Spatial Resolution (m)	Temporal Resolution (days)	Radiometric Resolution (bits)
Coastal	0.43 – 0.45	30	16	12
Blue	0.45 – 0.51	30		
Green	0.53 – 0.59	30		
Red	0.63 – 0.67	30		
NIR	0.85 – 0.88	30		
SWIR-1	1.57 – 1.65	30		
SWIR-2	2.11 – 2.29	30		
Pan	0.50 – 0.68	15		
Cirrus	1.36 – 1.38	30		
TIR-1	10.60 – 11.19	100		
TIR-2	11.50 – 12.51	100		

روش تحقیق

در این پژوهش، به منظور تعدیل دمای منطقه مورد مطالعه، سعی شده است تا با جایگزینی پوشش بام ساختمان‌های این منطقه با پوشش‌های به اصطلاح خنک‌تر، این امر را تسهیل نمود. اکثر پوشش‌های حال حاضر این ساختمان‌ها، آیزوگام و موادی است که گرمای روز را در خود نگه می‌دارند و تا ساعت‌ها بعد این گرما را از خود ساطع می‌کنند. در این راستا، روندنمای شکل ۲ نمای کلی از آنچه قرار است در این تحقیق اجرا و پیاده‌سازی شود را نشان می‌دهد. به جزئیات بیشتری راجع به موارد و مراحل ذکر شده، پرداخته خواهد شد.

دو نوع پوشش برای بررسی جزیره حرارتی در این مطالعه در نظر گرفته شده است: خاک و پوشش گیاهی. پوشش خاک، دما را تا حد نسبتاً خوبی پایین می‌آورد ولی مزیت اصلی آن نسبت به پوشش‌های دیگر، صرفه‌جویی در زمینه مالی است. پوشش گیاه نیز، چندین سال است که در سطح دنیا، برای کاهش دمای منطقه و زیباسازی شهری بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد و آن را بیشتر با عنوان بام سبز (Green Roof) می‌شناسند. پوشش آب نیز از دیگر پوشش‌هایی است که بسیار در بحث خنک کردن هوا و همچنین استفاده از آن به عنوان استخر، و البته منظره زیبایی که در نمای ساختمان ایجاد می‌کند. مشکل قابل توجهی که هنگام استفاده از آب در تهران به عنوان پوشش بام به وجود می‌آید، مسئله کم‌آبی و هزینه نسبتاً بالای آن است. امضای طیفی هر دو پوشش



شکل ۲: روندنمای روش پیشنهادی تحقیق
 Fig. 2: Flowchart of the proposed research method

در این پژوهش، از رایج‌ترین شاخص‌های گیاهی و غیرگیاهی استفاده شده است. این شاخص‌ها را می‌توان به دو نوع عمده تقسیم کرد: شاخص‌های شهری و شاخص‌های گیاهی. بیشتر شاخص‌های شهری و گیاهی همان‌طور که در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است، پارامترهای شهرنشینی و گیاهی مربوط به اختلاف طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک، موج کوتاه، حرارتی و مرئی تصاویر لندست ۸ را استخراج می‌کنند. تمامی شاخص‌ها بر اساس اعداد دیجیتالی با استفاده از مقادیر تابش/ بازتابش باندهای ماهواره محاسبه می‌شوند [۱۳].

جدول ۲: قیمت نسبی هر پوشش در منطقه مورد مطالعه
 Table 2: The relative price of each cover in the study area

قیمت نسبی Relative price	نوع پوشش Cover type
1	Soil / خاک
3	Vegetation / گیاه

جدول ۳: شاخص‌های شهری مورد استفاده در این پژوهش

Table 3: Urban indices used in this research

فرمول Formula	نام شاخص Index name
$NDBaI = \frac{SWIR1 - TIRS1}{SWIR1 + TIRS1}$	شاخص تفاضلی نرمال شده زمین بایر (Normalized Difference Bareness Index)
$NDBI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR}$	شاخص تفاضلی نرمال شده ساختمانی (Normalized Difference Build-up Index)
$BI = \frac{(SWIR1 + RED) - (NIR + BLUE)}{(SWIR1 + RED) + (NIR + BLUE)}$	شاخص خاک بایر (Bare Soil Index)
$UI = \frac{SWIR2 - NIR}{SWIR2 + NIR}$	شاخص شهری (Urban Index)
$IBI = \frac{2 \times SWIR1}{SWIR1 + NIR} - \left(\frac{NIR}{NIR + RED} - \frac{GREEN}{GREEN + SWIR1} \right)$	شاخص ساختمانی شاخص مبنا (Index-based Built-Up Index)
$EBBI = \frac{SWIR1 - NIR}{10 \sqrt{SWIR1 + TIRS1}}$	شاخص بهبودیافته ساختمانی و زمین بایر (Enhanced Built-Up and Bareness Index)
SWIR1 = Short-wave Infrared Imagery	تصاویر مادون قرمز موج کوتاه در باند ۶
SWIR2 = Short-wave Infrared Imagery	تصاویر مادون قرمز موج کوتاه در باند ۷
TIRS1 = Thermal Infrared Imagery	تصاویر مادون قرمز حرارتی در باند ۱۰
NIR = Near Infrared Imagery	تصاویر مادون قرمز نزدیک در باند ۵
RED = 'Red' Visible Band Imagery	تصاویر مرئی قرمز در باند ۴
GREEN = 'Green' Visible Band Imagery	تصاویر مرئی سبز در باند ۳
BLUE = 'Blue' Visible Band Imagery	تصاویر مرئی آبی در باند ۲

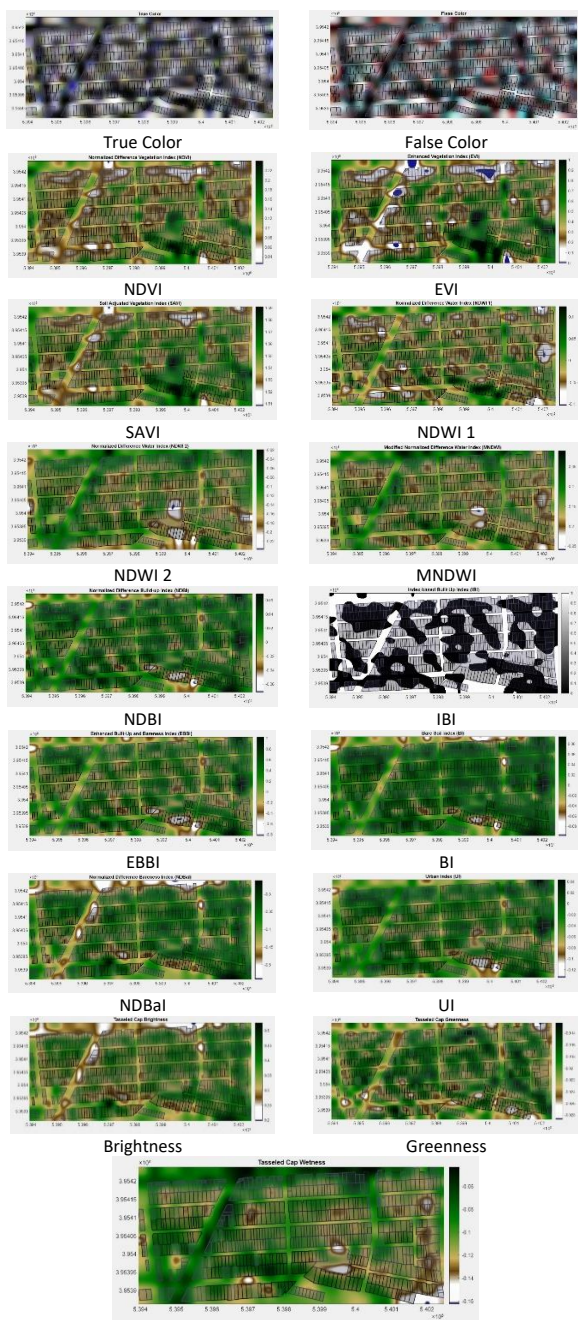
جدول ۴: شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در این پژوهش

Table 4: Vegetation indices used in this research

فرمول Formula	نام شاخص Index name
$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index)
$EVI = G \frac{NIR - RED}{NIR + C_1 RED - C_2 BLUE + L}$	شاخص بهبودیافته پوشش گیاهی (Enhanced Vegetation Index)
$L = 1, C_1 = 6, C_2 = 7.5, G = 2.5$	
$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} (L + 1) \quad L = 0.5$	شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی (Soil Adjusted Vegetation Index)
$NDWI = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$	شاخص تفاضلی نرمال شده آب (Normalized Difference Water Index)
$MNDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$	شاخص تفاضلی نرمال شده و اصلاح شده آب (Modified Normalized Difference Water Index)
<i>Brightness, Greenness, Wetness</i>	تبدیل تسلدکپ (Tasseled Cap Transformation)

نتایج

در این مطالعه، برای پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی، از نرم‌افزار متلب (MATLAB 2020b) و محیط App Designer استفاده شده است. در این برنامه سعی شده تا با اخذ تصاویر و داده‌های مربوطه از کاربر، تصویر مربوط به منطقه مورد مطالعه در قسمت مرکزی به نمایش درآید. همچنین امکان رؤیت تصاویر مربوط به نقشه شاخص‌های گیاهی و غیرگیاهی وجود دارد. تصویری از محیط برنامه بعد از وارد کردن داده‌های ورودی و انتخاب گزینه محاسبه جزایر حرارتی شهری، در شکل ۳ قابل مشاهده است.

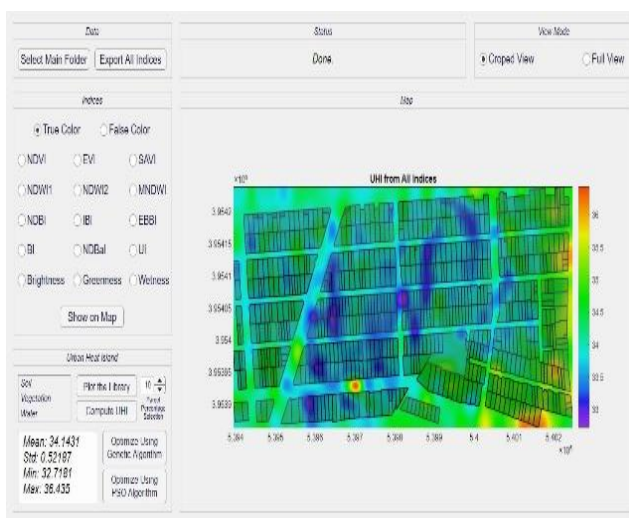


شکل ۴: نقشه‌های مربوط به تصاویر رنگی، شاخص‌های گیاهی، شاخص‌های غیرگیاهی و تبدیل تسلدکپ

Fig. 4: Mappings related to color images, vegetation indices, non-vegetation indices and Tasseled transformation

جدول ۵: مقادیر مربوط به پارامترها اولیه و عملگرهای الگوریتم ژنتیک

مقادیر Values	پارامترها Parameters
100	دور تکرار Repeat round
100	اندازه جمعیت Population size
80	درصد ترکیب Crossover percentage
40	درصد جهش Mutation percentage



شکل ۳: رابط کاربری گرافیکی مربوط به محاسبه جزیره حرارتی شهری داده‌های ورودی (تصاویر ماهواره ای محله اندیشه تهران)

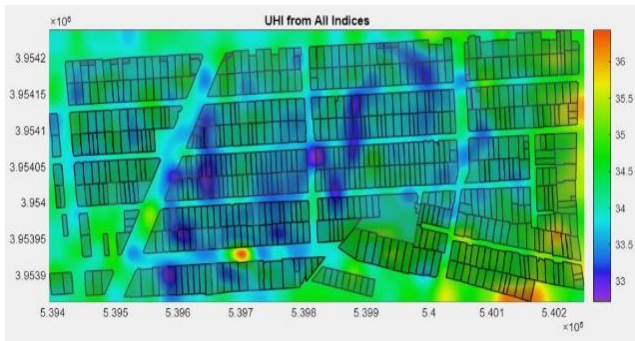
Fig. 3: Graphical user interface related to urban heat island calculation of input data (satellite images of Tehran's Andishe neighborhood)

در محیط گرافیکی طراحی شده (شکل ۳) با انتخاب گزینه محاسبه جزیره حرارتی، می‌توان روابط مربوط به محاسبه دمای سطح زمین را با استفاده از هر یک از ۱۴ شاخص گیاهی و غیرگیاهی ذکر شده در بخش روش تحقیق محاسبه کرد و بواسطه روش رگرسیون خطی، نقشه جزایر حرارتی شهری را به نمایش درآورد. شکل ۴ تصاویر رنگی و نقشه شاخص‌های گیاهی و شهری منطقه مورد مطالعه، را نشان می‌دهد. این شاخص‌ها با استفاده از باندهای سنسور OLI لندست ۸ به دست آمده است.

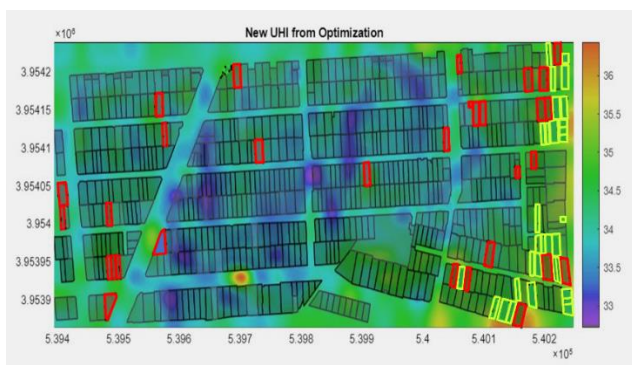
اجرای الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک

الگوریتم ژنتیک همچون بسیاری از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، نیازمند تنظیم دو بخش مهم "پارامترهای اولیه و تابع هزینه (Cost Function)" است. در بخشی از فرآیند بهینه‌سازی، پارامترهای اولیه الگوریتم، پارامترهای تعیین‌کننده مقدار و میزان تأثیرگذاری عملگرهای الگوریتم تنظیم می‌گردد که جزئیات آن در جدول ۵ ارائه شده است. در این پژوهش، سیستم مورد استفاده برای اجرای الگوریتم، یک سیستم با OS Windows 10، CPU Intel Core i5، RAM 12G می‌باشد.

این که اکثر این ساختمان‌ها در همان نواحی با مقدار جزیره حرارتی شهری بالا قرار دارند، می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد الگوریتم ژنتیک برای حل این مسئله، بسیار خوب بوده است. در این پروسه، الگوریتم ژنتیک، ۳۲ پوشش خاک (۰.۴۸٪) و ۳۵ پوشش گیاه (۰.۵۲٪) برای ۶۷ ساختمان انتخابی در نظر گرفت. نتایج آماری الگوریتم ژنتیک و تغییراتی که بعد از اعمال آن ایجاد شده در جدول ۶ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۵: تصویر جزایر حرارتی و توزیع گرما در منطقه مورد مطالعه
Fig. 5: Heat islands and heat distribution Image in the study area



شکل ۶: نتیجه بصری الگوریتم ژنتیک در تعیین پوشش‌های مناسب برای بام‌های منطقه

Fig. 6: The visual result of the genetic algorithm in determining the suitable coverings for the region roofs

جدول ۶: نتایج آماری تأثیر اجرای الگوریتم ژنتیک بر روی پارامترهای مسئله

Table 6: Statistical results of the genetic algorithm implementation effect on the problem parameters

پارامترها Parameters	قبل از اجرای الگوریتم Before implementing the algorithm	بعد از اجرای الگوریتم After implementing the algorithm	میزان بهبود (کاهش) Rate of improvement (decrease)
هزینه کل Total cost	-	4678	-
هزینه مالی Financial cost	-	501	-
انحراف معیار دما Standard deviation of temperature	0.5147	0.4177	19%

روند کاهش هزینه در تابع هدف حاصل از الگوریتم ژنتیک در جدول ۶ به نمایش درآمده است. کاهش محسوس آن در طی صد دور تکرار، قابل

در بخش تابع هزینه، برای محاسبه انحراف معیار از همان مقدار جزیره حرارتی که از قبل محاسبه شده و در هر دور تکرار و با تغییر پوشش‌ها دوباره وارد پروسه محاسبه می‌شود، استفاده شد. برای محاسبه قیمت نیز هر یک از ساختمان‌ها در قیمت نسبی پوشش تعیین شده‌شان ضرب شدند و از قیمت کل ساختمان‌ها میانگین گرفته شد. سپس برای محاسبه هزینه خروجی از ترکیب وزن‌دار انحراف معیار و هزینه مالی و تبدیل این دو تابع به یک تابع نهایی استفاده شده است. رابطه ۱ نحوه این ترکیب خطی را نشان می‌دهد که وزن هزینه مالی ۱ و وزن تابع انحراف معیار β در نظر گرفته شده است.

$$Total\ Cost = Financial\ Cost + \beta \times STD \quad (1)$$

که در این رابطه، Total Cost هزینه کل، Financial Cost هزینه مالی، β ضریب ایجاد تعادل و STD میزان انحراف معیار دما می‌باشد. به کمک آزمون و خطا، دانش کارشناسان و همچنین نسبتی که دو پارامتر هزینه و انحراف معیار با یکدیگر داشتند، مقدار $\beta = 10.000$ انتخاب شد. این مقدار برای اجرای الگوریتم برای ۱۰ درصد کل ساختمان‌ها تعیین، و با ایجاد تعادل مناسبی بین هزینه مالی و انحراف معیار، به نتایج خوبی ختم شد. انتخاب ضریب β مناسب جهت ایجاد تعادل بین این دو پارامتر، امری کاملاً ضروری است؛ چرا که مقدار کم آن باعث شد ارزش انحراف معیار پایین بیاید و الگوریتم بهینه‌سازی کاهش هزینه کل را از طریق کاهش هزینه مالی جبران نماید. همچنین، مقدار زیاد آن باعث بالارفتن ارزش انحراف معیار شد و در نتیجه، الگوریتم برای کاهش هزینه کل، متمایل به کاهش انحراف معیار شد. ولی تعیین یک مقدار β مناسب، باعث شد تا الگوریتم به صورت تقریباً هم‌زمان، هر دو پارامتر و در نتیجه هزینه کل را کاهش دهد.

برای عملگر انتخاب، از روش Tournament Selection استفاده شد. جهت استفاده از عملگرهای ترکیب و جهش، باید گفت که در این برنامه هر سه مدل ترکیب (تک‌نقطه‌ای، دونقطه‌ای و جامع) به صورت تصادفی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین در عملگر جهش نیز، مقدار μ که میزان تأثیرگذاری جهش بر روی ژن‌های یک کروموزوم می‌باشد، برابر ۰.۱ قرار داده شد. در ادامه این بخش، نتایج مربوط به پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله جزایر حرارتی نشان داده می‌شود. ولی قبل از آن، لازم است که تصویر جزیره حرارتی از منطقه مورد مطالعه به نمایش درآید تا توزیع گرما و ساختمان‌هایی که بیشترین تأثیر را در بالابردن دما در منطقه را دارند، مشخص شود. همان‌طور که در شکل ۵ قابل مشاهده است، در این منطقه مقادیر پایین جزایر حرارتی در میانه و مقادیر متوسط و بالای آن به ترتیب در سمت چپ و راست منطقه قرار دارد.

بعد از تنظیم میزان مقادیر تأثیرگذاری عملگرها و تعریف تابع هزینه، نتیجه مربوط به اجرای الگوریتم برای این مسئله در شکل ۶ ارائه شده است. در این شکل، بام‌هایی که باید پوشش آن‌ها به خاک تغییر کند، با نوار قرمز و بام‌هایی که باید پوشش آن‌ها به گیاه تغییر کند، با نوار سبز به نمایش درآمده‌اند. با توجه به ساختمان‌های انتخاب شده و نظر به

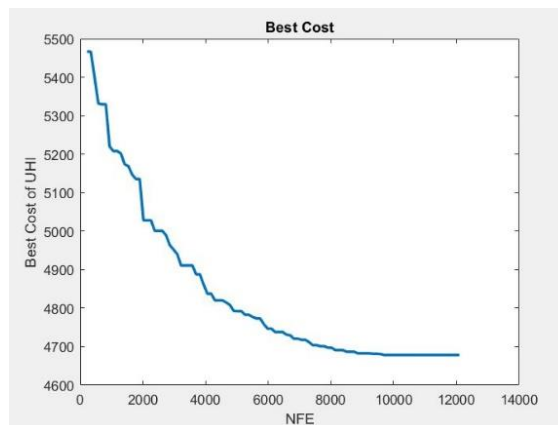
اجرای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

الگوریتم ازدحام ذرات نیز همانند الگوریتم ژنتیک از بخش اصلی و تابع هزینه تشکیل شده است. به دلیل این که صورت مسئله تغییر نکرده است، تابع هزینه ثابت می‌ماند. سه پارامتر اصلی W (وزن اینرسی (Inertia Weight))، C_1 (ضریب یادگیری شخصی (Cognition Learning Factor)) و C_2 (ضریب یادگیری اجتماعی (Social Learning Factor)) تعیین‌کننده نحوه حرکات ذرات در این الگوریتم می‌باشند. لذا انتخاب درست آن‌ها در روند اجرا برنامه و خروجی بسیار تأثیرگذار خواهد بود. این امر، کاملاً به مسئله و تابع هزینه‌ای که الگوریتم بر روی آن اجرا می‌شود، بستگی دارد و تاکنون هیچ مقدار ثابتی برای این پارامترها پیدا نشده است. با این حال، روش‌های زیادی در این خصوص به کار گرفته شده است که این روش‌ها، باعث انتخاب هرچه بهتر و بهینه‌تر این پارامترها شده‌اند. در این مطالعه از روش‌هایی همچون بهینه‌سازی ازدحام ذرات بهبودیافته (Enhanced Particle Swarm Optimization (EPSO)) و بهینه‌سازی ازدحام ذرات حلقوی (Vortex Particle Swarm Optimization (VPSO)) استفاده شده است که با ایجاد جهش تصادفی در ذرات و تغییر ماکزیم سرعت آن‌ها، باعث می‌شود ذرات در بهینه‌های محلی گیر نکنند و الگوریتم به جواب‌های بهتری برسد. جدول ۷ مقادیر تعیین شده برای پارامترها و عمل‌گرهای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات را نشان می‌دهند.

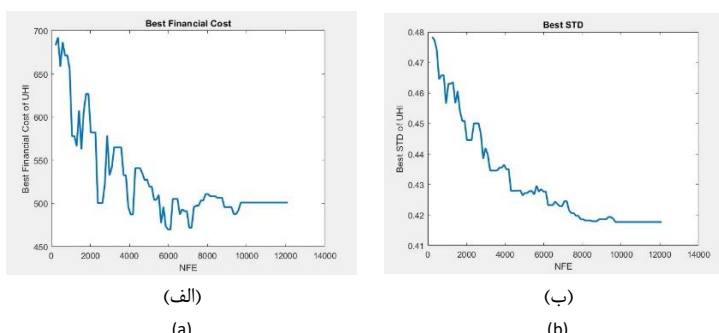
جدول ۷: مقادیر مربوط به پارامترها و عملگرهای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات
Table 7: Values related to parameters and particle swarm optimization algorithm operators

مقادیر / Values	پارامترها / Parameters
100	Repeat round / دور تکرار
100	Population size / اندازه جمعیت
0.2 0.8 ←	Inertia weight / (W) وزن اینرسی
1 2 ←	Personal learning factor (C ₁) ضریب یادگیری شخصی
2 1 ←	Social learning factor (C ₂) ضریب یادگیری اجتماعی
0.1 0.1×e ←	Maximum velocity (V _{max}) حداکثر سرعت

مشاهده است. البته از آنجایی که تعداد دور تکرار عامل تعیین‌کننده‌ای نمی‌تواند باشد، استفاده از آن در قسمت نتایج، مخصوصاً هنگام مقایسه الگوریتم‌های مختلف برای حل یک مسئله مشخص خیلی مناسب نیست. به عنوان مثال، اگر دو الگوریتم دارای تعداد دور یکسانی باشند ولی الگوریتم اول دارای جمعیت بیشتری نسبت به الگوریتم دوم باشد، می‌توان انتظار داشت که در شرایط عادی الگوریتم اول نتایج بهتری تولید کند ولی این تفاوت جمعیت ممکن است در قسمت نتایج نشان داده نشود. به همین خاطر، بهتر است از همان دیگری به نام تعداد توابع هدف ارزیابی‌شده (Number of Function Evaluation) در طول فرآیند بهینه‌سازی استفاده شود. تعداد توابع هدف ارزیابی‌شده برای الگوریتم ژنتیک برابر با اندازه جمعیت به علاوه اندازه کروموزوم‌های تولیدی مربوط به عملگرهای جهش و ترکیب در هر دور تکرار می‌باشد. یعنی در این برنامه، به اندازه کل جمعیت و همچنین جمعیت به وجود آمده از عملگرهای ترکیب و جهش در هر دور تکرار، اندازه تعداد توابع هدف ارزیابی‌شده در پایان برنامه و بعد از صد دور تکرار، به عدد ۱۲۱۰۰ رسید. نمودار تغییرات هزینه کل برحسب تعداد توابع هدف ارزیابی‌شده الگوریتم ژنتیک در شکل ۷ نشان داده شده است. همچنین نمودارهای مربوط به تغییرات هزینه مالی و انحراف معیار در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۷: نمودار تغییرات هزینه کل الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک
Fig. 7: Diagram of total cost changes in genetic optimization algorithm



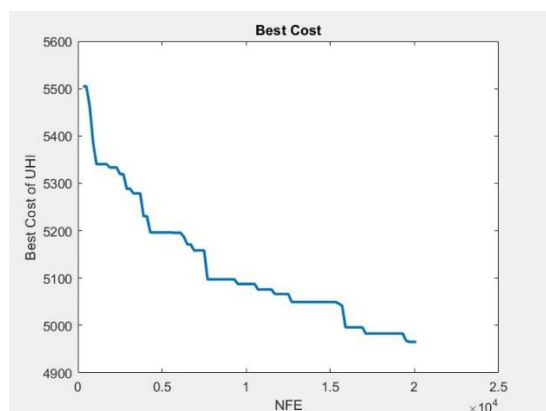
شکل ۸: نمودار تغییرات (الف) هزینه مالی و (ب) انحراف معیار حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک.

Fig. 8: Diagram of changes (a) financial cost and (b) standard deviation resulting from genetic optimization algorithm.

توابع هدف ارزیابی شده تأثیر می‌گذارد. در ابتدای برنامه برای ارزیابی ذرات، هر یک از آن‌ها وارد این تابع می‌شوند و در طول فرآیند تکرار نیز این عمل بارها تکرار می‌شود. در نتیجه، در این برنامه ۱۰۰ ذره در ابتدا ارزیابی شده، و در هر دور تکرار دوباره ۱۰۰ ذره وارد این مرحله می‌شوند. البته در این برنامه به دلیل استفاده از جهش برای بالابردن خاصیت اکتشاف ذرات، ۱۰۰ ذره جهش‌یافته نیز ارزیابی می‌شوند، لذا در پایان صد دور تکرار، تعداد توابع هدف ارزیابی شده بر مبنای الگوریتم ازدحام ذرات به مقدار ۲۰۱۰۰ رسید. نمودار مربوط به روند تغییرات هزینه کل در شکل ۱۰، و نمودارهای مربوط به هزینه مالی و انحراف معیار بر اساس تعداد توابع هدف ارزیابی شده در شکل ۱۱ نشان داده شده‌اند.

جدول ۸: نتایج آماری تأثیر اجرای الگوریتم ازدحام ذرات بر روی پارامترهای مسأله
Table 8: Statistical results of the particle swarm algorithm implementation effect on the problem parameters

میزان بهبود (کاهش) Rate of improvement (decrease)	بعد از اجرای الگوریتم After implementing the algorithm	قبل از اجرای الگوریتم Before implementing the algorithm	پارامترها Parameters
-	4965	-	هزینه کل Total cost
-	535	-	هزینه مالی Financial cost
13.9%	0.4430	0.5147	انحراف معیار دما Standard deviation of temperature

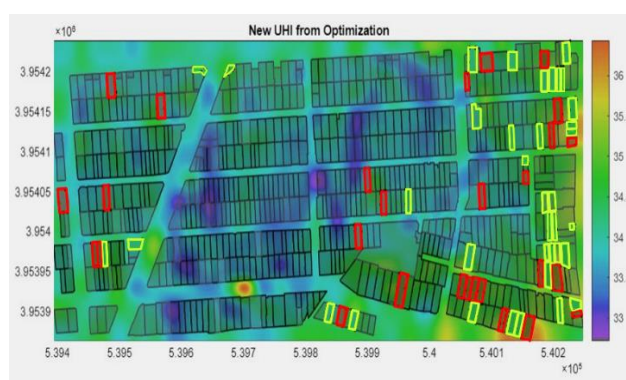


شکل ۱۰: نمودار تغییرات هزینه کل الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات
Fig. 10: Diagram of total cost changes in particle swarm optimization algorithm

اجرای الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای درصدهای مختلف

در اجرای الگوریتم‌ها جهت بهینه‌سازی پوشش سقف ساختمان‌ها، برنامه بر روی ۱۰٪ از کل ساختمان‌ها اعمال می‌شود. در این بخش هدف بر آن است که تغییرات را برای درصدهای بالاتر و پایین‌تر ساختمان‌های منطقه بررسی کنیم. لذا تمام پارامترها و شرایط ثابت نگه داشته شده‌اند و تنها درصد انتخاب ساختمان‌ها تغییر می‌کنند.

تمام تغییرات نشان داده شده با فلش، شامل کاهش وزن اینرسی، کاهش ضریب یادگیری شخصی و کاهش حداکثر سرعت و در مقابل افزایش ضریب یادگیری اجتماعی، به معنای آن هستند که الگوریتم در ابتدا بیشتر تمرکز خود را بر روی اکتشاف (Exploration) خواهد گذاشت و اجازه می‌دهد ذرات آزادانه به جستجوی وسیع خود در محیط جواب‌ها ادامه دهند. همین‌طور که الگوریتم وارد تکرارهای بعدی می‌شود، پارامترهای ذکر شده با نرخ ثابتی شروع به تغییر می‌کنند تا ذرات از اکتشاف خود بکاهدند و به استخراج (Exploitation) روی بیاورند. این امر باعث می‌شود تا در ابتدا اکثر جواب‌ها در نظر گرفته شوند و در انتها، ذرات به سمت هم‌گرا شدن روی آورند. بعد از انتخاب مقادیر تأثیرگذاری عملگرها و تعریف تابع هزینه، نتیجه مربوط به اجرای الگوریتم برای این مسأله در شکل ۹ ارائه شده است.

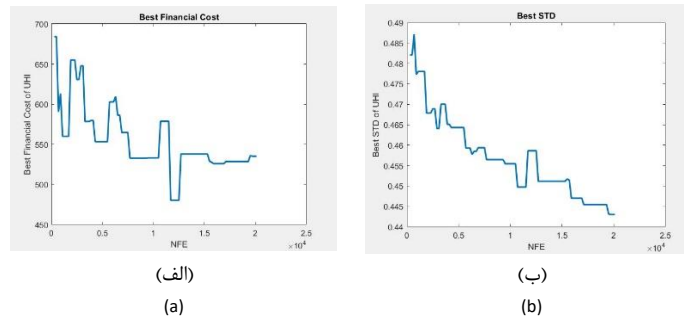


شکل ۹: نتیجه بصری الگوریتم ازدحام ذرات در تعیین پوشش‌های مناسب برای بام‌های منطقه

Fig. 9: The visual result of the particle swarm algorithm in determining the suitable coatings for the region roofs

در این شکل، بام‌هایی که باید پوشش آن‌ها به خاک تغییر کند، با نوار قرمز و بام‌هایی که باید پوشش آن‌ها به گیاه تغییر کند، با نوار سبز به نمایش درآمده‌اند. با توجه به ساختمان‌های انتخاب شده و نظر به این‌که اکثر این ساختمان‌ها در همان نواحی با مقادیر بالای جزیره حرارتی قرار دارند، می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات برای حل این مسأله، خوب بوده است. در این فرآیند، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، ۳۱ پوشش خاک (۴۶٪) و ۳۶ پوشش گیاه (۵۴٪) برای ۶۷ قطعه ساختمان انتخابی در نظر گرفت. نتایج آماری الگوریتم و تغییراتی که در پارامترهای موردنظر ایجاد کرده است در جدول ۸ قابل مشاهده می‌باشد.

در این‌جا نیز در تجزیه و تحلیل نتایج به‌جای تعداد دور تکرار، از تعداد توابع هدف ارزیابی شده در طول فرآیند بهینه‌سازی استفاده شده است، منتها این مقدار برای هر الگوریتم متفاوت است. عملگرهای الگوریتم ازدحام ذرات، برخلاف عملگرهای ترکیب و جهش در الگوریتم ژنتیک، وارد تابع هزینه نمی‌شوند و در این‌جا تنها تعداد ذرات است که بر تعداد



شکل ۱۱: نمودار تغییرات (الف) هزینه‌ی مالی و (ب) انحراف معیار حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

Fig. 11: Diagram of changes (a) financial cost and (b) standard deviation resulting from particle swarm optimization algorithm

هزینه مالی، کمی تمایل بیشتری به انحراف معیار از خود نشان دهند؛ ولیکن مقدار این وزن باید طوری کنترل می‌شد که الگوریتم کلاً از کاهش هزینه مالی صرف‌نظر نکند.

جدول ۹: نتایج آماری تأثیر اجرای الگوریتم ژنتیک بر روی پارامترهای مسئله برای ۱۵٪ بام‌های منطقه

Table 9: Statistical results of the genetic algorithm implementation effect on the problem parameters for 15% of the region roofs

میزان بهبود (کاهش)	بعد از اجرای الگوریتم	قبل از اجرای الگوریتم	پارامترها
Rate of improvement (decrease)	After implementing the algorithm	Before implementing the algorithm	Parameters
-	4646	-	هزینه کل Total cost
-	573	-	هزینه مالی Financial cost
20.9%	0.4073	0.5147	انحراف معیار دما Standard deviation of temperature

جدول ۱۰: نتایج آماری تأثیر اجرای الگوریتم ازدحام ذرات بر روی پارامترهای مسئله برای ۱۵٪ بام‌های منطقه

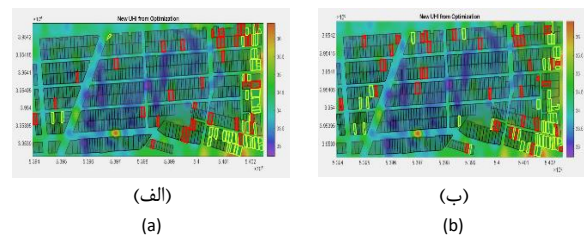
Table 10: Statistical results of the particle swarm algorithm implementation effect on the problem parameters for 15% of the region roofs

میزان بهبود (کاهش)	بعد از اجرای الگوریتم	قبل از اجرای الگوریتم	پارامترها
Rate of improvement (decrease)	After implementing the algorithm	Before implementing the algorithm	Parameters
-	4703	-	هزینه کل Total cost
-	564	-	هزینه مالی Financial cost
19.6%	0.4139	0.5147	انحراف معیار دما Standard deviation of temperature

با افزایش تعداد ساختمان‌های انتخابی برای تغییر پوشش سقف‌ها، این تمایل به انحراف معیار، کمی بیشتر خودش را نشان داده است. مطابق شکل ۱۲- (الف)، الگوریتم ژنتیک در انتخاب پوشش گیاهی به‌عنوان پوشش بهینه بام‌ها نسبت به حالتی که برنامه روی ۱۰٪ ساختمان‌ها تنظیم بود، ۲٪ بیشتر انتخاب کرده است و همین امر، باعث شده تا

عملکرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات برای درصد‌های بالاتر ساختمان‌ها

در این بخش، بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات بر روی ۱۵٪ از کل سقف ساختمان‌ها اعمال می‌شود. نتیجه حاصل از جزیره حرارتی دو الگوریتم در شکل ۱۲ قابل مشاهده است.



شکل ۱۲: نتایج جزیره حرارتی الگوریتم‌های (الف) ژنتیک و (ب) ازدحام ذرات جهت تعیین پوشش‌های مناسب برای ۱۵٪ بام‌های منطقه

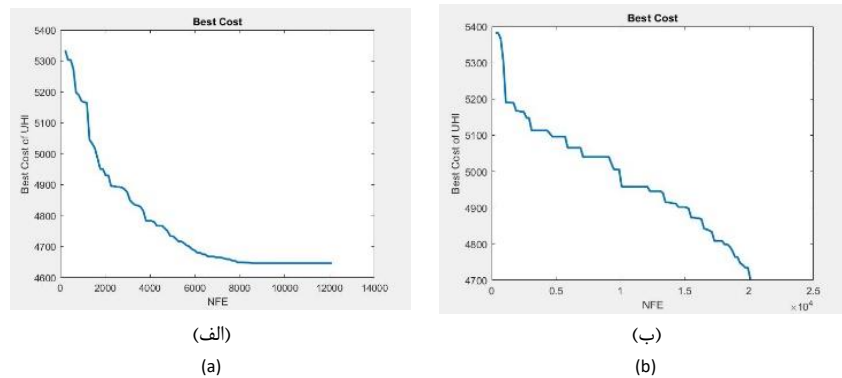
Fig. 12: Heat island results of (a) genetic and (b) particle swarm algorithms to determine suitable coatings for 15% the region roofs

در این فرآیند، الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک؛ ۴۶ پوشش خاک (۴۶٪) و ۵۵ پوشش گیاه (۵۴٪) برای ۱۰۱ قطعه ساختمانی پیش‌بینی کرد در حالی که الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات؛ ۴۳ پوشش خاک (۴۳٪) و ۵۸ پوشش گیاه (۵۷٪) برای ۱۰۱ قطعه ساختمانی پیش‌بینی کرد. نتایج آماری و تغییراتی که در پارامترهای مورد نظر توسط الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات ایجاد شده‌اند، به‌ترتیب در جداول ۹ و ۱۰ قابل مشاهده می‌باشد.

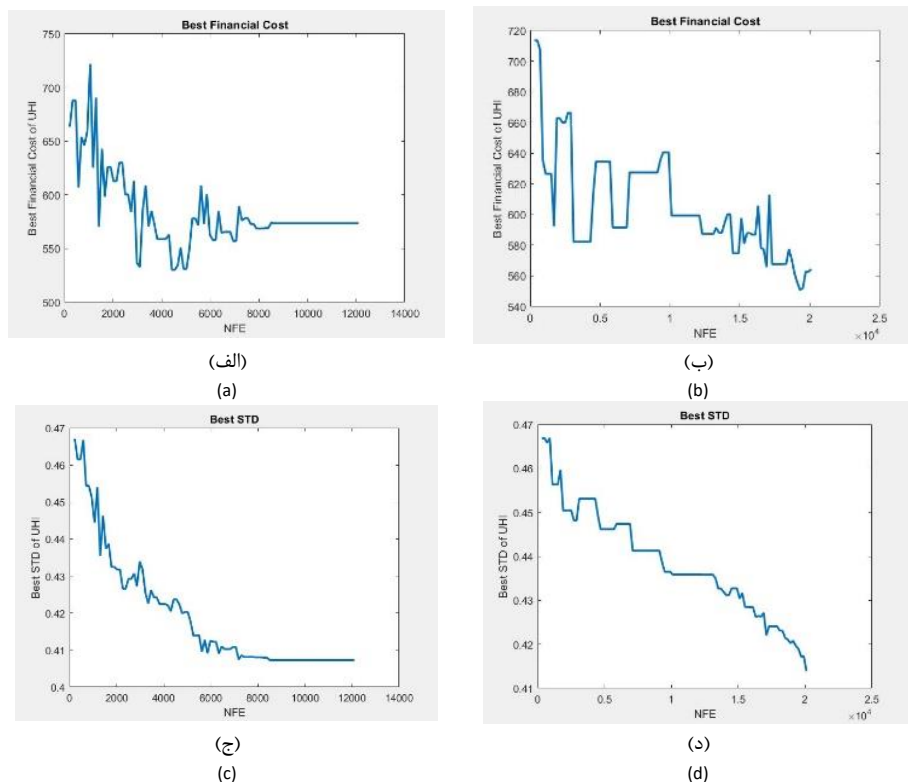
براساس نتایج به‌دست آمده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات برای تعیین بهینه پوشش ۱۵ درصد از بام‌های منطقه مورد مطالعه می‌توان گفت معیار β که در محاسبه هزینه کل به‌عنوان یک ضریب برای انحراف معیار و همچنین ایجاد تعادل بین هزینه مالی و انحراف معیار است، وزن هزینه کل را در هر دو الگوریتم بهینه‌سازی به‌سمت انحراف معیار سوق داده است. دلیل این امر را می‌توان هدف کلی مطالعه از انجام این پروژه، یعنی کاهش انحراف معیار دما در منطقه دانست و بحث کاهش هزینه مالی به نوعی هدف ثانویه در این مطالعه بود، لذا اختصاص دادن وزن نسبتاً بالاتری به انحراف معیار، باعث شد تا الگوریتم‌ها در انتخاب‌های تقریباً مساوی بین دو پارامتر انحراف معیار و

این، در حالی است که هزینه کل به خاطر بهبود بالای انحراف معیار، نتیجه خوبی داشته است. نمودار مربوط به روند تغییرات هزینه کل الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات در شکل ۱۳ به نمایش درآمده است. همچنین در شکل ۱۴ نمودارهای مربوط به هزینه مالی و انحراف معیار دو الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات بر اساس تعداد توابع هدف ارزیابی شده در طول فرآیند بهینه‌سازی نشان داده شده‌اند.

میزان بهبود انحراف معیار خیلی بیشتر از بهبود هزینه مالی گردد. البته این موضوع یکی از دلایل بالا رفتن هزینه مالی نسبت به حالت قبل است. دلیل دیگر آن، این است که تعداد ساختمان‌هایی که باید انتخاب شوند بیشتر شده، و در نتیجه ساختمان‌هایی که با مساحت کم می‌توانستند تغییر خوبی در بهبود انحراف معیار ایجاد کنند، درگیر شده‌اند و الگوریتم باید به‌ناچار سراغ ساختمان‌هایی با مساحت‌های بزرگ‌تر برود. این امر باعث شد تا میانگین هزینه مالی نتواند کاهش محسوسی داشته باشد.



شکل ۱۳: نمودار تغییرات هزینه کل الگوریتم‌های (الف) ژنتیک و (ب) ازدحام ذرات برای ۱۵٪ بام‌های منطقه
Fig. 13: Total cost changes diagram of (a) genetic and (b) particle swarm algorithms for 15% of the region roofs



شکل ۱۴: نمودار تغییرات هزینه مالی الگوریتم‌های (الف) ژنتیک و (ب) ازدحام ذرات برای ۱۵٪ بام‌های منطقه. نمودار انحراف معیار الگوریتم‌های (ج) ژنتیک و (د) ازدحام ذرات برای ۱۵٪ بام‌های منطقه
Fig. 14: Financial cost changes diagram of (a) genetic and (b) particle swarm algorithms for 15% of the region roofs. Standard deviation diagram of (c) genetic and (d) particle swarm algorithms for 15% of the region roofs

حالت ۵٪ کاملاً برعکس شد که در اشکال و جداول نیز قابل مشاهده می‌باشد. اتفاقی که رخ داده، این است که الگوریتم با توجه به تعداد ساختمان‌های که در اختیار داشته، به این نتیجه رسیده است که با تمرکز بر کاهش انحراف معیار، نمی‌تواند مقدار هزینه کل را بهبود ببخشد و بهتر است تا بیشتر ساختمان‌ها را بر اساس کاهش هزینه تعیین نماید. این امر باعث شده تا بر خلاف انحراف معیار، هزینه مالی بهبود زیادی داشته باشد.

جدول ۱۲: نتایج آماری تأثیر اجرای الگوریتم ازدحام ذرات بر روی پارامترهای مسئله برای ۵٪ بام‌های منطقه

Table 12: Statistical results of the particle swarm algorithm implementation effect on the problem parameters for 5% of the region roofs

میزان بهبود (کاهش) Rate of improvement (decrease)	بعد از اجرای الگوریتم After implementing the algorithm	قبل از اجرای الگوریتم Before implementing the algorithm	پارامترها Parameters
-	5167	-	هزینه کل Total cost
-	372	-	هزینه مالی Financial cost
6.8%	0.4795	0.5147	انحراف معیار دما Standard deviation of temperature

نمودار مربوط به روند تغییرات هزینه کل الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات در شکل ۱۶ به نمایش درآمده است. همچنین نمودارهای مربوط به هزینه مالی و انحراف معیار دو الگوریتم بهینه‌سازی بر اساس تعداد توابع هدف ارزیابی شده در طول فرآیند بهینه‌سازی در شکل ۱۷ نشان داده شده‌اند.

عملکرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات برای درصد‌های پایین‌تر ساختمان‌ها

در این بخش، بهینه‌سازی پوشش بام‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات بر روی ۵٪ از کل ساختمان‌ها اعمال می‌شود. نتیجه حاصل از جزیره حرارتی دو الگوریتم بهینه‌سازی در شکل ۱۵ قابل مشاهده است.

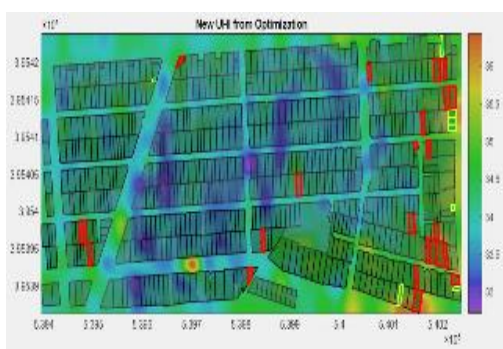
در این فرآیند، الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک؛ ۲۶ پوشش خاک (۷۶٪) و ۸ پوشش گیاه (۲۴٪) برای ۳۴ ساختمان انتخابی، و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات؛ ۲۱ پوشش خاک (۶۲٪) و ۱۳ پوشش گیاه (۳۸٪) برای ۳۴ ساختمان انتخابی پیش‌بینی کرد. نتایج آماری و تغییراتی که در پارامترهای مورد نظر توسط الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات ایجاد شده‌اند، به ترتیب در جداول ۱۱ و ۱۲ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱۱: نتایج آماری تأثیر اجرای الگوریتم ژنتیک بر روی پارامترهای مسئله برای ۵٪ بام‌های منطقه

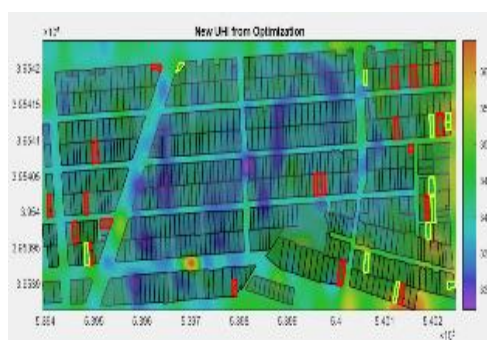
Table 11: Statistical results of the genetic algorithm implementation effect on the problem parameters for 5% of the region roofs

میزان بهبود (کاهش) Rate of improvement (decrease)	بعد از اجرای الگوریتم After implementing the algorithm	قبل از اجرای الگوریتم Before implementing the algorithm	پارامترها Parameters
-	4950	-	هزینه کل Total cost
-	269	-	هزینه مالی Financial cost
9%	0.4682	0.5147	انحراف معیار دما Standard deviation of temperature

همان‌طور که در حالت ۱۵٪ از بام‌ها و با افزایش تعداد ساختمان‌ها الگوریتم‌ها به سمت پوشش گیاهی متمایل شدند، این موضوع در مورد

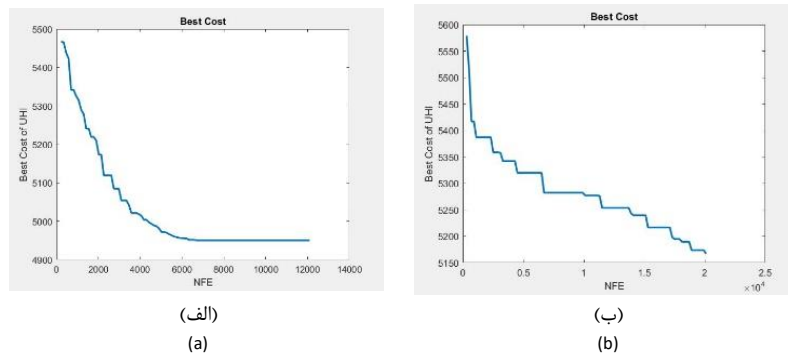


(الف)
(a)

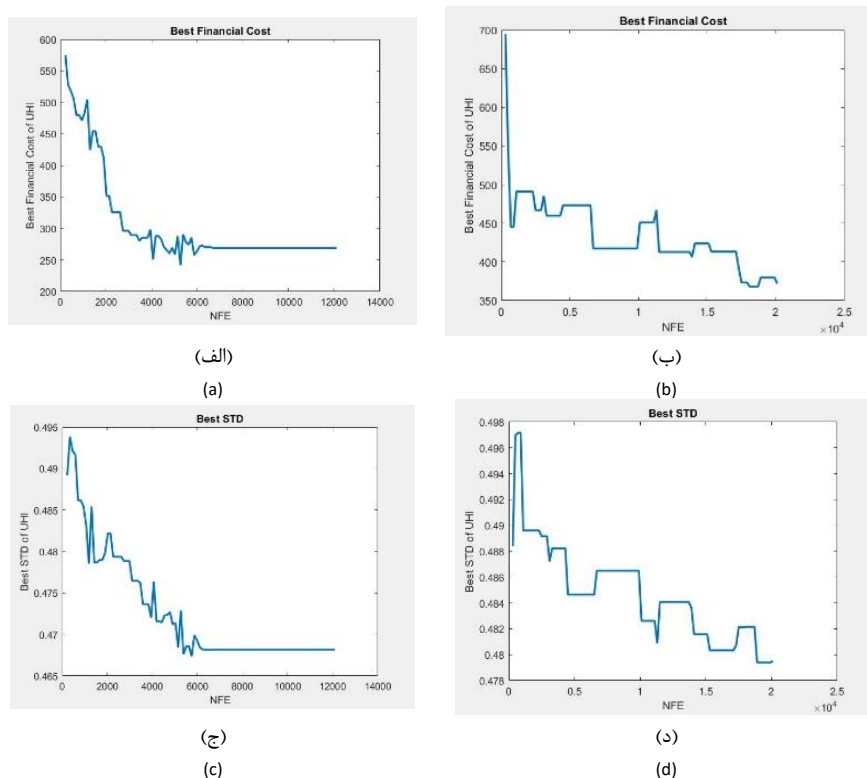


(ب)
(b)

شکل ۱۵: نتایج جزیره حرارتی الگوریتم‌های (الف) ژنتیک و (ب) ازدحام ذرات جهت تعیین پوشش‌های مناسب برای ۵٪ بام‌های منطقه
Fig. 15: Heat island results of (a) genetic and (b) particle swarm algorithms to determine suitable coatings for 5% of the region roofs



شکل ۱۶: نمودار تغییرات هزینه کل الگوریتم‌های (الف) ژنتیک و (ب) ازدحام ذرات برای ۵٪ بام‌های منطقه
 Fig. 16: Total cost changes diagram of (a) genetic and (b) particle swarm algorithms for 5% of the region roofs



شکل ۱۷: نمودار تغییرات هزینه مالی الگوریتم‌های (الف) ژنتیک و (ب) ازدحام ذرات برای ۵٪ بام‌های منطقه. نمودار انحراف معیار الگوریتم‌های (ج) ژنتیک و (د) ازدحام ذرات برای ۵٪ بام‌های منطقه
 Fig. 17: Financial cost changes diagram of (a) genetic and (b) particle swarm algorithms for 5% of the region roofs. Standard deviation diagram of (c) genetics and (d) particle swarm algorithms for 5% of the region roofs

خنک‌سازی دمای منطقه شهری مورد مطالعه، روش جایگزینی پوشش بام‌های منطقه با دو پوشش خاک و گیاه اتخاذ گردید. مجموعه داده پژوهش، تصاویر ماهواره لندست ۸ از منطقه اندیشه شهر تهران بود، که از آن برای اهدافی همچون تهیه تصاویر رنگی (True/False Color)، استخراج شاخص‌های غیرگیاهی (UI، NDBal، BI، EBBI، JBI، NDBI)، استخراج شاخص‌های گیاهی (SAVI، EVI، NDVI، NDWI 1، NDWI 2 و MNDWI) و تبدیل تسلدکپ (Wetness و Greenness، Brightness) استفاده شد. تولید نقشه دمای سطح زمین (LST) و جزایر حرارتی شهری (UHI) با استفاده از شاخص‌های گیاهی و غیرگیاهی و همچنین روش رگرسیون خطی، امکان‌پذیر شد.

بحث و نتیجه‌گیری

در زمینه تأثیر جزایر حرارتی در محیط شهری می‌توان بیان کرد که استفاده از راه‌کارهای امروزی و مؤثر برای کاهش این پدیده امری ضروری است. هدف از این پژوهش، خنک‌سازی فضای شهری با استفاده از علم سنجش از دور و الگوریتم‌های فراابتکاری بهینه‌سازی بود. این امر با استفاده از جایگزینی و تغییر پوشش بام‌های منطقه مورد مطالعه، و همچنین با کمک الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات انجام پذیرفت. پارامترهای تابع هدف این دو الگوریتم ترکیبی از دو پارامتر مهم، یعنی انحراف معیار دما و هزینه مالی (میانگین هزینه هر قطعه ساختمانی) حاصل از تغییر پوشش استفاده گردید. برای تعدیل و

این مدل‌سازی می‌توان در محیط‌های شهری دارای تراکم بالا، آثار پدیده جزایر حرارتی را کاهش داد. همچنین برخی دیگر از محققان گزارش دادند که کاهش اثر این پدیده در شعاع ۱۰۰ الی ۱۵۰ متر از ساختمان‌ها با پوشش گیاهی سبز محسوس‌تر می‌باشد که با توجه به نقشه‌های ارائه شده و مقیاس آن‌ها، این تأثیر مشخص است [۲۰].

در پایان می‌توان نتیجه گرفت که در حل مسائل بهینه‌سازی که امروزه به دفعات با آن‌ها برخورد می‌شود، استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری همچون الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات، می‌تواند بسیار کاربردی باشند. نتیجه این الگوریتم‌ها با وجود اختلافاتی که در خروجی‌هایشان دیده می‌شود، بسیار خوب بوده و رسیدن به چنین جواب‌هایی بدون استفاده از این گونه الگوریتم‌ها، غیرممکن خواهد بود.

به عنوان کارهای آتی، پیشنهاداتی مطرح می‌شوند به‌طور مثال استفاده از پوشش‌های دیگر مانند آب. در واقع، با ایجاد استخر در بام ساختمان‌ها می‌توان تأثیر بسزایی روی جزایر حرارتی شهری داشت. همچنین مقدار دقیق تأثیر هر یک از پوشش‌ها روی جزایر حرارتی را می‌توان با مدل‌های یادگیری دیگری همچون شبکه‌های عصبی مصنوعی بررسی و برآورد نمود. البته می‌توان به منظور دستیابی به نتایج بهتر، از تصاویر سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالاتری استفاده نمود.

مشارکت نویسندگان

سهام مشارکت نویسندگان در این مقاله به نسبت برابر بوده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمامی افرادی که در جمع‌آوری داده و تحلیل اطلاعات یاری رساندند، تقدیر و تشکر می‌نمایند.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مآخذ

- [1] Huang B, Ni GH, Grimmond CS. Impacts of urban expansion on relatively smaller surrounding cities during heat waves. *Atmosphere*. 2019 Jul 1;10(7):364. <https://doi.org/10.3390/atmos10070364>
- [2] Ren Y, Laforteza R, Giannico V, Sanesi G, Zhang X, Xu C. The unrelenting global expansion of the urban heat island over the last century. *Science of The Total Environment*. 2023 Jul 1; 880:163276. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163276>
- [3] Mostofi N, Motieyan H. Determining the Optimal Roof Covering of Buildings in Order to Control Urban Heat Islands Using Genetic Algorithm and Spatial Analysis. *Journal of Environmental Studies*. 2022 Jul 21;46(4):645-62. [In Persian] DOI: 10.22059/jes.2021.323922.1008177

الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی پوشش سقف ساختمان‌ها، نتایج بسیار خوبی را به همراه داشت (هزینه کل ۴۶۷۸ و انحراف معیار ۰/۴۱۷۷ در تعداد ۱۲۱۰۰ ارزیابی تابع هدف) و توانست هر دو پارامتر تابع هزینه را تا مقدار زیادی کاهش دهد (الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک تا حد ممکن به بهترین جواب رسید). الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات نیز با کسب هزینه کل ۴۹۶۵ و انحراف معیار ۰/۴۴۳۰ در تعداد ۲۰۱۰۰ ارزیابی تابع هدف نتوانست جوابی به‌خوبی الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک پیدا کند. در خصوص مقایسه بین این دو الگوریتم، ژنتیک به جواب بهینه‌تر در تعداد پایین‌تری از ارزیابی تابع هدف رسید؛ این در حالی است که کم‌تر از ۳۰۰۰ بار ارزیابی تابع هدف طول کشید تا ژنتیک بهینه‌ترین جوابی که ازدحام ذرات در ۲۰۱۰۰ بار ارزیابی به آن رسیده بود، تجربه کند. این امر خاصیت هم‌گرایی سریع‌تر و بهتر ژنتیک را در این مسئله نشان داد. عملکرد ضعیف‌تر ازدحام ذرات دو دلیل می‌تواند داشته باشد: یکی این که شرایط و جواب‌های مسئله به‌گونه‌ای بوده که این الگوریتم سخت‌تر توانسته به جواب بهینه برسد، و دومی این که پیچ‌های تنظیم الگوریتم (C_2, C_1, W) بهترین مقادیری که باید دارا می‌بودند را نداشتند.

در بخشی از تحقیق به‌منظور ایجاد چالش جدید، الگوریتم‌ها را با حفظ تمامی شرایط و پارامترهای پیشین، با درصد انتخاب‌های پوشش بام مختلف اجرا کردیم. برای درصد بالاتر، به‌دلیل این که تابع هزینه طوری طراحی شده بود که تمایل بیشتری به کاهش انحراف معیار (نسبت به کاهش هزینه مالی) داشته باشد، این تأثیر کمی بیشتر خود را نشان داد و باعث شد که الگوریتم‌ها، پوشش‌های گیاهی بیشتری را برای منطقه انتخاب کنند. این امر همچنین سبب کاهش کم‌تر هزینه مالی گردید. البته دلیل دیگر آن، این است که هرچه تعداد ساختمان‌های انتخابی بیشتر شود، پیدا کردن ساختمانی که هم‌زمان مساحت کوچکی داشته باشد و در عین حال تأثیر خوبی بر انحراف معیار داشته باشد، سخت‌تر می‌شود. برای درصد پایین‌تر انتخاب پوشش بام‌ها، تأثیر تابع هزینه برعکس شد و الگوریتم‌ها بیشتر تمایل به کاهش هزینه مالی شدند. در این حالت الگوریتم‌های بهینه‌سازی توانستند با کاهش بیشتر هزینه مالی، هزینه کل را بیشتر بهبود ببخشند. لذا بیشتر تمرکز خود را روی همین زمینه گذاشتند؛ ولی از کاهش انحراف معیار به‌طور کل چشم‌پوشی نکردند. با این حال، تأثیر تمایل تابع هزینه به کاهش انحراف معیار، بسیار کم بود و الگوریتم‌های بهینه‌سازی عملکردی مشابه با همان حالت عادی مسئله از خود نشان دادند و جواب‌هایی که در این دو چالش ایجاد کردند، هنوز هم قابل قبول بود. با بررسی نتایج حاصل از این تحقیق، مشخص می‌گردد که نتایج حاصل، با نتایج مطالعات قبلی مرتبط در راستای کاهش جزایر حرارت سطح با استفاده از بام سبز مطابقت دارد. برخی از محققان گزارش نموده‌اند که وجود بام‌های سبز درجه حرارت محیط را به‌طور متوسط در محدوده ۰/۳ تا ۳ درجه در مقیاس شهر کاهش می‌دهد [۱۰، ۳۱]. که نتایج حاصل حاصل از مدل ارائه شده، درجه حرارت سطح منطقه مورد مطالعه را با استفاده از پوشش بام سبز حدود ۱ درجه سانتیگراد کاهش داد. بنابراین به کمک

<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101052>

[14] Ahmadi M, Dadashi A. *The Identification of Urban Thermal Islands based on an Environmental Approach, Case Study: Isfahan Province. Geography and Environmental Planning*. 2017 Nov 22;28(3):1-20. [In Persian]
doi: 10.22108/gep.2017.98318.0

[15] Kolokotsa D, Lilli K, Gobakis K, Mavrigiannaki A, Haddad S, Garshasbi S, Mohajer HR, Paolini R, Vasilakopoulou K, Bartesaghi C, Prasad D. Analyzing the impact of urban planning and building typologies in urban heat island mitigation. *Buildings*. 2022 Apr 23;12(5):537.
<https://doi.org/10.3390/buildings12050537>

[16] Rahman MN, Rony MR, Jannat FA, Chandra Pal S, Islam MS, Alam E, Islam AR. Impact of urbanization on urban heat island intensity in major districts of Bangladesh using remote sensing and geo-spatial tools. *Climate*. 2022 Jan 4;10(1):3.
<https://doi.org/10.3390/cli10010003>

[17] Moazzam MF, Doh YH, Lee BG. Impact of urbanization on land surface temperature and surface urban heat Island using optical remote sensing data: A case study of Jeju Island, Republic of Korea. *Building and Environment*. 2022 Aug 15; 222:109368. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109368>

[18] Piracha A, Chaudhary MT. Urban air pollution, urban heat island and human health: a review of the literature. *Sustainability*. 2022 Jul 28;14(15):9234.
<https://doi.org/10.3390/su14159234>

[19] van der Schriek T, Varotsos KV, Giannakopoulos C, Founda D. Projected future temporal trends of two different urban heat islands in Athens (Greece) under three climate change scenarios: a statistical approach. *Atmosphere*. 2020 Jun 16;11(6):637. <https://doi.org/10.3390/atmos11060637>

[20] Dong J, Lin M, Zuo J, Lin T, Liu J, Sun C, Luo J. Quantitative study on the cooling effect of green roofs in a high-density urban Area—A case study of Xiamen, China. *Journal of cleaner production*. 2020 May 10; 255:120152.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120152>

[21] Shi H, Xian G, Auch R, Gallo K, Zhou Q. Urban heat island and its regional impacts using remotely sensed thermal data—a review of recent developments and methodology. *Land*. 2021 Aug 18;10(8):867. <https://doi.org/10.3390/land10080867>

[22] Mostofi N, Hasanlou M. Feature selection of various land cover indices for monitoring surface heat island in Tehran city using Landsat 8 imagery. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2017 Jul 3;25(3):241-50.
<https://doi.org/10.3846/16486897.2016.1223084>

[23] Henn KA, Peduzzi A. Surface Heat Monitoring with High-Resolution UAV Thermal Imaging: Assessing Accuracy and Applications in Urban Environments. *Remote Sensing*. 2024 Mar 6;16(5):930. <https://doi.org/10.3390/rs16050930>

[4] Almeida CR, Teodoro AC, Gonçalves A. Study of the urban heat island (UHI) using remote sensing data/techniques: A systematic review. *Environments*. 2021 Oct 9;8(10):105.
<https://doi.org/10.3390/environments8100105>

[5] Chatterjee U, Majumdar S. Impact of land use change and rapid urbanization on urban heat island in Kolkata city: A remote sensing-based perspective. *Journal of urban Management*. 2022 Mar 1;11(1):59-71.
<https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.09.002>

[6] El-Hattab M, Amany SM, Lamia GE. Monitoring and assessment of urban heat islands over the Southern region of Cairo Governorate, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2018 Dec 1;21(3):311-23.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.08.008>

[7] Atasoy M. Assessing the impacts of land-use/land-cover change on the development of urban heat island effects. *Environment, Development and Sustainability*. 2020 Dec;22(8):7547-57.
<https://doi.org/10.1007/s10668-019-00535-w>

[8] Sarif MO, Rimal B, Stork NE. Assessment of changes in land use/land cover and land surface temperatures and their impact on surface urban heat island phenomena in the Kathmandu Valley (1988–2018). *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020 Dec 6;9(12):726.
<https://doi.org/10.3390/ijgi9120726>

[9] Shabani M, Darvishan S, Solaimani K. Investigating the effects of land use change on spatiotemporal patterns of land surface temperature and thermal islands (Case study: Saqqez County). *Geography and Environmental Planning*. 2019 May 22;30(1):37-54. [In Persian]
doi: 10.22108/gep.2019.115781.1127

[10] Ahmed S. Assessment of urban heat islands and impact of climate change on socioeconomic over Suez Governorate using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2018 Apr 1;21(1):15-25.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.08.001>

[11] Gardes T, Schoetter R, Hidalgo J, Long N, Marquès E, Masson V. Statistical prediction of the nocturnal urban heat island intensity based on urban morphology and geographical factors—An investigation based on numerical model results for a large ensemble of French cities. *Science of The Total Environment*. 2020 Oct 1; 737:139253.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139253>

[12] Jin H, Cui P, Wong NH, Ignatius M. Assessing the effects of urban morphology parameters on microclimate in Singapore to control the urban heat island effect. *Sustainability*. 2018 Jan 16;10(1):206. <https://doi.org/10.3390/su10010206>

[13] Naikoo MW, Islam AR, Mallick J, Rahman A. Land use/land cover change and its impact on surface urban heat island and urban thermal comfort in a metropolitan city. *Urban Climate*. 2022 Jan 1; 41:101052.

پژوهشی اخیر و زمینه‌های تخصصی وی در حوزه سنجش از دور، الگوریتم‌های فراابتکاری و مدلسازی جزایر حرارتی شهری می‌باشد.

Ghandian, AR. Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University- South Tehran Branch, Tehran, Iran

✉ amirrezaghandian@yahoo.com



نیکروز مستوفی دارای مدرک دکتری تخصصی سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی از دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات می‌باشد. وی هم‌اکنون به عنوان استادیار گروه مهندسی نقشه برداری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب فعالیت دارد. فعالیت‌های پژوهشی اخیر و

زمینه‌های تخصصی وی در حوزه سنجش از دور، سیستم اطلاعات مکانی، فتوگرامتری برد کوتاه، مدلسازی جزایر حرارتی شهری و هوش محاسباتی می‌باشد.

Mostofi, N. Assistant Professor at the Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University- South Tehran Branch, Tehran, Iran

✉ n_mostofi@azad.ac.ir



عباس مجیدی‌زاده دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی نقشه‌برداری گرایش فتوگرامتری از دانشگاه سراسری تفرش (۱۴۰۱-۱۳۹۸) می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی اخیر و زمینه‌های تخصصی وی در حوزه هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، تحلیل و بهینه‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی،

قطعه‌بندی معنایی ویدئویی پهپاد بر مبنای هوش مصنوعی و کاربردهای یادگیری عمیق در پردازش داده‌های ویدئویی پهپاد، زمینی و سنجش از دوری می‌باشد.

Majidzadeh, A. Master of Photogrammetry, Department of Geodesy and Surveying Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran

✉ a.majidzadeh@tafreshu.ac.ir



حمید مطیعیان دانش آموخته مقطع دکتری تخصصی رشته مهندسی نقشه‌برداری گرایش سیستم اطلاعات مکانی از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد. وی هم‌اکنون به عنوان استادیار در گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی نوشیروانی

[24] Hou H, Su H, Yao C, Wang ZH. Spatiotemporal patterns of the impact of surface roughness and morphology on urban heat island. *Sustainable Cities and Society*. 2023 May 1; 92:104513. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104513>

[25] Zhou Y, Zhuang Z, Yang F, Yu Y, Xie X. Urban morphology on heat island and building energy consumption. *Procedia Engineering*. 2017 Jan 1; 205:2401-6. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.862>

[26] Li YY, Liu Y, Ranagalage M, Zhang H, Zhou R. Examining land use/land cover change and the summertime surface urban heat island effect in fast-growing Greater Hefei, China: Implications for sustainable land development. *ISPRS international journal of geo-information*. 2020 Sep 29;9(10):568. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100568>

[27] Karimi Zarchi A, Shahhoseini R. *Measuring the Intensity of the Surface Urban Heat Islands Using Vegetation and Urban Indices (Case Study: The Cities of Rasht and Langroud)*. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*. 2019 Aug 23;28(110):91-106. [In Persian] <https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.36614>

[28] Taheri Otaghsara MP, Arefi H. Modelling urban heat island using remote sensing and city morphological parameters. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019 Oct 19; 42:1035-40. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-1035-2019>

[29] Zhao J, Zhao X, Liang S, Zhou T, Du X, Xu P, Wu D. Assessing the thermal contributions of urban land cover types. *Landscape and Urban Planning*. 2020 Dec 1; 204:103927. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103927>

[30] Nasiri A, Zandi R, Khosravian M. Evaluating urban heat islands using the urban viability index (Case study: Karaj Metropolis). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2022 May;50(5):833-47. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01489-1>

[31] Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



امیررضا قندیان دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی نقشه‌برداری گرایش سنجش از دور از دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب می‌باشد. وی هم‌اکنون در شرکت دانش بنیان افق به عنوان کارشناس فعالیت دارد. فعالیت‌های

Motieyan, H. Assistant Professor at the Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

✉ h.motieyan@nit.ac.ir

بابل مشغول به خدمت می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی اخیر و زمینه‌های تخصصی وی در حوزه هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، تحلیل‌های مکانس، برنامه ریزی شهری و حمل و نقل می‌باشد.

Citation (Vancouver): Ghandian A, Mostofi N, Majidzadeh A, Motieyan H. [Evaluation of Metaheuristic Algorithms in Selecting the Building Optimal Cover Based on the Effect of Urban Heat Islands]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 25-44

 <https://doi.org/10.22061/jrsg.2024.10709.1056>



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/>)