



Journal of Environmental Studies

Vol. 46, No. 4, Winter 2021

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir
Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

Determining the Optimal Roof Covering of Buildings in Order to Control Urban Heat Islands Using Genetic Algorithm and Spatial Analysis

Document Type
Research Paper

Received
November 5, 2020

Accepted
February 8, 2021

Nikrouz Mostofi^{1*}, Hamid Motieyan²

1 Department of Geomatics, Faculty of Engineering, Islamic Azad University South branch of Tehran, Tehran, Iran.

2 Department of Geomatics, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

DOI: [10.22059/JES.2021.323922.1008177](https://doi.org/10.22059/JES.2021.323922.1008177)

Abstract

One of the most important factors on UHI value, which is attended deeply in developed countries, is the covering type of parcels' roof. However, due to the different effects of various covering types and also their distinct results in various locations, developing a spatial decision support system (SDSS) to select the optimal covering in the optimal location is inevitable, which has not been investigated before. Therefore, in this research, an SDSS has been developed including two main stages: 1) estimating land surface temperature of the study area and 2) selecting the optimal parcels to change their roof covering types with three predefine roof covering types. Then, in order to evaluate the results, new land surface temperature values and urban heat islands were recalculated. According to the proposed model, the standard deviation of the UHI values in the study area has decreased from 13.222 °C to 10.781 °C, which leads into an increment in the thermal uniformity in the region. Additionally, the results show that in order to control the thermal islands, it is necessary to use green roof areas around the region because this cover type has wider effects than other types. In other words, roofs with materials such as flagstones or high albedo materials have local effects in controlling the UHI values of the region.

Keywords: Genetic algorithm, Spatial analysis, Landsat 8 images, Urban Heat Islands, Linear regression model

* Corresponding author

Email: N_mostofi@azad.ac.ir

Extended abstract

Introduction

Migration to cities and urban development have led to the irregular growth of cities and the uncontrolled transformation of natural land cover into artificial and impenetrable cover. As a result, it has created numerous environmental consequences for cities, including the phenomenon of heat islands, as a result of which the temperature of urban areas has increased compared to the surrounding areas, causing changes in ambient temperature, air pollution and harmful effects such as greenhouse emissions. Therefore, measuring and controlling the effects of urban heat islands, based on scientific and justifiable principles, helps decision-makers to overcome the resulting problems. Today, one of the most effective ways to control the effects of heat islands in developed countries is to use less heat-absorbing coverings, such as green infrastructure, high-albedo materials and flagstone, to cover the roofs of buildings. Therefore, in this study, an optimal planning based on spatial analysis, using the remote sensing and computational intelligence in the form of a spatial decision support system that can determine the effects of changing the roof covering of buildings in the study area.

Materials and Methods

To survey the research, a neighborhood from a central region of Tehran, the 7th region, was chosen to develop a software package for green roof planning. The main reasons for choosing the neighborhood (i.e. Khaghani) are existing the various land uses and high level of density in the neighborhood. The total population and area of this neighborhood are about 10000 persons and 0.366 km², respectively. This neighborhood consists of 988 parcels with a variety of 15 land uses. It is expected that the UHI effect has a significant role in this neighborhood since the region that the neighborhood belongs to, is one of the central regions in Tehran. Moreover, for developing the software package, map of parcels with attributes related to the area and land use and Images of Landsat 8 over the neighborhood are employed:

In this research, a software is introduced for changing parcels' roofs intellectually to alleviate the UHI effect in the study area. To this end, the satellite data mentioned above are utilized and then some atmospheric and radiometric corrections are applied by the FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercube) method. These corrections endorse and enhance the validity of images' digital numbers, which contain data about bands of the satellite. Now, the images are ready to excavate for computing indices related to the UHI effect. Two main groups have a pivotal role in calculating these indices including vegetation and urban groups. When the indices are developed, the relationship between UHI and indices is investigated using the linear regression method (LRM) to obtain indices' coefficients. So, the UHI effect can be modeled through the values of indices and their coefficients. Afterward, the software package tries to find some parcels, which constitute a certain and predefined percentage of area, that have a significant impact on UHI's standard deviation by changing their roofs' covers into three types cover including green, high albedo materials, and flagstones as the novelty of the research. Since there are a lot of feasible solutions, it is necessary to use a metaheuristic algorithm for finding the optimal solution. Therefore, in the second step of the proposed method, the optimal solution is conveyed by the Genetic algorithm (GA), as the most common algorithm in metaheuristic algorithms. After finding the optimum parcels for changing roofs' cover, the UHI effect is computed once again to show the improvements.

Discussion of Results

In this research, software package is designed and the Landsat8 images related to 31 July, 2020 were employed to compute SHI value in the study area. In this regard, all bands of Landsat8 had been used and corrected through the FLAASH algorithm and then the SHI's indices were evaluated based on the mentioned formulas. In the next step, in order to determine the coefficients of indices, an LRM as expressed in the methodology section was applied. In the regression, the 14 indices and the measured actual temperature in each location were assumed as independent and dependent variables respectively. In addition, 1500 locations in Tehran were considered as observation points for measuring indices and actual temperature. The extent of observations' locations was selected over

Tehran to cover more observation points and thereby achieve better UHI estimation. Among these 1500 observation points, 70% and 30% of points were selected as training and test sets respectively. Additionally, the RMSE and R^2 for the regression were computed over the training and test data. According to the obtained coefficients of indices, the SHI values for the study area were achieved through Weighted Linear Combination (WLC).

As mentioned, the Genetic Algorithm is used to select the optimum subset of parcels for changing their roofs' infrastructure with three covering classes including vegetation, high-albedo materials, and flagstones. This subset is assumed as 10 percent of all parcels in the area. However, some parameters should be set before using the algorithm such as the number of population and generation, the ratio of selection, crossover, and mutation. Besides, minimizing the standard deviation of SHI values was assumed as a fitness function for GA. As a result of the algorithm, the selected parcels and their appropriate roofs' infrastructure for minimizing the standard deviation of SHI in the area are presented. This optimal solution was obtained through 252 generations that its convergence trend is presented. Additionally, based on the changes of selected parcels for roofs' cover, the SHI values for the study area are computed again. These new values for the SHI and UHI effects are presented. However, the obtained standard deviation of SHI values for the changed roofs' cover is 10.781°C while this value before changes is 13.222°C .

By examining the selected parcels obtained from the GA results with green spaces in and around the study area, it is found that the GA selects parcels for changing the roof covering with vegetation that is not contiguous with the green spaces in their surrounding area. whereas, according to results, the GA did not choose any parcel in these areas to change their roofs' infrastructure to vegetation cover. However, highly efficient covering in SHI values such as vegetation and high albedo materials circumscribed the study area. This fact shows that in order to control the variation of UHI in the center of the area, it is necessary to curb the SHI values in the border of the study area. However, the less efficient cover compared to vegetation and high-albedo materials, which is flagstones, are located dominantly in the center of the study area since their influence is more limited and local than the other types.

It is also can be perceived that all changes in roofs' infrastructure are not in line with changing to the vegetation cover, although this type of covering has the best effect to reduce SHI value. This consequence is because of the fitness function of GA, which is based on the standard deviation and not the mean value. The type of vegetation for covering decreases the SHI value, and thereby leads to decreasing mean value, while the objective of the software is to minimize the variation of SHI values. Therefore, vegetation cover is used in a location where the study area confronts with hotspot SHI value at that location. To verify this claim, the vegetation cover is utilized for all parcels selected by the GA to compute the SHI value for this scenario.

Conclusion

With the widespread growth of cities and the increase in population, natural covers have been changed to artificial and impenetrable land cover, which lead to several environmental problems for cities, including UHI effects. Due to these changes, which are caused by the UHI effects, the temperature of urban areas becomes higher than the surrounding areas. One of the most practical and efficient methods for controlling the effects of urban heat islands is utilizing the green infrastructure and high albedo materials for roofs' infrastructures; however, previous studies did not model this subject in quantitative practice. Based on this shortcoming, the present study proposed a software package to investigate quantitatively the changes of UHI effects based on the substitution of present roofs' infrastructures to three selected types of covering class including vegetation, high-albedo materials, and flagstones. Additionally, the software used GA as a sub-model of the software to select the best set of parcels in the study area for changing their roofs' infrastructure according to a specified fitness function. The fitness function assumed for this research is the standard deviation of the SHI values in the study area. This fitness function controls the variation of the SHI values and prevents the creation of UHI hotspots in the study area. This investigation is conducted in a neighborhood of a central region in Tehran, which in the Khaghani neighborhood in the 7th region of Tehran. Examining the

selected parcels obtained from the results of the GA with the surrounding green space and the study area, it was found that the genetic algorithm selects parcels to change the roof covering with vegetation that is not adjacent to the green space. This fact shows that in order to control the change of UHI in the center of the region, it is necessary to limit these values at the border of the region. However, less efficient cover compared to vegetation and high albedo materials, which is flagstone, is predominantly studied in the center of the area. It can be also seen that not all changes in roof infrastructure are consistent with changes in vegetation, although this type of cover has the best effect on reducing the amount of urban heat islands. This result is due to the fitness function of the genetic algorithm, which is based on minimizing the standard deviation of SHI in the area. Therefore, the vegetation is used in a place where the study area is exposed to a high amount of urban heat islands. Additionally, this cover type is more effective in the range of 100 and 150 meters of green areas.

تعیین بهینه پوشش سقف ساختمان‌ها به منظور کنترل جزایر حرارتی شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک و تحلیل‌های مکانی

نیکروز مستوفی^{۱*}، حمید مطیعان^۲

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

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

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۹/۸/۱۵

چکیده

یکی از عوامل تاثیرگذار بر روی پدیده جزایر حرارتی شهری، نوع پوشش سقف قطعات ملکی است که امروزه در جوامع پیشرفته توجه ویژه‌ای به آن می‌شود. اما با توجه به نحوه تاثیر متفاوت پوشش‌های مختلف و همچنین نتایج متفاوت پوشش‌ها در مکان‌های مختلف، وجود یک سامانه تصمیم‌گیری مکانی جهت انتخاب پوشش بهینه در مکان بهینه اجتناب‌ناپذیر می‌باشد که تاکنون چنین سامانه‌ای پیاده‌سازی نشده است. لذا در این تحقیق سامانه‌ای ایجاد شده است که شامل دو مرحله اصلی برآورد درجه حرارت سطح منطقه مورد مطالعه و انتخاب مجموعه‌ای بهینه از قطعات ملکی برای تغییر پوشش سقف آنها با سه نوع پوشش از قبیل تعریف شده می‌باشد. سپس به منظور ارزیابی نتایج، مقادیر جدید درجه حرارت سطح و نمایش جزایر حرارتی شهری مجدداً محاسبه گردید. با توجه به مدل فوق، انحراف معیار جزایر حرارتی منطقه از ۱۳/۲۲۲ درجه سلسیوس به ۱۰/۷۸۱ درجه سلسیوس بهبود یافته است که نشان دهنده افزایش یکنواختی این اثر در سطح منطقه است. همچنین نتایج حاصل از انتخاب قطعات ملکی و نوع پوشش آنها توسط مدل ارائه شده نشان می‌دهد که برای کنترل جزایر حرارتی در نیازمند استفاده از پوشش گیاهی در پیرامون منطقه می‌باشد زیرا این پوشش تاثیرات وسیعتری نسبت به سایر پوشش‌ها دارد.

کلید واژه

الگوریتم ژنتیک، تحلیل‌های مکانی، تصاویر لندست ۸، جزایر حرارتی شهری، مدل رگرسیون خطی.

سرآغاز

که به موجب آن، دمای مناطق شهری نسبت به مناطق اطراف افزایش می‌یابد (Dong et al., 2020; Govind and Ramesh, 2020; Oke, 1982; Xian and Crane, 2006; Yang and Bou-Zeid, 2019; Zhou et al., 2017). این پدیده می‌تواند کیفیت زندگی، سلامتی و نشاط شهروندان را از طریق تاثیر بر عوامل محیطی مانند تغییرات دمای محیط، آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت تاثیر قرار دهد (Han et al., 2009; Johnson et al., 2012; Parker, 2020; Sharma et al., 2017; Theeuwes et al., 2015). به عنوان مثال ایجاد تغییرات در پوشش طبیعی اراضی و جایگزینی آنها با مصالح مصنوعی و غیرقابل نفوذ،

طی چند دهه گذشته، رشد سریع جمعیت، به همراه افزایش تمرکز خدمات امکانات در شهرها، منجر به افزایش مهاجرت از مناطق روستایی به مناطق شهری شده است (Li et al., 2020; Lin et al., 2016; Liu et al., 2015; Motieyan and Mesgari, 2018). این مهاجرت باعث رشد نامنظم شهرها و تبدیل بی‌رویه پوشش طبیعی زمین به پوشش مصنوعی و غیر قابل نفوذ شده است (Govind and Ramesh, 2020; Zhang et al., 2020). در نهایت این تبدیلات بی‌رویه، پیامدهای زیست محیطی متعددی را مانند پدیده جزایر حرارتی برای شهرها بوجود آورده است

Email: N_mostofi@azad.ac.ir

* نویسنده مسئول:

DOI: [10.22059/JES.2021.323922.1008177](https://doi.org/10.22059/JES.2021.323922.1008177)

DOR: [20.1001.1.10258620.1399.46.4.4.9](https://doi.org/20.1001.1.10258620.1399.46.4.4.9)

آنها از جمله نژاد، قومیت، سطح درآمد و شرایط اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه این تحقیق و بررسی به تصمیم گیرندگان کمک کرده است تا زیرساخت های سبز، به ویژه سازه های بام سبز را در مناطق با آسیب پذیری اجتماعی بالا برنامه ریزی کنند (Sanchez and Reames, 2019).

Chen و همکاران (۲۰۲۰) ، اثرات وجود درختان، سطوح با درخشندگی بالا، بامهای سبز و ترکیبات آنها را در خنک کردن آب و هوایی محلی در شهر چانگشا چین را بررسی نمودند. در این تحقیق، با ترکیب اندازه گیری های زمینی و شبیه سازی های عددی با بکارگیری نرم افزار ENVI-met ، سناریوهایی به منظور ارزیابی اثرات خنک کنندگی ترکیبات مختلف عوامل فوق، طراحی شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که افزایش تعداد درختان و سطوح با درخشندگی بالا در سه منطقه مورد مطالعه با ساختارهای مختلف برای کاهش دمای تابستان در سطح خیابان موثرتر از استفاده از سقف های سبز است (Chen et al., 2020).

Dong و همکاران (۲۰۲۰) نیز مطالعات تجربی برای بررسی تأثیرات بامهای سبز و مناطق اطراف آنها بر روی جزایر حرارتی در شهر ژیا من چین با بکارگیری سنسور از دور و سیستم اطلاعات مکانی به انجام رساندند. نتایج این تحقیق نشان می دهد که بامهای سبز باعث کاهش حدود ۰/۹ درجه سلسیوس در جزایر حرارتی می شوند. همچنین سقف سبز تأثیر قابل توجهی در درجه حرارت محیط اطراف خود در یک شعاع صد متری دارد (Dong et al., 2020).

مطالعات بررسی شده مذکور دارای نکات ضعف به شرح زیر می باشند: در این تحقیقات، جزایر حرارتی شهری عموماً با استفاده از تجهیزات اندازه گیری گران قیمت با سطح پوشش کم بررسی شده و یا انجام مدلسازی منتج از تغییرات کاربری سطوح، با استفاده از روش های کم توان که قادر به دستیابی به درجه حرارت نهایی قابل اطمینان نیستند، صورت گرفته است. بعلاوه، در این تحقیقات تأثیر پوشش های مختلف سقف ها بر روی مقادیر جزایر حرارتی

سبب تغییر در تعادل انرژی زمین و جذب گرمای بیشتر در طول روز میشود. همچنین، به دلیل عدم وجود یا کاهش پوشش های گیاهی در مناطق شهری، تبخیر و تعرق گیاهان مختل میشود و در نتیجه، اثرات خنک کنندگی طبیعی زمین کاهش می یابد. البته این پدیده با پارامترهای هندسه شهری مانند مانند عرض معابر و ارتفاع ساختمان ها نیز بسیار رابطه دارند به طوریکه وجود ساختمان های بلند ضریب دید به آسمان را کاهش می دهند و با افزایش بازتاب های متوالی امواج خورشید، جذب گرما بیشتر شده و پدیده جزایر حرارتی تشدید میگردد. بنابراین، اندازه گیری و کنترل اثرات جزایر حرارتی شهری، بر اساس مبانی علمی و قابل توجهی، به دولت ها و تصمیم گیرندگان کمک خواهد کرد تا بر مسائل ناشی از آن غلبه کنند (Hendel et al., 2016; Mostofi and Hasanlou, 2017). امروزه یکی از روش های بسیار کارآمد برای کنترل اثرات جزایر حرارتی در کشورهای توسعه یافته، استفاده از پوشش های با جذب حرارتی کمتر مانند زیرساخت های سبز، مواد با درخشندگی بالا و سنگفرش، در پوشش سقف ساختمانها می باشد (Fahmy et al., 2018; Madhumathi et al., 2018; Mohajerani et al., 2017; Sanchez and Reames, 2019; Santamouris, 2013). اما، برای برنامه ریزی مطلوب در مورد به کارگیری این پوشش ها ، لازم است اثرات کمی آنها در مکانهای مختلف بر روی جزایر حرارتی منطقه ارزیابی شود (Dong et al., 2020; Madhumathi et al., 2018; Zhang et al., 2013).

Sanchez و Reames (۲۰۱۹) ، مدل های جزایر حرارتی در شهر دیترویت، ایالات متحده آمریکا را بر اساس شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) و مقدار درجه حرارت زمین (LST) ، از طریق داده های تصویر باند ۱۰ و ۱۱ ماهواره لندست ۸ مطالعه نمودند. آنها سعی کردند با مدلسازی جزایر حرارتی، مناطق آسیب پذیر و در معرض خطر گرما را در شهر تعیین کنند. سپس، با توجه به مدلسازی انجام شده، جمعیت در معرض مناطق پرخطر حرارتی با توجه به ویژگی های جمعیت شناختی

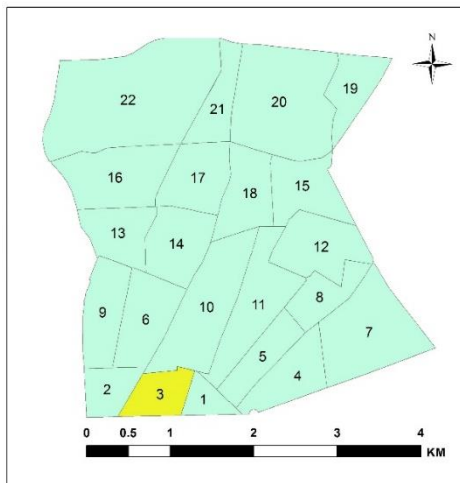
امکان بررسی پوشش‌های متفاوت سقفها و بر اساس کمینه سازی پارامترهای آماری درجه حرارت منطقه در مطالعات گذشته مورد بررسی قرار نگرفته است و لذا این مهم جنبه نوآوری این تحقیق می‌باشد.

مواد و روش بررسی

منطقه مورد مطالعه

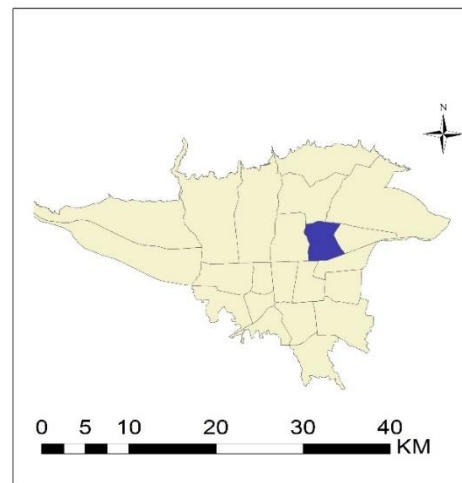
به منظور انجام این تحقیق، محله خاقانی از محله‌های مرکزی شهر تهران، واقع در منطقه ۷ شهرداری، برای ایجاد سامانه کمک به تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی انتخاب شد (شکل ۱). منطقه ۷ شهر تهران از پنج ناحیه و بیست و دو محله تشکیل شده است. دلایل اصلی انتخاب این محله، وجود کاربری‌های مختلف و سطح بالای تراکم در محله است. کل جمعیت و مساحت این محله به ترتیب حدود ده هزار نفر و ۰,۳۶۶ کیلومتر مربع است. این محله از ۹۸۸ قطعه با ۱۵ نوع کاربری متنوع تشکیل شده است و با توجه به موقعیت این محله در هسته مرکزی شهر تهران، آثار جزایر حرارتی نقش مهمی در این محله دارد.

مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین مدلی کارآمد برای بیان نحوه تغییر پوشش سقف‌ها به منظور به حداقل رساندن پارامترهای کمی جزایر حرارتی، مانند مقادیر میانگین یا انحراف معیار ارائه نشده است. با توجه به وجود این کاستی‌ها، اولاً، مطالعه حاضر یک مدل قابل اعتماد مبتنی بر روش سنجش از دور برای ارزیابی مقادیر درجه حرارت سطح، در کل منطقه مورد مطالعه با حداقل هزینه و حداکثر پوشش ارائه نموده است. از سوی دیگر در این تحقیق، تأثیرات استفاده از سه نوع پوشش برای سقف شامل پوشش گیاهی، مواد دارای درخشندگی بالا و سنگفرش، بر روی مقدار درجه حرارت سطح بررسی شده است. لذا براین اساس، در این تحقیق یک برنامه‌ریزی بهینه مبتنی بر تجزیه و تحلیل فضایی و هوش محاسباتی در قالب یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری ارائه شده است که با بکارگیری آن می‌توان آثار حاصل از تغییر پوشش سقفهای ساختمانهای منطقه دلخواه را با در نظر گرفتن کاهش پارامترهای آماری مانند میانگین یا انحراف معیار درجه حرارت منطقه مورد مطالعه را بررسی نمود. لازم به ذکر است برنامه‌ریزی‌هایی مبتنی بر مفاهیم بهینه سازی با



(ب)

شکل ۱. الف) تهران و منطقه ۷ و ب) منطقه ۷ و محله منتخب (خاقانی)



(الف)

لایه قطعات ملکی با اطلاعات توصیفی مربوط به منطقه و کاربری زمین.

علاوه بر این، برای توسعه سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری، از مجموعه داده‌های زیر استفاده می‌شود:

تصاویر ماهواره لندست ۸ از منطقه شامل همه باندهای تصویر که مشخصات آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات باندها و سنجندهای ماهواره لندست ۸

سنجنده	باندها	طول موج (میکرومتر)	توان تفکیک مکانی (متر)
OLI	Band 1 - Coastal aerosol	۰.۴۳ - ۰.۴۵	۳۰
	Band 2 - Blue	۰.۴۵ - ۰.۵۱	۳۰
	Band 3 - Green	۰.۵۳ - ۰.۵۹	۳۰
	Band 4 - Red	۰.۶۴ - ۰.۶۷	۳۰
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	۰.۸۵ - ۰.۸۸	۳۰
	Band 6 - SWIR 1	۱.۵۷ - ۱.۶۵	۳۰
	Band 7 - SWIR 2	۲.۱۱ - ۲.۲۹	۳۰
	Band 8 - Panchromatic	۰.۵۰ - ۰.۶۸	۱۵
	Band 9 - Cirrus	۱.۳۶ - ۱.۳۸	۳۰
TIRS	Band 10 - Thermal Infrared 1	۱۰.۶۰ - ۱۱.۱۹	۱۰۰
	Band 11 - Thermal Infrared 2	۱۱.۵۰ - ۱۲.۵۱	۱۰۰

روش شناسی تحقیق

در این تحقیق، سامانه‌ای جهت کمک به تصمیم‌گیری برای تغییر پوشش سقف قطعات ملکی در راستای کاهش اثر جزایر حرارتی شهری در منطقه مورد مطالعه ایجاد شده است. به این منظور، از داده‌های ماهواره لندست ۸ تصحیحات جوی و رادیومتری با استفاده از روش فلش (FLAASH) روی آنها اعمال می‌شوند. اعمال این تصحیحات موجب افزایش اعتبار محتوای رقومی تصاویر در باندهای تصویر ماهواره می‌گردد. بعد از اعمال تصحیح مذکور، تصاویر آماده برای محاسبه شاخص‌های مربوط به جزایر حرارتی می‌شوند. دو گروه اصلی شاخص‌های سنجنش از دوری شامل شاخص‌های مرتبط با گیاه و شاخص‌های شهری نقش محوری در محاسبه جزایر حرارتی دارند (Mostofi and Hasanlou, 2017). در این پژوهش بعد از محاسبه تعداد چهارده شاخص گیاهی و شهری، رابطه بین آنها و جزایر حرارتی شهری، با استفاده از روش رگرسیون خطی به منظور بدست آوردن ضرایب اثر هر شاخص بررسی می‌شود.

با فرض داشتن داده های آماری به فرمت $\{y_i, x_{i1}, \dots, x_{ip}\}_{i=1}^n$ در مدل رگرسیون خطی، فرض بر این است که ارتباطی بین متغیر مستقل y_i و بردارهای P تایی

x_i بصورت خطی وجود دارد. این ارتباط با استفاده از توزیع متغیر خطا (که ناشی از متغیر تصادفی بعلاوه نویز موجود در داده‌ها می‌باشد) با ارتباط خطی بین متغیر مستقل و عوارض و شاخص‌های استخراج شده (x_i) انجام می‌شود (Kutner et al., 2004).

$$y_i = \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$i = 1, \dots, n$$

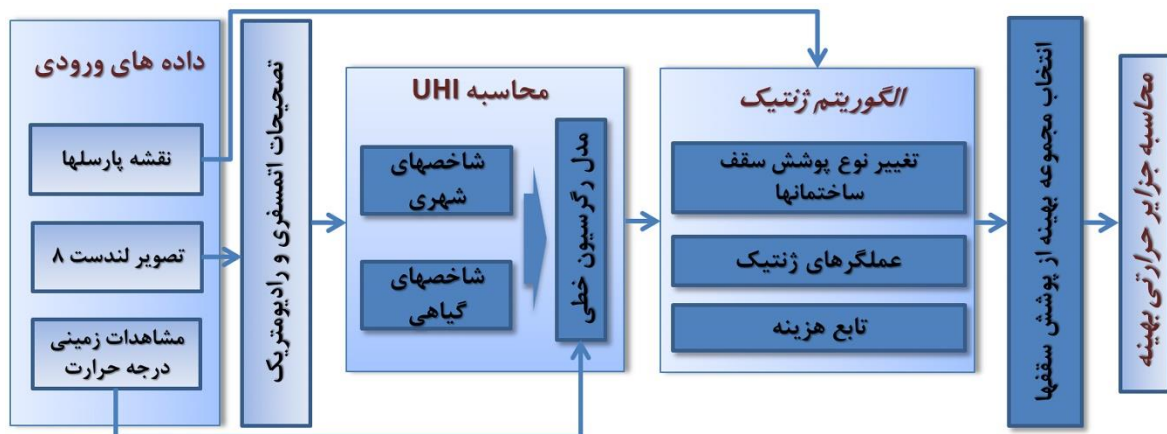
در رابطه ۱ فرم جبری مدل رگرسیون خطی آورده شده است که در آن T علامت ترانهاده و مقدار $X_i^T \beta$ ترکیب خطی بین متغیرهای ورودی x_i و ضرایب β می‌باشد. اگر تمامی فرمول‌ها با هم نوشته شوند، شکل برداری و ماتریسی آن به شکل رابطه شماره ۲ خواهد شد.

$$y = X\beta + \varepsilon \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه ۲ ماتریس X را ماتریس طراحی می‌نامند. تشخیص اینکه کدامیک از متغیرها برای مدلسازی متغیر مستقل مناسب است، وابسته به تاثیر متغیرهای وابسته به یکدیگر و تاثیر مستقیم آن بر متغیر مستقل دارد. با حل رابطه ۲ با روش کمترین مربعات، ضرایب رگرسیون (متغیرهای β_i) تخمین زده خواهد شد. تخمین آماری و استنتاج در رگرسیون خطی وابسته به مقادیر متغیرهای β_i است. مولفه‌های این بردار به مقادیر مشتقات جزئی از متغیر

ژنتیک، به عنوان یکی از الگوریتم‌های متداول فراابتکاری، استفاده می‌گردد. در نتیجه بعد از یافتن پوشش مطلوب برای قطعات ملکی، درجه حرارت سطح یک بار دیگر محاسبه می‌شود تا بهبود نتایج حاصل از تخصیص را نشان دهد. حاصل پیاده سازی روش پیشنهادی، به برنامه ریزان شهری کمک خواهد کرد تا ایجاد و شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری را کنترل نموده و محیط زندگی شهری را از مخاطرات این پدیده دور نگه دارند. تمام مراحل روش پیشنهادی مورد استفاده در این تحقیق، در شکل ۲ نشان داده شده است.

وابسته تفسیر خواهد شد و متغیرهای ε_i به متغیر خطا یا نویز مشهور است (Abel et al., 2019). بنابراین به کمک این مدل می‌توان تغییرات پوشش سقف ساختمانها را در مقدار جزایر حرارتی پیش بینی نمود. به طوری که با تغییر پوشش برخی از قطعات شهری (Parcel) به یکی از پوشش‌های گیاه، مواد با درخشندگی بالا و یا سنگفرش اقدام به تعدیل و کاهش میزان مقادیر جزایر حرارتی شهری نمود. با توجه به تعداد بالای قطعات ملکی موجود در محله و تنوع پوشش‌های در نظر گرفته شده، حل این مسئله با روشهای موجود بسیار دشوار بوده و لذا برای راه حل این مشکل (تعیین پوشش بهینه قطعات ملکی) از الگوریتم



شکل ۲. روند نمای اجرا و پیاده سازی روش پیشنهادی تحقیق

بوده در حالی که سنجش جزایر حرارتی نوع دوم از طریق اندازه‌گیری غیر مستقیم، عمدتاً با روش سنجش از دور صورت گرفته و ارزیابی می‌شود. محاسبه جزایر حرارتی سطح به کمک سنجش از دور توسط شاخص‌های نسبی مربوط به پوشش‌ها و کاربری‌های مختلف زمین و شرایط محیطی انجام می‌شود که این شاخص‌ها و روابط آنها در جدول شماره ۲ ارائه شده است. پس مطابق با روش ارائه شده مدل رگرسیونی توسعه داده می‌شود تا مقادیر این شاخص‌های محاسبه شده را با دماهای مشاهده شده در سطح منطقه مورد مطالعه تطبیق داده و ضرایب این شاخص‌ها تعیین گردند.

جزایر حرارتی شهری و محاسبه آن

طبق گزارش موسسه Actionbioscience، که در سال ۲۰۱۵ صورت گرفته است، سه نوع جزایر حرارتی شهری وجود دارد: (۱) جزیره گرمایی لایه سایه؛ (۲) جزیره حرارتی لایه مرزی؛ و (۳) جزیره حرارتی سطح. فابریزی و همکاران، در سال ۲۰۱۰ تفاوت‌های مختلفی را بین انواع ذکر شده جزایر حرارتی بیان کرده‌اند (Fabrizi et al., 2010). که مهمترین آن این است که جزایر حرارتی لایه سایه و جزایر حرارتی لایه مرزی نمایانگر گرم شدن فضای شهری هستند در حالی که جزایر حرارتی سطح (SHI) نشان دهنده گرم شدن سطح شهری است. همچنین جهت سنجش جزایر حرارتی نوع اول نیاز به دماسنج‌های مستقر در فضای شهر

جدول ۲. شاخص‌های مورد استفاده برای محاسبه مقادیر جزایر حرارتی سطح

رابطه	شاخص
$NDBaI = \frac{SWIR1 - TIRS1}{SWIR1 + TIRS1}$	Normalized Difference Bareness Index (NDBaI)
$NDBI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR}$	Normalized Difference Built-up Index (NDBI)
$BI = \frac{(SWIR1 + RED) - (NIR + BLUE)}{(SWIR1 + RED) + (NIR + BLUE)}$	Bare Soil Index (BI)
$UI = \frac{SWIR2 - NIR}{SWIR2 + NIR}$	Urban Index (UI)
$IBI = \frac{\frac{2 \times SWIR1}{SWIR1 + NIR} - \left(\frac{NIR}{NIR + RED} \frac{GREEN}{GREEN + SWIR1} \right)}{\frac{2 \times SWIR1}{SWIR1 + NIR} + \left(\frac{NIR}{NIR + RED} \frac{GREEN}{GREEN + SWIR1} \right)}$	Index-based Built-Up Index (IBI)
$EBBI = \frac{SWIR1 - NIR}{10\sqrt{SWIR1 + TIRS1}}$	Enhanced Built-Up and Bareness Index (EBBI)
$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
$EVI = G \times \frac{NIR - RED}{NIR + C_1 \times RED - C_2 \times BLUE + L}$ $L = 1; C_1 = 6; C_2 = 7.5; G = 2.5$	Enhanced Vegetation Index (EVI)
$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \times (L + 1)$ $0 < L < 1 \Rightarrow L = 0.5$	Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)
$NDWI = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$	Normalized Difference Water Index (NDWI)
$MNDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$	Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)
Brightness	Tasselled Cap Transformation (TCT)
Greenness	Tasselled Cap Transformation (TCT)
Wetness	Tasselled Cap Transformation (TCT)

شاخصهای شهری

شاخص‌های مرتبط با پوشش گیاهی

$$SHI = \beta_1 + \beta_2 EVI + \beta_3 NDVI + \beta_4 NDWI + \beta_5 NDBI + \beta_6 NDBaI + \beta_7 MNDWI + \beta_8 BI + \beta_9 UI + \beta_{10} IBI + \beta_{11} EBBI + \beta_{12} SAVI + \beta_{13} Wetness + \beta_{14} Greenness + \beta_{15} Brightness$$

رابطه (۳)

که در آن، β_i ضریب هر شاخص است.

نحوه تطبیق این شاخص‌ها با مقادیر مشاهداتی دمای سطح زمین که به جزایر حرارتی سطح تعبیر می‌شود، در رابطه ۳ ارائه شده است (Mostofi and Hasanlou, 2017).

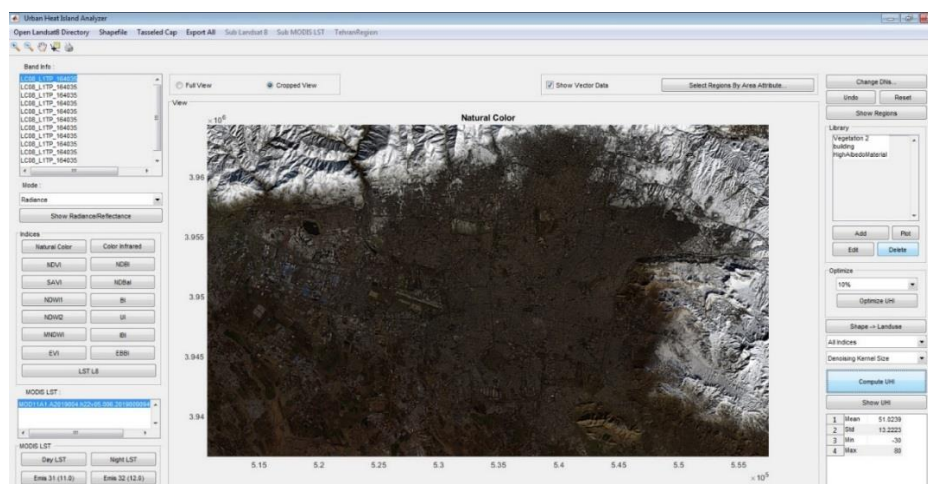
یک تابع، به نام تابع برازندگی (Fitness Function) امکان پذیر شود. این تابع خود می‌تواند شامل معیارهایی باشد تا ارزیابی هر کروموزوم متناسب با آن معیارها انجام شود (Amini and Hu, 2021; Singh and Singh, 2017).

نتایج

در این تحقیق، سامانه‌ای جهت کمک به تصمیم‌گیری در محیط نرم افزار متلب طراحی شده است که شمای کلی آن در شکل شماره ۳ نشان داده شده است. در ابتدا از تصاویر ماهواره لندست ۸ که مربوط به ۳۱ ژوئیه سال ۲۰۲۰ می‌باشد، برای محاسبه مقدار جزایر حرارتی سطح در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. در این راستا، از همه باندهای ماهواره مذکور استفاده شده و از طریق الگوریتم فلش تصحیحات لازم بر روی تصویر مورد نظر اعمال شده و سپس شاخص‌های مرتبط با جزایر حرارتی سطح بر اساس روابط جدول شماره ۲ ارزیابی شده است. در گام بعدی، برای تعیین ضرایب شاخص‌ها، از روش رگرسیون خطی استفاده شده است که مبانی ریاضی آن در بخش روش‌شناسی تحقیق بیان گردید.

الگوریتم ژنتیک

یکی از رایج ترین الگوریتم‌های فرا ابتکاری مورد استفاده در بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک است که تصمیم گیرندگان را قادر می‌سازد تا هنگامی که فضای جستجوی جواب مسئله بسیار گسترده باشد در مدت زمان مناسبی، راه حل بهینه برای مسائل پیچیده پیدا کنند (Goldberg and Holland, 1988). این روش از جمعیتی از اجزا تشکیل شده است که کروموزوم نامیده می‌شوند که هر یک از آنها به عنوان راه‌حلی ممکن در فضای جواب مسئله در نظر گرفته می‌شود. در ابتدا این کروموزومها به صورت تصادفی تولید می‌شوند و سپس تعداد مشخصی از نسل‌ها با طی فرایند رقابتی و تکاملی طی می‌شوند که در طی این فرایند، کروموزومها با استفاده از برخی عملیات ژنتیکی از جمله انتخاب، ترکیب (Crossover) و جهش (Mutation) تکامل می‌یابند. این اپراتورها به الگوریتم کمک می‌کنند تا الگوریتم زودتر به جواب بهینه همگرا شود. همچنین هرکروموزوم از طریق دنباله‌ای از خصوصیات (به نام ژن) شامل اطلاعاتی همچون کد باینری، اعداد اعشاری و حروف نشان داده می‌شود تا ارزیابی یک کروموزوم توسط



شکل ۳. محیط سامانه نرم‌افزاری پیاده سازی شده و نمایش تصویر رنگی ماهواره لندست ۸ از شهر تهران

وابسته، تعداد ۱۵۰۰ نقطه در تهران انتخاب و درجه حرارت واقعی سطح در این نقاط اندازه‌گیری گردید. موقعیت نقاط مربوط به مشاهدات درجه حرارت، در کل شهر تهران انتخاب شد تا بدین ترتیب تخمین بهتری از جزایر حرارتی

در مدل رگرسیون خطی مورد استفاده، تعداد چهارده شاخص مرتبط و دمای واقعی اندازه‌گیری شده در سطح منطقه مورد مطالعه، به ترتیب متغیرهای مستقل و وابسته در نظر گرفته شدند. جهت بدآورد دمای واقعی به عنوان متغیر

جدول ۳. ضرایب متغیرهای وابسته و اعتمادپذیری آنها در مدل

رگرسیون خطی مورد استفاده		
pValue	برآورد	
۰۰۰۲۱۰۰	۲۵۴۹.۵۵-	Intercept
۰۰۰۰۱۰۰	۹۵۶۸.۷-	EVI
۰۰۰۰۰۰۰	۴۵۳۲.۲۸-	NDVI
۰۰۶۲۱۰۰	۸۴۶۹.۱۶-	NDWI
۰۰۸۱۰۰۰	۴۵۱۷.۲۲-	NDBI
۰۰۰۰۳۰۰	۱۲۹۶.۵۶-	NDBaI
۲۳۱۰۰۰۰	۸۶۹۵.۸-	MNDWI
۵۳۳۴۰۰۰	۹۶۵۶.۰	BI
۰۰۰۰۰۰۰	۱۳۴۷.۲۳	UI
۴۶۲۵۰۰۰	۰.۴۲۳۰-	IBI
۰۰۰۰۰۰۰	۱۵۶۸.۸۰	EBBI
۰۰۰۰۰۰۰	۲۳۶۲.۵۵	SAVI
۰۰۰۰۰۰۰	۸۳۹۱.۵۵	Wetness
۸۷۶۵۰۰۰	۷۵۴۸.۰	Greenness
۰.۰۰۰۰۰۰	۴۷.۱۲۵۴	Brightness

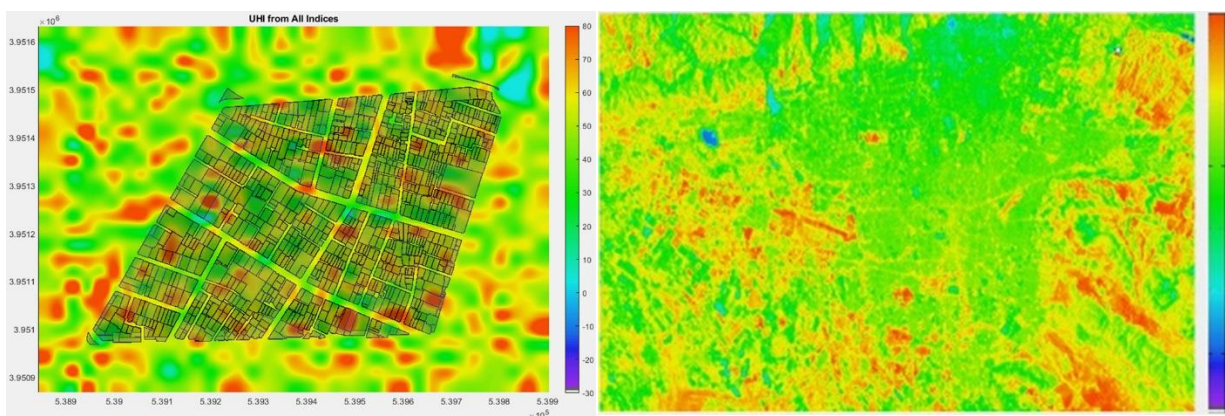
جدول ۴. بررسی کارایی روش رگرسیون خطی

R ² (%)	RMSE	
۲۶.۸۹	۹۳۶۳.۰	داده های آموزشی
۷۵.۸۹	۹۴۲۳.۰	داده های تست

شهری بدست آید. از بین این ۱۵۰۰ نقطه مشاهداتی، ۷۰٪ نقاط به عنوان داده آموزشی و ۳۰٪ نقاط به عنوان داده تست انتخاب شدند تا بتوان دقت مدل برازش داده شده را ارزیابی نمود. نتایج حاصل از بکارگیری روش رگرسیون خطی، در جدول شماره ۳ ارائه شده است. علاوه بر این، مقدار RMSE و R² مربوط به روش رگرسیون خطی در داده های آموزشی و تست محاسبه گردید، که در جدول شماره ۴ نشان داده شده‌اند.

با توجه به ضرایب شاخص‌های بدست آمده، مقادیر درجه حرارت سطح برای منطقه مورد مطالعه از طریق محاسبه ترکیب خطی وزنی حاصل شد. شکل شماره ۴ این مقادیر را برای تهران و محله مورد مطالعه نشان می دهد.

همانطور که در بخش روش‌شناسی تحقیق بیان شد، از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب زیرمجموعه بهینه قطعات ملکی برای تغییر پوشش سقف آنها با سه کلاس پوشش، شامل پوشش گیاهی، مواد با درخشندگی بالا و سنگفرش با قید انتخاب حداکثر ۱۰ درصد از کل تعداد قطعات ملکی موجود در منطقه برای تغییر کاربری و پوشش استفاده



شکل ۴. الف) جزایر حرارتی شهری در تهران و ب) جزایر حرارتی شهری محله خاقانی به عنوان منطقه مورد مطالعه

در مرحله بعد، جهت به حداقل رساندن مقدار انحراف معیار مقادیر جزایر حرارتی سطح به عنوان تابع برازندگی، در الگوریتم ژنتیک فرض شده است. نتیجه اجرای الگوریتم، و قطعات ملکی انتخاب شده و پوشش انتخاب

گردید. به این منظور، ابتدا پارامترهای مربوط به استفاده از الگوریتم ژنتیک، از قبیل جمعیت اولیه، تعداد نسلها، نحوه انتخاب کروموزومها، تلاقی و جهش تنظیم شدند که این پارامترها و مقادیر آنها در جدول شماره ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. پارامترهای الگوریتم ژنتیک

پارامتر	مقادیر
جمعیت	۱۰۰
نرخ ترکیب	۲۰
نرخ جهش	۰.۵۰
روش ترکیب	دو نقطه ای
بیشینه تکرار	۵۰۰
تعداد نخبه‌ها	۵

شده برای سقف قطعات ملکی بمنظور به حداقل رساندن انحراف معیار مقدار جزایر حرارتی سطح در منطقه مورد مطالعه، در شکل شماره ۵ ارائه شده است. این راه حل بهینه بعد از اجرای الگوریتم ژنتیک با تولید ۲۵۲ نسل بدست آمده است که روند همگرایی آن در شکل شماره ۶ ارائه شده است.

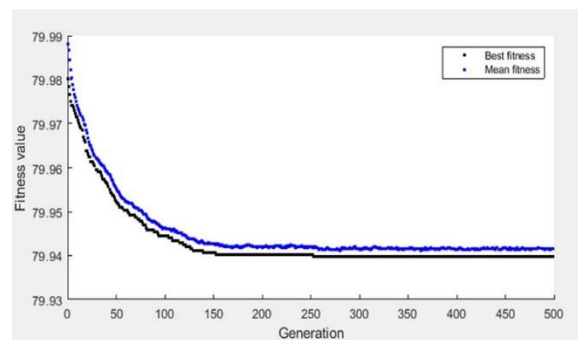


شکل ۵. قطعات ملکی انتخاب شده برای تغییر پوشش سقف بر اساس سه نوع پوشش: پوشش گیاهی، مواد با درخشندگی بالا و سنگفرش

است. لازم به ذکر است که انحراف معیار جدید بدست آمده از مقادیر درجه حرارت سطح با پوشش جدید ۱۰/۷۸۱ درجه سلسیوس است در حالی که این مقدار قبل از تغییر ۱۳/۲۲ درجه سلسیوس بوده است.

بحث و بررسی

همانطور که در شکل شماره ۴ نشان داده شد، ۱۰٪ از قطعات ملکی در منطقه مورد مطالعه توسط الگوریتم ژنتیک انتخاب شدند تا پوشش سقف را با استفاده از سه نوع کلاس پوشش شامل پوشش گیاهی، مواد با درخشندگی بالا و سنگفرش تغییر یابند. نتایج حاصل نشان می‌دهد، اعمال این تغییرات، تأثیر قابل توجهی بر کاهش درجه حرارت سطح منطقه داشته است. این تأثیر را می‌توان با محاسبه

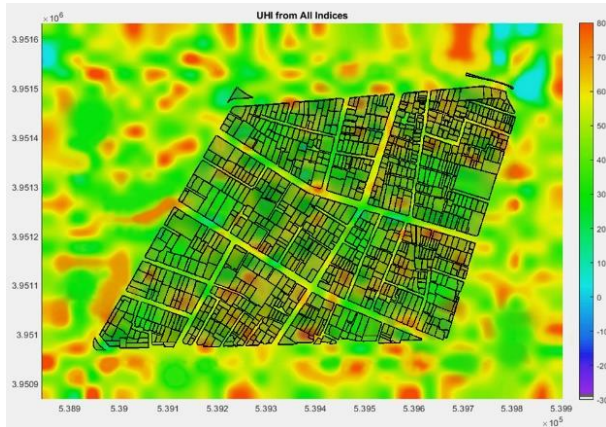


شکل ۶. نتیجه همگرایی روش ژنتیک با تکرار ۵۰۰ نسل

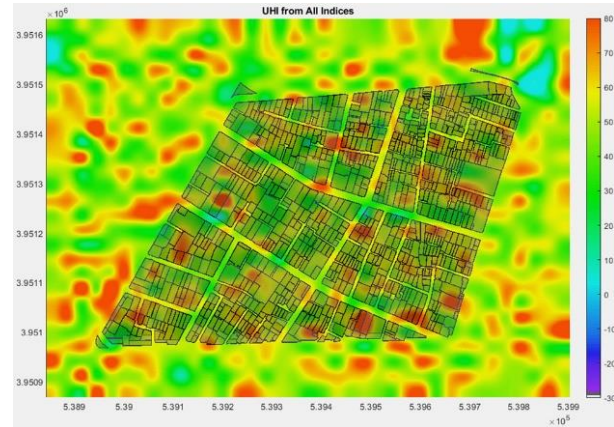
جهت بررسی نتایج مدل ارائه شده با توجه به راه حل بهینه انتخاب شده توسط مدل برای پوشش سقفها، مقادیر درجه حرارت سطح برای منطقه مورد مطالعه مجدداً محاسبه می‌شود. مقادیر جدید برای درجه حرارت سطح و جزایر حرارتی شهر در شکل شماره ۷ (ب) ارائه شده

سلسیوس و بعد از اعمال تغییرات ۱۳/۲۲۲ درجه سلسیوس است. با این حال، تأثیر مذکور را می‌توان با مقایسه بصری مدل حرارت در دو مرحله فوق در شکل ۷ بررسی نمود.

انحراف معیار مقادیر درجه حرارت سطح، قبل و بعد از اعمال تغییرات مذکور متوجه شد. مقادیر انحراف معیار درجه حرارت سطح، قبل از تغییرات ۱۰/۷۸۱ درجه



(ب)



(الف)

شکل ۷. الف) ساختار جزایر حرارتی شهری قبل از اعمال تغییرات و ب) ساختار جزایر حرارتی شهری پس از تغییرات

شده می‌توان نتیجه گرفت که پوشش با بازدهی کمتر در مقایسه با پوشش گیاهی و مواد دارای درخشندگی بالا، مانند سنگفرش به طور غالب در مرکز منطقه مورد مطالعه واقع شده است زیرا تأثیر آنها نسبت به انواع دیگر پوشش، محدودتر و محلی است.

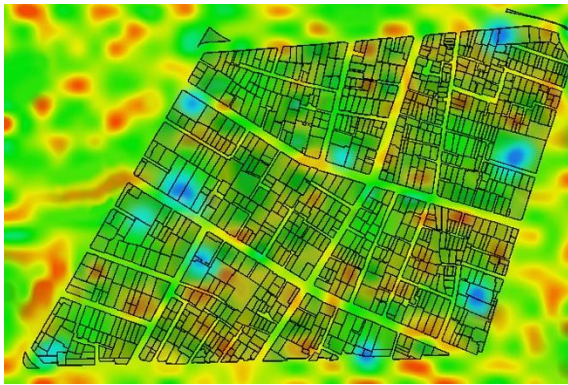
با بررسی قطعات ملکی انتخاب شده از اجرای الگوریتم ژنتیک و با توجه به موقعیت فضای سبز در اطراف و درون منطقه مورد مطالعه، مشخص می‌شود که الگوریتم ژنتیک قطعاتی را برای تغییر پوشش سقف با پوشش گیاهی انتخاب می‌کند که در اطراف همسایگی آنها پوشش فضای سبز وجود نداشته باشد. جهت تایید این نتیجه، فضاهای سبز داخل و اطراف منطقه مورد مطالعه در شکل ۸ نشان داده شده است. که مطابق این شکل، مناطق با پوشش گیاه در شمال غربی، شمال شرقی و جنوب منطقه مورد مطالعه واقع شده اند. حال آنکه مطابق شکل ۵، الگوریتم ژنتیک هیچ قطعه ملکی را در این مناطق برای تغییر پوشش سقف، به پوشش گیاهی انتخاب نکرده است. به عبارت دیگر شکل شماره ۵ نشان می‌دهد که پوشش‌های با کارایی بالا مانند پوشش گیاهی و مواد با درخشندگی بالا جهت کنترل جزایر حرارتی سطح اطراف منطقه مورد مطالعه را احاطه کرده است. این واقعیت نشان می‌دهد برای کنترل تغییرات جزایر حرارتی شهری در هسته مرکزی منطقه، لازم است ابتدا جزایر حرارتی سطح در مرز منطقه مورد مطالعه مهار شود. همچنین با بررسی تغییرات اعمال



شکل ۸. توزیع مناطق سبز در محله مورد مطالعه و اطراف آن

از طرفی دیگر با بررسی نتایج می‌توان دریافت اگرچه پوشش فضای سبز بیشترین تأثیر را در کاهش مقادیر جزایر حرارتی دارد اما مدل ارائه شده پوشش قطعات ملکی انتخاب شده را فقط با این پوشش جایگزین نکرده است چرا که عملکرد تابع برانندگی الگوریتم ژنتیک بر اساس

توسط مدل صرفاً با پوشش گیاهی برای پوشش سقف آنها محاسبه و حاصل عملکرد این سناریو و نتیجه آن در ساختار جزایر حرارتی شهر در شکل شماره ۹ نشان داده شده است. همانطور که در شکل شماره ۹ مشاهده می‌شود، نقاط خنک در مقایسه با سناریو بهینه قبلی افزایش یافته است. از سوی دیگر، انحراف معیار در این سناریو برابر با ۱۴/۵۲۹ درجه سلسیوس است که در مقایسه با سناریو بهینه قبلی (که مقدار انحراف معیار آن ۱۳/۲۲۲ درجه سلسیوس بود)، مقدار بالاتری را نشان می‌دهد.



(ب)

کاهش انحراف معیار مقادیر جزایر حرارتی و نه مقدار میانگین درجه حرارت این مقادیر بوده است. در واقع استفاده صرف از پوشش گیاهی در سقف قطعات ملکی مقدار جزایر حرارتی سطح را در همه نقاط کاهش می‌دهد و در نتیجه منجر به کاهش مقدار میانگین درجه حرارت سطح می‌شود، در حالی که هدف تابع برازندگی به حداقل رساندن تغییرات یا نوسانات مقادیر جزایر حرارتی سطح است. بنابراین، تغییر پوشش سقف به پوشش گیاهی در محلی استفاده می‌شود که کانون جزایر حرارتی سطح باشد. برای تأیید این ادعا، یکبار تمامی قطعات انتخاب شده



(الف)

شکل ۹. الف) تخصیص پوشش گیاهی به سقف قطعات ملکی منتخب الگوریتم ژنتیک (ب) توزیع جزایر حرارتی شهری برای این تخصیص

۱۵۰ متر از مناطق سبز دارای آثار موثرتری بوده، که این شعاع عملکرد نیز با عملکرد فضای سبز قطعات ملکی انتخاب شده توسط مدل تطابق دارد.

نتیجه گیری

با رشد گسترده شهرها و افزایش جمعیت، پوشش طبیعی اراضی به پوشش شهری غالباً غیر قابل نفوذ تغییر یافته است که منجر به مشکلات زیست محیطی متعددی برای شهرها از جمله جزایر حرارتی شهری شده است که این پدیده منجر به افزایش دمای مناطق شهری نسبت به مناطق اطراف آن می‌شود. یکی از روشهای عملی و کارآمد برای کنترل تأثیرات جزایر حرارتی شهری، استفاده از زیرساخت‌های سبز و مواد دارای آلبدوی بالا برای پوشش

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 بام های سبز درجه حرارت محیط را بطور متوسط در محدوده ۰/۳ تا ۳ درجه در مقیاس شهر کاهش می‌دهد (Huang et al., 2014; Santamouris, 2019). که نتایج حاصل حاصل از مدل ارائه شده، درجه حرارت سطح منطقه مورد مطالعه را با استفاده از پوشش بام سبز حدود ۱/۳ درجه سلسیوس کاهش داد. بنابراین، این کارکرد در مناطق دارای تراکم شهری بالا که مستعد ایجاد جزایر حرارتی شهری هستند، می‌تواند آثار این پدیده را کاهش دهد. مطابق با تحقیقات دونگ و همکاران، این کاهش در محدوده شعاع ۱۰۰ الی

مرکز منطقه مورد مطالعه باعث کاهش انحراف معیار درجه حرارت سطح و در نتیجه کنترل بیشتر جزایر حرارتی شهری شده است. از سوی دیگر نتایج حاصل نشان می‌دهند استفاده صرف از پوشش گیاهی در سقف ساختمان‌ها تنها میانگین مقادیر جزایر حرارتی را کاهش می‌دهد و تاثیر در کنترل یکنواختی مقادیر مذکور را ندارد. بنابراین، استفاده از پوشش گیاهی در مکان‌هایی که در معرض مقدار بالای جزایر حرارتی شهری قرار دارند توصیه می‌گردد. بنابراین سامانه طراحی شده می‌تواند در مورد برنامه‌ریزی پوشش سقف ساختمان‌هایی که مجوز ساخت می‌گیرند مورد استفاده گیرد تا بتوان علاوه بر کنترل جزایر حرارتی منطقه، افزایش کیفیت منابع و زندگی ساکنین را در راستای توسعه پایدار فراهم نمود. همچنین از سامانه مذکور می‌توان در طراحی فضای سبز شهری کمک گرفت بطوریکه در جانمایی فضاهای سبز علاوه بر معیارهای شهرسازی و برنامه ریزی شهری متدوال، به عامل جزایر حرارتی نیز توجه گردد.

برای تحقیقات آینده در این زمینه، استفاده از تصاویر طیفی با وضوح بالا که از سکوه‌های بدون سرنشین (UAV) تهیه می‌شوند، توصیه می‌گردد. این روش می‌تواند منجر به تولید دقیقتر شاخص‌های مورد استفاده شده و در نتیجه مقادیر درجه حرارت سطح با دقت بهتری محاسبه شوند. ضمناً، سامانه ایجاد شده از چند منظر قابل توسعه می‌باشد: (۱) امکان استفاده از انواع بیشتر پوشش سقفها بجای سه نوع پوشش مورد استفاده در این تحقیق، (۲) در نظر گرفتن پارامتر هزینه برای هر نوع پوشش، جهت انتخاب مجموعه بهینه قطعات ملکی بر اساس هزینه عملیاتی (۳) استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری دیگر در کنار الگوریتم ژنتیک جهت مقایسه عملکرد آنها.

سقف قطعات شهری است. با توجه به تحقیقات قبلی، مشخص می‌گردد عملاً نحوه تاثیر پوشش‌های مختلف سقفها در قطعات ملکی بصورت کمی و مکانی مدل‌سازی نشده است. بر اساس این کاستی، مطالعه حاضر سامانه‌ای برای بررسی کمی تغییرات اثرات جزایر حرارتی شهری بر اساس جایگزینی زیرساخت های سقف موجود به یکی از سه نوع پوشش انتخاب شده شامل پوشش گیاهی، مواد با درخشندگی بالا و سنگفرش را پیشنهاد کرده است. علاوه بر این، در این تحقیق، امکان انتخاب مجموعه‌ای بهینه از قطعات ملکی منطقه مورد مطالعه جهت تغییر پوشش سقف در راستای کنترل جزایر حرارتی شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیاده سازی و اجرا شده است. تابع برازندگی مورد استفاده در این الگوریتم، کمیت انحراف معیار مقادیر جزایر حرارتی سطح منطقه مورد مطالعه بوده که منجر به جلوگیری از ایجاد نقاط داغ جزایر حرارتی شهری و در نهایت کنترل این جزایر حرارتی در منطقه مورد مطالعه شده است. تحقیق حاضر در محله خاقانی که یکی از محله‌های مرکزی شهر تهران واقع در منطقه ۷ شهرداری می‌باشد، انجام گرفته است. با مقایسه و بررسی قطعات ملکی منتخب به دست آمده از نتایج الگوریتم ژنتیک با فضای سبز اطراف و منطقه مورد مطالعه، مشخص گردید که الگوریتم ژنتیک قطعات ملکی را برای تغییر پوشش سقف با پوشش گیاهی انتخاب می‌کند که در مجاورت فضای سبز قرار نگرفته باشند. همچنین نتایج نشان می‌دهند که برای کنترل جزایر حرارتی شهر در مرکز منطقه مورد مطالعه، کنترل این جزایر در مرز منطقه ضروری است. با وجود اینکه پوشش سنگفرش در مقایسه با پوشش گیاهی و پوشش با مواد دارای درخشندگی بالا اثر کمتری در کاهش جزایر حرارتی دارد، تخصیص این پوشش در

فهرست منابع

- Abel, C., Horion, S., Tagesson, T., Brandt, M., & Fensholt, R. (2019). Towards improved remote sensing based monitoring of dryland ecosystem functioning using sequential linear regression slopes (SeRGS). *Remote Sensing of Environment*, 224, 317–332. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.010>

- Actionbioscience. (2015). *Urban Heat Islands: Hotter Cities*. <http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html>
- Amini, F., & Hu, G. (2021). A two-layer feature selection method using Genetic Algorithm and Elastic Net. *Expert Systems with Applications*, 166, 114072. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114072>
- Chen, Y., Zheng, B., & Hu, Y. (2020). Numerical Simulation of Local Climate Zone Cooling Achieved through Modification of Trees, Albedo and Green Roofs—A Case Study of Changsha, China. *Sustainability*, 12(7), 2752. <https://doi.org/10.3390/su12072752>
- Dong, J., Lin, M., Zuo, J., Lin, T., Liu, J., Sun, C., & Luo, J. (2020). 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*, 255, 120152. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120152>
- Fahmy, M., Ibrahim, Y., Hanafi, E., & Barakat, M. (2018). Would LEED-UHI greenery and high albedo strategies mitigate climate change at neighborhood scale in Cairo, Egypt? *Building Simulation*, 11(6), 1273–1288. <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0463-7>
- Goldberg, D. E., & Holland, J. H. (1988). Genetic algorithms and machine learning. *Machine Learning*, 3(2), 95–99.
- Govind, N. R., & Ramesh, H. (2020). Exploring the relationship between LST and land cover of Bengaluru by concentric ring approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(10), 650. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08601-x>
- Han, S., Bian, H., Tie, X., Xie, Y., Sun, M., & Liu, A. (2009). Impact of nocturnal planetary boundary layer on urban air pollutants: Measurements from a 250-m tower over Tianjin, China. *Journal of Hazardous Materials*, 162(1), 264–269. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.056>
- Hendel, M., Gutierrez, P., Colombert, M., Diab, Y., & Royon, L. (2016). Measuring the effects of urban heat island mitigation techniques in the field: Application to the case of pavement-watering in Paris. *Urban Climate*, 16, 43–58. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.02.003>
- Huang, B., Ni, G., & Grimmond, C. S. B. (2019). Impacts of Urban Expansion on Relatively Smaller Surrounding Cities during Heat Waves. *Atmosphere*, 10(7), 364. <https://doi.org/10.3390/atmos10070364>
- Johnson, D. P., Stanforth, A., Lulla, V., & Luber, G. (2012). Developing an applied extreme heat vulnerability index utilizing socioeconomic and environmental data. *Applied Geography*, 35(1), 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.04.006>
- Kutner, M., Nachtsheim, C., results, search, & Li, W. (2004). *Applied Linear Statistical Models* (5th edition). McGraw-Hill/Irwin.
- Li, Y., Liu, Y., Ranagalage, M., Zhang, H., & Zhou, R. (2020). 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*, 9(10), 568. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100568>
- Lin, T., Sun, C., Li, X., Zhao, Q., Zhang, G., Ge, R., Ye, H., Huang, N., & Yin, K. (2016). Spatial pattern of urban functional landscapes along an urban–rural gradient: A case study in Xiamen City, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 46, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.11.014>
- Liu, T., Qi, Y., Cao, G., & Liu, H. (2015). Spatial patterns, driving forces, and urbanization effects of China's internal migration: County-level analysis based on the 2000 and 2010 censuses. *Journal of Geographical Sciences*, 25(2), 236–256. <https://doi.org/10.1007/s11442-015-1165-z>
- Madhumathi, A., Subhashini, S., & VishnuPriya, J. (2018). *The Urban Heat Island Effect its Causes and Mitigation with Reference to the Thermal Properties of Roof Coverings* (SSRN Scholarly Paper ID 3207224). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3207224>
- Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522–538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>

- Mostofi, N., & Hasanlou, M. (2017). 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*, 25(3), 241–250. <https://doi.org/10.3846/16486897.2016.1223084>
- Motieyan, H., & Mesgari, M. S. (2018). Development of a TOD Index through Spatial Analyses and HFIS in Tehran, Iran. *Journal of Urban Planning and Development*, 144(4), 04018038. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000484](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000484)
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Parker, J. (2020). The Leeds urban heat island and its implications for energy use and thermal comfort. *Energy and Buildings*, 110636. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110636>
- Sanchez, L., & Reames, T. G. (2019). Cooling Detroit: A socio-spatial analysis of equity in green roofs as an urban heat island mitigation strategy. *Urban Forestry & Urban Greening*, 44, 126331. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.014>
- Santamouris, M. (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 224–240. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.047>
- 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>
- Sharma, A., Fernando, H. J. S., Hamlet, A. F., Hellmann, J. J., Barlage, M., & Chen, F. (2017). *Urban meteorological modeling using WRF: a sensitivity study*. 37(4), 1885–1900. <https://doi.org/10.1002/joc.4819>
- Singh, A., & Singh, K. K. (2017). Satellite image classification using Genetic Algorithm trained radial basis function neural network, application to the detection of flooded areas. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 42, 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2016.11.017>
- Theeuwes, N. E., Steeneveld, G.-J., Ronda, R. J., Rotach, M. W., & Holtslag, A. A. M. (2015). Cool city mornings by urban heat. *Environmental Research Letters*, 10(11), 114022. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/114022>
- Xian, G., & Crane, M. (2006). An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.09.023>
- Yang, J., & Bou-Zeid, E. (2019). Scale dependence of the benefits and efficiency of green and cool roofs. *Landscape and Urban Planning*, 185, 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.02.004>
- Zhang, H., Li, T.-T., & Han, J.-J. (2020). Quantifying the relationship between land use features and intra-surface urban heat island effect: Study on downtown Shanghai. *Applied Geography*, 125, 102305. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102305>
- Zhang, H., Qi, Z., Ye, X., Cai, Y., Ma, W., & Chen, M. (2013). Analysis of land use/land cover change, population shift, and their effects on spatiotemporal patterns of urban heat islands in metropolitan Shanghai, China. *Applied Geography*, 44, 121–133. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.07.021>
- Zhou, W., Wang, J., & Cadenasso, M. L. (2017). Effects of the spatial configuration of trees on urban heat mitigation: A comparative study. *Remote Sensing of Environment*, 195, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.043>