



Spatial-Temporal Variation of Heat Island Pattern in Tehran and Its Effective Factors

Document Type
Research Paper

**Maryam Meftahi¹, Seyed Masoud Monavarit^{2*}, Mir Masoud Kheikhah Zarkesh³,
Alireza Vafae Nezhad⁴, Seyed Ali Jozi⁵**

Received
2020/10/14

Accepted
2022/07/11

- 1 PhD Candidate, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
- 2 Associate Professor at Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
- 3 Associate Professor at RS&GIS Group of Natural Resources and Environment Faculty, Research & Science branch, Islamic Azad University, & the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Areeo, Tehran, Iran
- 4 Assistant Professor at Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
- 5 Professor at Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

DOI: [10.22034/eiap.2022.158576](https://doi.org/10.22034/eiap.2022.158576)

Abstract

The aim of the research is to investigate the structure of the spatial-temporal heat island in the city of Tehran, as well as the physical and biophysical properties of Land surface, such as Land Use, vegetation, climatic indicators, also some parameters resulting from population concentration and human activities, including the main indicators of air pollution and density of buildings. For this purpose, after the corrections of images, calculates emissivity and the average brightness temperature and finally zoning the land surface temperature in the time interval of twenty years by using remote sensing methods was done. Then the correlation between the land surface temperature and effective parameters with normalization of information was investigated through mathematical algorithms and statistical analysis in GIS software and finally, the regional vulnerability of Tehran metropolis was determined. The results and spatial-temporal analysis showed a direct relationship between parameters such as density of buildings, concentration of activities and population with land surface temperature as well as some air pollutant indicators, and on the other hand, the inverse relationship of some other parameters such as land use, vegetation and climate indicators with the land surface temperature. This study showed that Tehran is faced to the formation of hot spots in the west and southwest regions and the number of cold spots in the north of Tehran is considerable.

Keywords: Land Surface temperature, Brightness temperature, Temporal-spatial structure, Geostatistical analyzes, Correlation of affective parameters on heat phenomenon, Vulnerability of Tehran city

Extended abstract

Introduction

The urban population around the world has doubled from 1750 million in 1980 to 3571 million in 2010, and this number will reach up to 5058 million in 2030 ("World Population Prospects - Population Division - United Nations" n.d.). According to the United Nations' report, almost 54% of the world's population lives in cities, which is predicted to enhance to 66% by 2050, while urban areas occupy less than 1% of the Earth's surface (Nations 2014). This Rapid urbanization can lead to a number of problems, including urban heat island (Zhou et al. 2014), the reduction of vegetation coverage (D'Amour et al. 2017), changes in land surface phenology (Yao, Wang, Huang, et al. 2017), and air pollution (Tao et al. 2016).

Urban heat island (UHI) refers to an environmental problem which has been caused by urbanization, the deterioration of Thermal Comfort Level (TCL), and poor air quality, especially in developing countries. UHI is related to higher air and surface temperature (Landsberg 1981; Mat Santamouris 2007). It is referred to a phenomenon, in which the air temperature in the city is higher than that of the countryside with a huge number of negative effects (Zhou et al. 2014). It can influence vegetation activity (Yao, Wang, Huang, et al. 2017) and climate (Arnfield 2003). In addition, UHI can affect human health (Gong et al. 2012) and energy consumption (Akbari et al. 2016; M. Santamouris et al. 2015). The UHI may result in more serious problems in the context of global warming (Patz et al. 2005); for example, Goggins et al. (Goggins et al. 2012) indicated when the air temperature increased by 1°C (above 29°C), mortality rate could increase by 4.1% accordingly.

Tehran, as well as most megacities in the world, is faced with thermal phenomenon mainly due to some environmental issues, such as high population density, the presence of non-standard structures at the level of the city, air pollution, climate change, and the lack of green space because of the drastic changes in land use and its conversion into other uses. Perhaps, urban heat island is considered as the most obvious example of the human impact on the climate on a local and regional scale. It is regarded as one of the hazards of the environment emerging when the natural surface is replaced by buildings, roads, and other facilities of urban structures (Rezaeei Rad and Rafieyan 2017; Braungart et al. 2008). So, this research can also be useful and significant in terms of the characteristics of TM (Tehran metropolis) and also 17 Sustainable Development Goals (SDGs) as the 2030 Agenda for Sustainable Development, which must be fulfilled by all developed and developing countries in a global partnership. (Ii, n.d.; Arslan, Durak, and Aytac 2016; Shmelev and Shmeleva 2018).

For this purpose, it is essential to systematically study the temporal trends of UEs on urban environment (Yao et al. 2019) and in this regard, Remote sensing provided a new method for studying the earth surface process, including LST (Kuang et al. 2016), and UHI (Mitz et al., n.d.). There have been many studies investigating LST; for example, Tariq & Shu in 2020 used Landsat 5, 7, and 8 data for mapping seasonal LULC and LST distributions during May and November of the years 1990, 1998, 2004, 2008, 2013, and 2018 in Faisalabad, Pakistan, to study the effect of urban growth. the research is aimed at predicting seasonal Land-Surface-Temperature (LST) as well as Land-Use and Land-cover (LULC) with a Cellular-Automata-Markov-Chain (CA-Markov-Chain) (Tariq and Shu 2020).

Guha et al. in 2020 used premonsoon Landsat satellite sensor in the years 2002, 2006, 2010, 2014, and 2018 to monitor the interrelationship of land surface temperature (LST) with normalized difference vegetation index (NDVI) in Raipur City of India. The results describe that the mean LST of Raipur City is gradually increased over time. Also, the value of mean NDVI is higher in Landsat 8 data than Landsat 5 and Landsat 7 data (Guha, Govil, and Diwan 2020).

Kim et al. in 2019 used Landsat TM 5 in 2004 and Landsat 8 TIRS in 2014 and combined them with parcel-based land use information, which contained data on BCR, FAR, and zoning-based land use type. The study investigated how changes in land surface temperature (LST) from 2004 to 2014 were attributable to zoning-based land use type in Seoul in association with the building coverage ratio (BCR), floor area ratio (FAR), and a normalized difference vegetation index (NDVI) in Seoul (Kim et al. 2019).

In general, this research intends to evaluate Spatio-temporal changes in different periods, as well as some of the effective factors influencing the thermal phenomena, the vulnerability of each factor in terms of thermal

phenomena, and the correlation of each factor with LST and the final correlation with thermal phenomena to reduce future risks and increase environmental quality in megacities like Tehran. This facilitates the planning among human activities, and distribute facilities, population, and accessible space for activities appropriately. Finally, it seeks to provide appropriate practical solutions for urban Spatio-temporal planning to manage future prospects and increase environmental quality to help urban planners and managers to be directed towards sustainable development.

Methodology

As mentioned earlier, the effect of urban Heat Island is one of the most significant problems of urban communities. Tehran, as well as other big cities in the world, is facing this phenomenon because of the environment-related issues, including population density, the presence of high-rise buildings, non-standard urban structure, air pollution, climate change, and the lack of green space due to the drastic changes in land use.

In this research, new and applied technologies, such as Spatio-temporal GIS and Remote sensing (thermal remote sensing) are used to have a temporal and spatial view of the city (the study area of Tehran). In addition, spatial information systems because of having the ability to perform a variety of mapping, modeling and combining layers and land use planning, such as TerrSet 2020 that regulates human activities, proper distribution of facilities and population and accessible space for activities are carried out to investigate the environmental problems of Tehran city. Using thermal changes, measurement techniques, land-use changes, vegetation, air pollutants, and meteorological parameters can prepare different maps (Vahidnia, Vafaeinejad, and Shafiei 2019; Vafaeinezhad et al. 2009).

Therefore, studying urban heat islands and their changes is possible by calculating the surface temperature of the land. Radiative transfer equation method as an LST retrieval method was used in this study. After the calculation of LST through RS and GIS-based Spatio-temporal methods and QGIS for over 20 years, the zoning of the land surface temperature was finally carried out.

In the next stage, zoning maps of each of the effective factors were prepared to investigate the relationship between each of the related factors. For this purpose, after calculating LST and preparing its relevant maps for studying the relationship between land-use changes on urban heat islands, the maps of land-use and changes were prepared using satellite imagery, field observations and visits, and remote sensing-based methods, including supervised classification methods (Sertel et al. 2008) during the period 1985-2020.

NDVI is a famous vegetation index that is used in calculating vegetation changes. NDVI is applied to quantify vegetation greenness and is useful in understanding vegetation density and assessing changes in plant health. In addition, the NDVI index is a numerical index for vegetation detection. The vegetation index was investigated using remote sensing methods and the maps were prepared by combining near-infrared wavelength and red wavelength for over 20 years in cold and hot seasons.

To prepare the maps of meteorological indicators and air pollution separately, the data related to the 15 meteorological climate and pollution relevant indicators for the hot and cold seasons were validated for this purpose, and the samples of test and train were selected and validated using geostatistical analysis and mathematical algorithms of each index. Finally, zoned maps in GIS were prepared using statistical analysis, such as IDW for all of the 15 climate parameters and 6 air pollution indices over 20 years.

To map the density zoning of buildings, after collecting and implementing the information in GIS, a density zoning map was prepared using geostatistical analysis.

Finally, after preparing all of the basic maps, including land surface temperature, land use, NDVI, climate parameters, main indicators of air pollution and building density, first spatial correlation between each of the influential variables and land surface temperature was conducted, and in the next step, the correlation of all effective factors and land surface temperature was determined using Spatio-temporal GIS. Eventually, to investigate the vulnerability of the Tehran metropolis, its zoning map in GIS was prepared and analyzed using geo-statistical methods.

Results & Discussion

As the graphs 1 to 4 showed, the peak of LST changes in 2020 in the hot seasons was about 315-320 kelvin (42-47 degrees Celsius) and in comparison, in 2013 in the same season it was about 310-315 kelvin (36-41

degree Celsius). In the cold seasons of 2020, the peak of LST changes was between 310 and 315 kelvin (36-41 degree Celsius) and in 2013 in the same season, it was about 310 kelvin (36 degree Celsius).

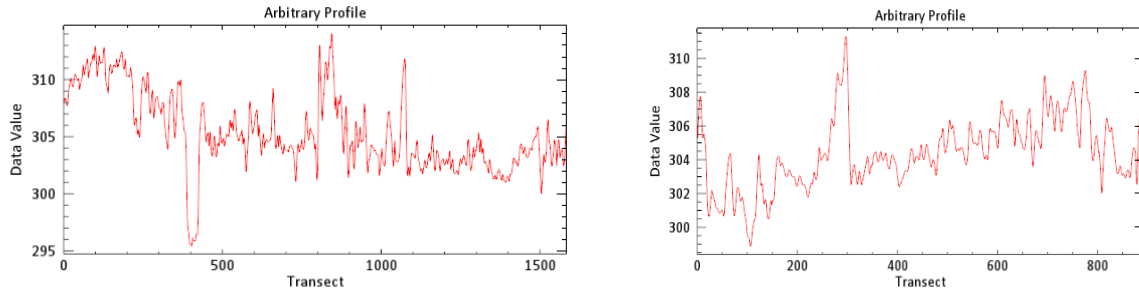


Figure 1. The Horizontal (region 22 to 4) & vertical (region 1 to 20) graphs of BT (Brightness temperature) in 2013.10

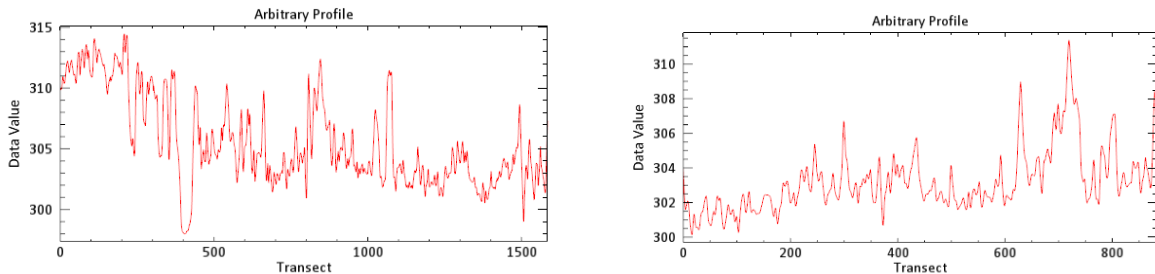


Figure 2. The Horizontal (region 22 to 4) & vertical (region 1 to 20) graphs of BT (Brightness temperature) in 2020.09

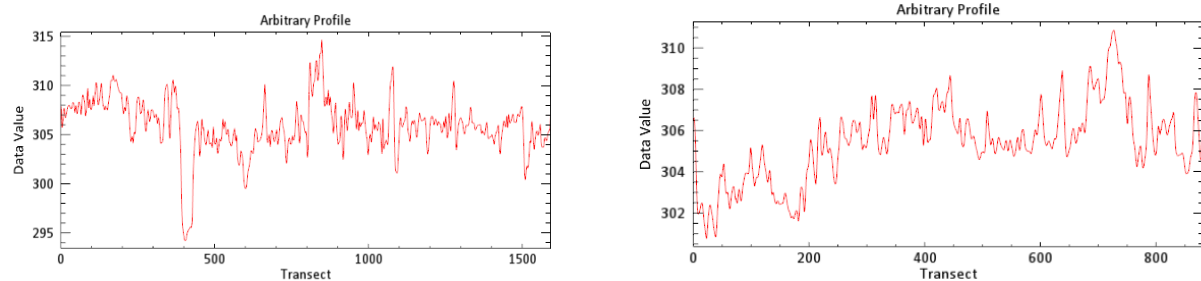


Figure 3. The Horizontal (region 22 to 4) & vertical (region 1 to 20) graphs of BT (Brightness temperature) in 2013.05

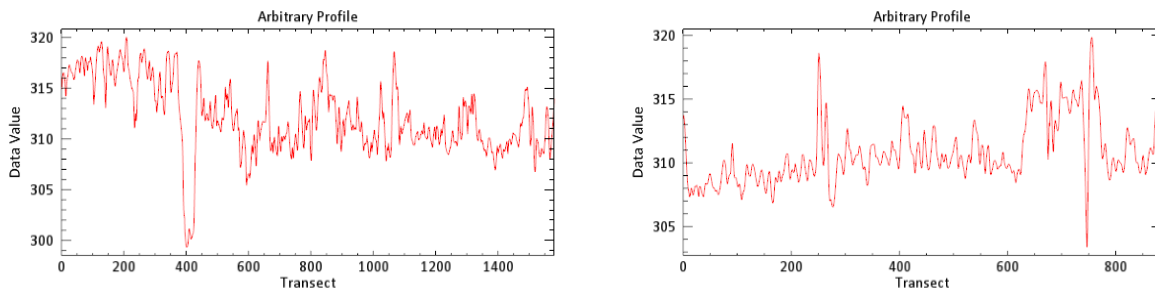


Figure 4. The Horizontal (region 22 to 4) & vertical (region 1 to 20) graphs of BT (Brightness temperature) in 2020.05

The study showed detailed analyses and monitoring of LST by using the newest RS and GIS methods and some extensions. Also, land use/cover changes were investigated by applying modern tools of remote sensing, such as land change modeler. This was a significant step toward warning the related authorities of the circumstances of the Urban heat island changes. Such studies aim to contribute to the managers, decision-makers, and urban planners by informing them on the past and current LST changes, and

influencing illegal urbanization through appropriate urban management, environmental policy, and the future predictions of the urban sprawl, before such problems turn out to be irreversible. In developing countries, satisfactory urbanization attempts need to be more consciously made by the authorities.

The current study emphasizes that the factors, such as vegetation and land use or construction are directly related to surface temperature; therefore, in areas of the city where there is more vegetation, the surface temperature is lower. Also, according to the research and zoning maps, some climatic parameters, such as air temperature have a significant and positive correlation with surface temperature. Based on the results, in the northern areas of the city where the air temperature is lower, the surface temperature is low as well. However, the factors, such as humidity and precipitation have a negative correlation with LST. This parameter can play an important role in reducing surface temperature, especially in coastal areas (Bektaş Balçık 2014).

Nevertheless, some climatic parameters, such as wind speed and wind direction have different stances and behaviors. The present study shows that despite the prevailing wind direction from the west and the wind speed from the western areas of the city, the intensity of hot spots in the western areas of Tehran is more than that in other areas. These results indicate that the direction and speed of wind in order to create a balance in surface temperature are subject to other parameters, including urban structures. According to the high-rise buildings in the west of Tehran and some activities, including commercial and industrial ones, such cases have a very positive correlation with the urban heat island.

The correlation analysis was performed on the relationship between the density of buildings and their Heights and LST using various Spatio-temporal GIS models. The results showed a positive correlation between built-up land and LST. All models indicate that the development of built-up land has contributed to the temperature rise in the region. So, the positive correlation between IBI (representing built-up land) and LST suggests that the artificial surfaces can strengthen the UHI effect.

Other factors that can be considered as controllable ones in the discussion of urban heat islands are the main air pollutants, including NO₂, SO₂, CO, CO₂, PM_{2.5}, and PM₁₀ ppm. The results showed that air pollutants and surface temperature have a positive correlation with each other, because in addition to the western areas of the city, the southern ones, including areas 15 and 16 are as well involved in urban heat island due to the existence of large combined cycle power plants. In the areas 9, 18, and 21 where industrial and workshop activities are done, hot thermal spots are seen and this by itself leads to the intensity of the Urban heat island. In the LST maps, regardless of main air pollutants, the heat island is the most concentrated in the western areas of the city, while in the correlation maps between the pollutants and the surface temperature hot clusters are formed in the southern and southeastern regions.

In this research, after examining each of the effective factors and preparing zoning maps, their spatial correlation with surface temperature was measured using multiple geostatistical algorithms, and finally, the zoning of the city was done based on the vulnerability of regions using Spatio-temporal GIS-based methods. The zoning results show that the western areas of the city, including regions 22 and 21, affected by high-rise construction and industrial, workshop, and commercial activities, have the highest vulnerability in the thermal island debate, showing how the activities are distributed. It is effective in creating an urban thermal island. Regions 2 and 5, where population concentration, as well as building density, has increased over the years, have also shown greater vulnerability in the thermal island debate. Therefore, in general, the role of urban construction in creating hot spots is significant.

Considering the discussions about wind direction and wind speed, we conclude that urban structure and construction indicators play a very important role in creating a thermal island; thus, sustainable urban development policies have their true meaning here. This shows that it is possible to reduce the intensity of the urban heat island by modifying urban planning.

Air pollutants also serve an important role in intensifying hot spots in the city and the urban heat island. Besides the western regions of Tehran, the southern ones and regions 15 and 16 are high-risk because of the increase in air pollutants in the discussion of vulnerability. The industrial and workshop activities, or the ones that lead to an increase in air pollutants, including power plants, should consider environmental management programs agreeing with the urban structure and related standards.

This research showed the possibility and a wide power of using satellite images and RS-GIS-based methods. The study aims to provide more information for the researchers who have tendencies to study on UHI and heat island phenomena.

This investigation highlights the use of Spatio-Temporal GIS and investigates the UHI in big and populated cities like Tehran. Moreover, it considers the most effective factors and their correlation and relationship with LST. Finally, the zoning of the vulnerability of different regions is determined.

Conclusion

Some studies showed that the countries and governments which have paid attention to urban environmental management in addition to physical and social development have prevented urban crises and complications; thus, they have taken some steps towards sustainable development. Conversely, the countries and governments which have neglected the environment in planning, designing, implementing construction projects, urban management, monitoring, and evaluating urban development projects have always faced crises and challenges. (Kaya 2007; Kavzoğlu 2008). Among the UN-HABITAT SDGs goals, SDG 11 focuses on sustainable cities (United Nations 2019).

The current study emphasizes the necessity for an additional tool to translate global targets into local actions. To determine the targets of local actions, which will help in attaining SDG 11, it is quite necessary to develop Urban planning based on environmental indicators. For this purpose, careful planning must be made to achieve the goals of sustainable development considering both controllable and uncontrollable variables which can improve the condition of the cities and reduce heat islands (Rezaeei Rad and Rafieyan 2017).

Totally, Spatial analysis of hot and cold spots in Tehran metropolis showed that the number of thermal clusters has increased in the last decade, which demands for proper urban management more than before. In this regard, studying of the effective parameters on urban heat island, including land-use, vegetation, climatic indices, air pollutants and density of buildings can also help the planners and urban managers to take safer and more accurate steps towards urban management.

Based on the study, some policies and programs that can be considered are as follows:

- Changing the pattern of construction and density of buildings.
- Creating a green belt and green space in and around the city due to the per capita shortage of green space.
- Strengthening the connection to public transport systems and installing public transport stations. This is effective in reducing air pollutants and the severity of the thermal phenomenon.
- Controlling industrial activities within urban areas, considering strict standards, and monitoring the performance of the unit in terms of compliance with environmental standards.
- Reducing urban traffic load by considering the correct rules in traffic management, and increasing access to pedestrians, bicycles, and public transportation.
- Developing and implementing deterrent laws on land-use change, vegetation expansion, and compliance with green city construction standards.
- Changing the urban planning pattern by focusing on green roofs, cool paving and changes in materials used.
- Constructing high-rise buildings in the wind's direction and air corridors must be avoided.
- Changing urban construction with appropriate urban standards.
- Improving the geometric conditions of the passages, the width of the streets and alleys, and creating a fit between the width and the height of the buildings.
- Forming the city in a way that the flow of air increases.

بررسی تغییرات مکانی - زمانی الگوی جزیره حرارتی سطح شهر تهران و عوامل موثر بر آن

مریم مفتاحی^۱، سید مسعود منوری^{۲*}، میرمسعود خیرخواه زرکش^۳، علی رضا وفایی نژاد^۴، سید علی جوزی^۵

۱ دانشجوی دکتری ارزیابی و آمایش سرزمین، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست،

واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲ دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات،

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳ دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

۴ استادیار گروه مهندسی ژئوتکنیک و حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۵ استاد گروه محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۷؛ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰)

[10.22034/eiap.2022.158576](https://doi.org/10.22034/eiap.2022.158576)

چکیده

هدف از تحقیق حاضر بررسی ساختار مکانی- زمانی جزیره حرارتی شهر تهران، همچنین خواص فیزیکی و بیوفیزیکی سطح زمین از قبیل کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شاخص‌های اقلیمی، همچنین برخی از پارامترهای حاصل از تمرکز جمعیت و فعالیت‌های انسانی از جمله شاخص‌های اصلی آلودگی هوا و تراکم ساختمان‌ها است. بنابراین، بدین منظور پس از تصحیحات تصاویر، محاسبه گسیل‌مندی و دمای درخشندگی، پهنه بندی دمای سطح زمین در بازه زمانی بیست ساله در محیط سنجش از دور انجام گردید. پس از آن همبستگی دمای سطح زمین و پارامترهای موثر با نرمال‌سازی اطلاعات از طریق الگوریتم‌های ریاضی و آنالیزهای زمین آماری در محیط GIS مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت نحوه آسیب‌پذیری منطقه‌ای کلانشهر تهران مشخص شد. نتایج و تحلیل‌های فضایی- مکانی مختلف ارتباط مستقیم پارامترهایی چون تراکم ساختمان‌ها، تمرکز فعالیت‌ها و جمعیت با دمای حرارتی سطح زمین و همچنین برخی از شاخص‌های آلاینده هوا، و از طرفی رابطه معکوس برخی پارامترهای دیگر همچون کاربری اراضی و پوشش گیاهی و شاخص‌های اقلیم را با دمای سطح زمین به تصویر کشید. این پژوهش نشان داد تهران با شکل‌گیری لکه‌های داغ در مناطق غرب، جنوب شرقی- غربی روبه‌رو بوده و میزان لکه‌های سرد در منطقه شمال تهران قابل توجه می‌باشد.

کلید واژه‌ها: دمای سطح زمین، دمای درخشندگی، ساختار مکانی- زمانی، مکانی، آنالیزهای زمین آماری، همبستگی پارامترهای موثر بر جزیره حرارتی، آسیب‌پذیری شهر تهران

سرآغاز

تغییرات اقلیمی معاصر، حیات انسانی را در سطح اولیه خود با بحران‌های جدید روبه‌رو ساخته است. عمده‌ترین مشکل این تغییرات مساله گرمایش جهانی است. افزایش دما، انباشت گاز دی اکسید کربن و نیز بلایای طبیعی ناشی از گرم شدن کره زمین در دهه‌های اخیر به بالاترین سطح رسیده و سبب بروز خشکسالی، آب شدن یخ‌ها و بالا آمدن سطح دریا شده است. با توجه به جدی بودن عواقب از میان رفتن تعادل آب و هوایی، هیچ کشوری از این بلایا در امان نیست. غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو زمین به حدی رسیده که تغییرات نامطلوب جوی بسیاری را به دنبال داشته و هر چه در حل آن تاخیر شود پرهزینه تر و دشوارتر خواهد شد.

در میان موضوعات محیطی مهم که با فعالیت‌های انسانی ارتباط دارد، اثر جزیره حرارتی شهری یکی از مهمترین مشکلات جوامع شهری محسوب می‌گردد. شهر تهران نیز همانند بیشتر شهرهای بزرگ دنیا به دلیل مشکلات محیط زیستی فراوان از جمله تراکم جمعیت، وجود سازه‌های غیراستاندارد فراوان در سطح شهر، آلودگی هوا، تغییرات اقلیمی، کمبود فضای سبز به دلیل تغییرات شدید کاربری اراضی و تبدیل شدن به سایر کاربری‌ها با چنین پدیده‌ای روبه‌رو می‌باشد. جزیره حرارتی تغییرات محیطی ناشی از شهرنشینی می‌باشد. شاید بتوان گفت که آشکارترین مثال تاثیر انسان بر روی اقلیم در مقیاس محلی و منطقه‌ای پدیده جزیره حرارتی شهری می‌باشد، این پدیده یکی از مخاطرات محیطی نوظهور ناشی از گسترش شهرنشینی است، جزیره حرارتی شهری هنگامی شکل می‌گیرد که درصد زیادی از پوشش‌های طبیعی سطحی از بین می‌روند و جای خود را به ساختمان‌ها، جاده‌ها و سایر تاسیسات شهری می‌دهند. تمامی این موارد نشان از اهمیت بالای شهر تهران به لحاظ لزوم مدیریت مناسب شاخص‌های محیط‌زیست و بازنگری و تغییر در فرآیند و ساختار مدیریت پایدار شهری آن می‌باشد (Rezaeei Rad, 2017).

بنابراین، با چنین رویکردی این تحقیق با هدف بررسی تغییرات مکانی-زمانی دمای سطح زمین در بازه‌های زمانی مختلف همچنین برخی از عوامل قابل کنترل و غیرقابل کنترل موثر بر آن، نحوه همبستگی فضایی هر یک از عوامل در نظر گرفته شده با جزیره حرارتی و همبستگی نهایی تمامی عوامل موثر با جزیره

حرارتی، چگونگی آسیب‌پذیری مناطق شهر تهران با استفاده از الگوریتم‌های زمین آماری و در نهایت ارایه راهکارهای نظری- عملیاتی مناسب برای برنامه‌ریزی مکانی- زمانی شهری به منظور کاهش مخاطرات آبی و افزایش کیفیت محیط‌زیست انجام شده است، تا شاید بتوان به کمک آن شهرسازان، برنامه‌ریزان و مدیران شهری را به سمت توسعه پایدار هدایت نمود و امکان برنامه‌ریزی بین فعالیت‌های انسانی، توزیع مناسب امکانات و جمعیت و همچنین فضای قابل دسترسی برای انجام فعالیت‌ها را فراهم ساخت.

مرور منابع

• نگاهی به مطالعات انجام شده در خارج کشور

(Mohan et al., 2013)، به بررسی اثر جزیره گرمایی شهری بر کاربری‌های اراضی مختلف با استفاده از اندازه‌گیری‌های هواشناسی خرد و داده‌های سنجش از راه دور برای کلان شهر دهلی پرداختند. آنها از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی در سال ۲۰۱۰ و تصاویر ماهواره‌ای مادیس استفاده کردند به طوری که ابتدا کاربری‌های اراضی این شهر به طبقات مختلف کاربری پرتراکم، کم تراکم و شهری تقسیم‌بندی گردید. سپس از طریق تصاویر ماهواره مادیس دمای سطح شهر (LST) را محاسبه کردند و در نهایت تاثیر LST را نسبت به کاربری‌ها سنجیدند. نتایج تحقیق نشان داد دمای کاربری شهری نسبت به کاربری‌های دیگر بیشتر بوده و دمای شب‌های دهلی بیشتر از دمای روزهای آن می‌باشد.

(Balçık et al., 2014)، تاثیرات ترکیبات اجزای شهری را در به وجود آمدن جزایر حرارتی شهر استانبول را با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور بررسی کردند. در این مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و سنجنده TM5، شاخص IB1، شاخص SAVI به عبارتی شاخص نرمال شده پوشش خاک، شاخص NDBI، شاخص MNDWI به عبارتی شاخص نرمال شده اصلاح آب، به بررسی دمای سطح زمین شهر استانبول پرداخته شد. در این مطالعه تاثیرات اجزای شهری (سطوح غیرقابل نفوذ، سطوح مصنوعی، پوشش گیاهی و آب) در به وجود آمدن جزایر حرارتی بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که سطوح مصنوعی یک رابطه مثبتی با LST به جای یک رابطه خطی ساده دارد. شاخص ارزیابی محیط‌زیستی منطقه به

آسایش حرارتی مسکونی و انرژی خنک‌کننده در کشور تایوان پرداخته اند، در این مقاله تغییرات انرژی خنک‌کننده مسکونی ناشی از گرم شدن شهری در حال و آینده مورد بحث قرار گرفته است. داده‌های حاصل از یک مدل هواشناسی برای برش‌های زمانی ۱۹۷۹-۲۰۰۳، ۲۰۱۵-۲۰۳۹ و ۲۰۷۵-۲۰۹۹ برای شبیه‌سازی انرژی پویا ساختمان در منطقه تایوان مرکزی استفاده شد. توزیع‌های مکانی و زمانی تاثیر خطر گرم شدن فضای داخلی و مصرف انرژی خنک‌کننده سالانه توسط UHI و اثرات گرم شدن کره زمین در برابر مقدار مرجع کمی شد. علاوه بر این، از آنجا که جریمه انرژی می‌تواند برای تخمین سریع تاثیر گرمایش شهری در کل مصرف انرژی خنک‌کننده یک شهر معین استفاده شود، همبستگی خطی جریمه انرژی و میزان اثر UHI نیز مورد بحث قرار گرفت.

(Huang et al., 2017)، در تحقیقی تحت عنوان تجزیه و تحلیل اقلیمی برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای جزیره حرارتی شهری در شانگهای طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳، از روش سنجش از دور برای تهیه نقشه‌های ماهانه (Canopy Urban Heat Island CUHI) در طول دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۳ استفاده نموده‌اند. سپس با استفاده از رگرسیون خطی گام به گام، دمای هوا در روز و شب در چهار زمان عبور از سطح زمین بر اساس سری زمانی Terra / Aqua-MODIS و سایر متغیرهای کمکی از جمله شاخص پوشش گیاهی، شاخص اختلاف آب نرمال، زاویه اوج خورشید و فاصله تا ساحل، LST مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد CUHI روز در تابستان قوی‌ترین و در زمستان ضعیف‌ترین است، در حالی که CUHI در شب در تابستان ضعیف‌ترین و در پاییز قوی‌ترین است. میانگین سالانه CUHI روزانه طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۳ به ترتیب ۱/۰ و ۲/۲ درجه سانتی‌گراد است. میانگین سالانه CUHI شبانه هم حدود ۱/۰ درجه سانتی‌گراد است. در نتیجه نقشه‌های اقلیم‌شناسی CUHI، با تاکید بر تغییرات دما ارائه شد. این مطالعه اطلاعات لازم به برنامه‌ریزان شهری و مدیران محیط‌زیست برای ارزیابی و نظارت بر حرارت شهری که به طور مداوم تحت تاثیر تاثیرات طبیعی و انسانی تغییر می‌کنند، ارائه داده است.

(Zhou, 2018)، به طور کلی موضوع جزایر حرارتی شهری، پیشرفت‌ها، مشکلات و وضعیت آتی را در کشور چین مورد بررسی قرار داد. او نشان داد با استفاده از تصاویر حرارتی سنجش از راه دور، می‌توان با سنجنده‌های TM و TIRS به بررسی

منظور بررسی تاثیرات پوشش گیاهی زمین و سطوح مصنوعی در تجمع حرارت شهری محاسبه شد. بنابراین، رابطه کمی از اجزای شهری (سطوح مصنوعی، پوشش گیاهی و آب) و LST با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره مورد بررسی قرار گرفت، و ضریب همبستگی ۰/۸۲۹ به دست آمد. تحقیق فوق نشان داد که در مناطق با نرخ بالای شهرنشینی شاهد ظهور LST و تجمع حرارت شهری بوده ایم.

(Jinghu Pan, 2015)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات مکانی-زمانی و دینامیکی کشور چین را بررسی کردند. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنجنده‌های TM-ETM در سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۰۱ و ۲۰۱۱ استفاده کردند، به طوری که ابتدا با استفاده باندهای حرارتی سنجنده‌های TM-ETM دمای سطح شهر چین محاسبه شد. سپس تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDBI-NDVI) استخراج شد. پس از آن رابطه بین تغییرات پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در این سال‌ها بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که در ۲۰ سال اخیر تغییرات مکانی کشور چین همراه با تغییرات حرارتی این کشور بوده است. همچنین جزیره گرمایی یک رابطه خطی منفی با پوشش گیاهی شهری، و همبستگی لگاریتمی مثبت با پوشش سطح غیر نفوذ شهری داشته است.

(Mukherjee, 2016)، در تحقیق خود تحت عنوان تجزیه و تحلیل مناطق شهری و جزیره گرمایی شهری سطح با استفاده از داده‌های دمای سطح زمین مشتق شده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS، از طریق نقشه‌برداری و تجسم مناطق شهری و شناسایی اجزای اساسی SUHI در ۱۲ منطقه شهری کشور هند میزان LST محاسبه گردید. نتایج از طریق تفسیر بصری و روش آماری بر اساس تجزیه و تحلیل شباهت مقایسه گردید. مقدار آنتروپی نشان داد تغییر دما در داخل ساختمان و اطراف آن به دلیل تفاوت در کاربری زمین است و در LST با مقیاس کمتری بهتر به تصویر کشیده شده است. تجزیه و تحلیل شدت SUHI در چهار شهر نشان داد که میانگین دما در هسته داخلی شهر بالاتر از ۳۸/۳۸۷ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با مناطق حومه‌ای (۳۵/۸۵ درجه سانتی‌گراد) و روستایی (۳۲/۴۱ درجه سانتی‌گراد) است.

(Lung Hwang et al., 2017)، در پژوهشی به تحلیل اثر مکانی و زمانی جزیره گرمایی شهری و گرم شدن کره زمین بر

معنی‌داری را برای همه متغیرهای متقابل بین انواع کاربری زمین با چگالی بالاتر و یک متغیر ساختگی مبتنی بر سال ارایه داده است. به نظر می‌رسد یافته‌ها مربوط به تراکم مسکونی است که شامل مجتمع‌های آپارتمانی بلند مرتبه و تلاش‌های دولت برای تامین امنیت بیشتر پارک‌ها و فضاهای سبز از طریق پروژه‌های توسعه مجدد و تجدید شهری است.

(Shu & Tariq., 2020)، در پژوهشی تحت عنوان تجزیه و تحلیل دمای سطح زمین و تغییر کاربری پوشش زمین با استفاده از داده‌های ماهواره ای نوری چند زمانه و روش زنجیره CA-Markov در شهر فیصل آباد پاکستان، به بررسی تاثیر رشد شهری بر فیصل‌آباد پرداخته است. این تحقیق با هدف پیش‌بینی دمای سطح زمین (LST) و همچنین کاربری زمین و پوشش زمین (LULC) با زنجیره اتوماتیک سلولی- مارکف انجام شده است. داده‌های Landsat ۵، ۷ و ۸ در طول ماه‌های می و نوامبر برای سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۸، ۲۰۰۴، ۲۰۰۸، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۸ استفاده شد. سپس CA-Markov-Chain برای شبیه‌سازی تغییرات چشم‌انداز طولانی مدت در مراحل زمانی ۱۰ ساله از ۲۰۱۸ تا ۲۰۴۸ توسعه داده شد. علاوه بر این دمای سطح زمین در طول تابستان و زمستان به خوبی توسط شاخص شهری (UI) پیش‌بینی شد. از طریق تجزیه و تحلیل مارکوف می‌توان انتظار داشت که مناطق مسکونی با تراکم بالا و کم تراکم از ۲۲/۲۳ به ۲۴/۵۲ کیلومتر مربع و از ۱۰۸/۵۳ به ۱۲۲/۶۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۴۸ رشد کنند. دمای تابستان و زمستان ۲۴-۲۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۴-۱۶ درجه سانتی‌گراد و مناطق تحت پوشش از ۱۰/۷۵ به ۳/۱۴ درصد و از ۸/۸۱ به ۳/۴۷ درصد بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۴۸ کاهش یابد، در حالی که برای دمای تابستان و زمستان ۳۵-۴۲ درجه سانتی‌گراد و ۲۶-۳۲ درجه سانتی‌گراد مناطق تحت پوشش شهری از ۱۲/۶۹ به ۲۴/۱۷ درصد و ۶/۷۵ به ۱۵/۱۵ درصد افزایش یابد.

(Kwak et al., 2020)، در پژوهشی جهت تشخیص موفقیت برنامه‌ریزی پایدار: تحلیل مقایسه ای دینامیک جزیره گرمای شهری در شهرهای جدید کره را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق ۴ شهر جدید کره جنوبی را به لحاظ نتیجه اعمال سیاست‌های پایداری جزایر حرارتی شهرها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سیاست‌های توسعه پایدار تاثیر قابل توجهی بر الگوها و شدت‌های UHI دارند. مشخص شد که ساختارهای شهری، تحت سیاست‌های توسعه، از جمله نسبت

دمای سطح زمین (LST) و عوامل موثر بر آن با استفاده از ساختارهای مکانی- زمانی پرداخته و بیشترین تمرکز آن بر بررسی ارتباط دمای سطح و زیرسطح بوده است.

(Rani et al., 2018)، به تجزیه و تحلیل چند زمانی دمای سطح و NDVI در مورد جزیره حرارتی شهری که در اطراف منطقه مرطوب ایجاد شده در کشور هند (مطالعه موردی از دو منطقه جغرافیایی) پرداخته‌اند. نتیجه تحقیق همبستگی زمانی بین NDVI و دمای سطح را در دو منطقه مختلف از بعد جغرافیایی به همراه بعد اقتصادی نشان داده است. بنابراین، بر اساس تحقیق در نظر گرفتن بعد محیط‌زیستی را برای توسعه شهرنشینی الزامی دانسته‌اند.

(Gantumur et al., 2019)، در تحقیقی تحت عنوان پیامدهای جزیره گرمای شهری (UHI) مربوط به فعالیت‌های انسانی: مطالعه موردی در مغولستان، تاثیرات رشد شهری و تجمع دمای بالا به خصوص در مناطق ساخت و ساز شده در مغولستان را نشان داده و تفاوت دمای سطح زمین (LST) در سری‌های زمانی (۱۹۹۵ - ۲۰۱۶) و روابط بین LST و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) (فضای سبز در شهر) را با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری مانند رگرسیون‌ها مورد بررسی قرار داده است. نتایج نشان داده که روابط بین هر یک از عوامل، تعیین‌کننده مهم تغییرات در گرمای شهری است. علاوه بر این، فاکتور فصل بر قدرت تاثیرگذاری عوامل بسیار مهم است و بالاترین مقادیر شاخص در فصل تابستان می باشد.

(Kim et al., 2019)، در تحقیق خود به بررسی اثرات منطقه‌بندی و تراکم کاربری زمین بر تغییرات دمای سطح زمین در شهر سنول پرداخته و نشان دادند چگونه تغییرات دمای سطح زمین (LST) طی سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ به نوع کاربری اراضی مبتنی بر منطقه‌بندی در سنول بر اساس نسبت پوشش ساختمان (BCR)، نسبت سطح کف (FAR) و اختلاف پوشش گیاهی بستگی دارد. شاخص NDVI با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست محاسبه و آنها را با اطلاعات کاربری زمین حاوی داده‌هایی BCR، FAR و نوع کاربری زمین مبتنی بر منطقه‌بندی، ترکیب گردید. نتایج تجزیه و تحلیل توصیفی افزایش LST برای زمین مسکونی با تراکم کم و متوسط را نشان داد، در حالی که کاهش قابل توجه LST در مناطق مسکونی، نیمه مسکونی و تجاری با تراکم بالا در طول دوره زمانی پیدا شد. نتایج آماری مقادیر ضریب منفی آماری

(Daneshvar et al., 2015)، در تحقیقی تحت عنوان شناسایی و تحلیل زمانی- مکانی جزیره حرارتی شهر اصفهان با استفاده از داده‌های سنجنده‌ی ETM، در ابتدا دمای سطح زمین را با استفاده از داده‌ی سنجنده‌ی ETM+ و به کارگیری الگوریتم سبال استخراج نمود. نتایج تحلیل تغییرات زمانی این پدیده حاکی از افزایش خوشه‌های داغ و کاهش خوشه‌های خنک در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه بوده است. در ادامه به کارگیری دمای سطحی بازبایی شده از تصویر، شاخص‌های پیشرفت و تغییرات تحلیل و تجزیه در NDBI و NDVI بیانگر آن بود که جزایر حرارتی شهری به سمت مناطقی است که با فقر پوشش گیاهی و توسعه‌ی کاربری‌های ساخت و ساز شده مسکونی، صنعتی، تجاری و ... مواجه گردیده است.

(NaseriKia, 2016)، در پژوهش خود تحت عنوان تحلیل زمانی- مکانی الگوی پیدایش جزایر حرارتی شهری و آرایه راهکارهای کاهش آن از منظر برنامه‌ریزی شهری (نمونه موردی: منطقه ۹ شهرداری تهران)، تلاش بر برقراری ارتباط میان برنامه‌ریزی شهری و سایر حوزه‌های موثر همچون محیط زیست بوده و سعی داشته با به کارگیری مدل‌های موجود، ارتباطی قوی میان این دو برقرار نماید. تغییرات فضایی- زمانی در این پژوهش سعی شد تا با تکیه بر روش‌های آماری مناسب، تغییرات فضایی- زمانی ساختار جزیره حرارتی در بافت مسکونی اطراف فرودگاه مهرآباد که بیشترین اثر را از پدیده جزیره حرارتی تشکیل شده متحمل می‌شود، مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. در این پژوهش با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست و سپس با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک تغییرات فضایی- زمانی جزیره حرارتی منطقه ۹ تهران در دوره زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفت. بررسی عوامل مکانی موثر بر شدت جزیره حرارتی در منطقه ۹ تهران حاکی از این بود که فرودگاه مهرآباد بیشترین اثرگذاری را بر شدت جزیره حرارتی محدوده داشته، پس از آن، آزادراه‌ها و بزرگراه‌های پرازدحام اطراف محدوده و همچنین مراکز صنعتی موجود در جنوب محدوده، از مهمترین عوامل اثرگذار بر شدت جزیره حرارتی منطقه ۹ تهران به شمار می‌روند. در درجه بعدی می‌توان شاخص تراکم ارتفاعی ساختمان‌ها را از جمله عوامل موثر بر شدت جزیره حرارتی محدوده مطالعاتی بخصوص در بخش شمالی محدوده دانست. یافته‌ها نشان داد که شاخص تراکم جمعیت و فاصله از فضاهای سبز به طور کلی کمترین میزان اثرگذاری را بر شدت جزیره

فضای سبز و آبی، شبکه‌های جاده‌ای و توزیع مسکن، بر UHI تاثیر به سزایی دارند. در نهایت اعلام نمودند پژوهش مذکور می‌تواند مبنایی محکم برای بهبود برنامه‌ریزی شهر جدید کره و مدیریت مسایل محیط‌زیستی در سیستم‌های شهری برای برنامه‌ریزان، طراحان و تصمیم‌گیرندگان در ایجاد محیط پایدار باشد.

• نگاهی به مطالعات انجام شده در داخل کشور

(AlaviPanah et al., 2015)، به بررسی تحلیل زمانی- مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد با توجه به گسترش شهر و تغییرات کاربری پوشش زمین پرداختند. در این تحقیق با استفاده از تصاویر چند زمانه لندست (TM 1987، ETM+ 2000 و OLI/TIRS 2014) و روش حد آستانه (NDVI)، قانون پلانک برای تصاویر TM و ETM+ و الگوریتم دو پنجره برای تصاویر OLI/TIRS، دمای سطح زمین استخراج و سپس نرمال گردید و رابطه آن با کسر پوشش گیاهی و تغییرات کاربری پوشش زمین بررسی شد. نتایج نشان داد که حدود ۲۵۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی و فضای سبز به کاربری ساخته شده تبدیل گردیده که تقریباً برابر با افزایش مساحت طبقه دمایی بسیار گرم بوده است و این موضوع نشان می‌دهد که کاهش پوشش گیاهی، مهم‌ترین عامل در گسترش جزایر حرارتی شهر مشهد بوده است و بررسی تغییرات دمای سطح زمین و جزیره حرارتی نشان داد با از بین رفتن پوشش گیاهی داخل و اطراف شهر طبقه دمایی بسیار خنک (۲۹-۲۵) درجه سانتی‌گراد جای خود را به طبقه دمایی متوسط (۳۷-۳۳) درجه داده است و همچنین با دستکاری دامنه‌های اطراف شهر، دمای آنها افزایش یافته و به طبقه دمایی گرم (۴۱-۴۱) و بسیار گرم (۴۵-۴۱) درجه تغییر یافته‌اند و نتایج تغییرات توزیع دمای سطح نشان داد که چندین خوشه دمایی در شمال غرب، جنوب و جنوب غرب مشهد توسعه یافته‌اند و این تغییرات در شمال غرب به دلیل دستکاری اراضی متصل به شهر برای آماده‌سازی این اراضی برای گسترش آبی شهر و در جنوب به دلیل توسعه فرودگاه بوده است، همچنین دامنه‌های رو به آفتاب در غرب و جنوب غرب به دلیل دستکاری این دامنه‌ها گرم‌تر شده‌اند و علاوه بر این، تبدیل اراضی کشاورزی در شرق و شمال شرق سبب تغییر دما از طبقه دمایی خیلی خنک و خنک (۳۳-۲۹) درجه به متوسط و تا حدودی گرم شده است.

نشان داد که افزایش جزایر حرارتی با کمبود فضای سبز در محدوده هم معنی است. در نهایت پیشنهاد شد در نواحی منطقه ۷ که جزایر حرارتی در آنها دیده می‌شود بام سبز احداث شود و بعد از یک دوره زمانی در صورت کارایی برای کل نواحی تعمیم داده شود و نواحی که تراکم جمعیتی و تراکم ساختمانی وجود دارد فضای سبز سایه انداز در نظر گرفته شود.

(JahanDideh et al. 2019)، در مقاله‌ای تحت عنوان پایش جزایر حرارتی شهری با استفاده از سنجش از دور ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه: شهر شیراز، با استفاده از تصاویر سنجنده OLI/TIRS و ETM+ ماهواره لندست نقش تغییرات پوشش‌های مختلف سطح زمین و کاربری‌های اراضی شهری بر روی مکان تشکیل جزایر حرارتی و میزان شدت آنها مشخص نموده است. جهت برآورد جزایر حرارتی، دمای سطح زمین، NDVI و میزان گسیل‌مندی، از دو روش معادله چلانک و الگوریتم تک کاناله استفاده شده است. نتایج به دست آمده از این تحقیق بیانگر این است که سطوح بایر فاقد پوشش گیاهی در حاشیه شهر بالاترین دما را داشته و سردترین جزایر حرارتی متعلق به پوشش‌های گیاهی می‌باشد و همچنین شاهد تغییرات الگوی دمایی در فصل سرد سال نسبت به فصل گرم سال می‌باشیم. البته در بازه زمانی تحقیق کانون اصلی جزایر حرارتی در محدوده فرودگاه شهید دستغیب شیراز حفظ شده و در اطراف آن جزایر جدیدی نیز بعضاً شکل گرفته است.

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

شهر تهران در شمال ایران، در کوهپایه‌ها جنوبی رشته‌کوه البرز، از شرق به لواسانات و از غرب به کرج و از جنوب به ورامین محدوده گردیده و در بین ۵۱ درجه و ۴ دقیقه شرقی تا ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع شهر در بلندترین نقاط شمال به حدود ۲۰۰۰ متر و در جنوبی‌ترین نقاط به ۱۰۵۰ متر از سطح دریا می‌رسد. تهران از شمال به نواحی کوهستانی، و از جنوب به نواحی کویری منتهی شده، در نتیجه در جنوب و شمال دارای آب و هوایی متفاوت است. نواحی شمالی آب و هوای سرد و خشک و نواحی جنوبی آب و هوای گرم و خشک دارند (Statistical Yearbook of Tehran,) (Tehran Municipality, 2017).

حرارتی منطقه ۹ تهران دارا می‌باشند.

(RezaeiRad, 2017)، در پژوهش خود به تحلیل اثرات برنامه‌ریزی کالبدی بر تعادل مصرف انرژی نواحی شهر تهران، پرداخته است. تحقیق مذکور با هدف تبیین اثرات ناشی از فرآیند برنامه‌ریزی کالبدی بر تعادل انرژی سطوح نواحی شهری بر مبنای مناطق ۲۲ گانه کلانشهر تهران شکل گرفته است. یافته‌های تحقیق حاکی از ارتباط معکوس بعد فیزیکی کالبد با تعادل انرژی سطوح نواحی شهری در فرآیند برنامه‌ریزی شهر تهران بوده است. تحلیل‌های فضایی و رگرسیونی مختلف دستاوردها و یافته‌های پژوهش را در دو طیف علمی- نظری و اجرایی- عملیاتی خلاصه کرده است. تبیین نحوه ارتباط مستقیم کاهش بی‌قوارگی در توسعه کالبدی شهرها با کاهش انرژی حرارتی شهر، شناسایی ارتباط مستقیم خوشه‌های تراکمی (جمعیت و اشتغال) با افزایش انرژی حرارتی و ارایه فرآیندهای سنجش (Object Based Image Analysis) جهت سنجش فضایی تعادل انرژی سطوح شهری از جمله مهمترین دستاوردهای نظری پژوهش محسوب می‌گردد. از سمت دیگر اصلی‌ترین یافته‌های عملیاتی پژوهش حاکی از آنست که تهران از الگوی رشد خوشه‌ای با شکل‌گیری لکه‌های داغ در جنوب شرقی- غربی (افزایش انرژی حرارتی) و لکه‌های سرد در شمال (کاهش انرژی حرارتی) روبرو شده که نشان از ارتباط مستقیم الگوی توزیع فضایی- کالبد با تغییرات تعادل انرژی سطوح شهری دارد. البته مناطق مرکزی شهر تهران که از لحاظ خوشه‌های تراکمی رشد محسوسی نداشته کمترین تغییرات انرژی را در سطح یک دهه اخیر دیده است.

(AlizadehPaydar, 2018)، در تحقیق خود تحت عنوان ارزیابی اهمیت فضای سبز در تعدیل دمای هوای شهر تهران (مطالعه موردی منطقه ۷) به بررسی نقش فضای سبز شهری در تعدیل جزایر گرمایی منطقه ۷ شهر تهران پرداخته است. ابتدا عوامل موثر در ایجاد جزایر حرارتی منطقه ۷ شناسایی شد و تصاویر ماهواره‌ای دمای سطح زمین منطقه ۷ طی دوره آماری ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ مطالعه شد. نتایج نشان داد طی دوره آماری ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ روند جزایر حرارتی در منطقه ۷ روند افزایشی داشته است. پس از بررسی تصاویر ماهواره‌ای به بررسی فضای سبز موجود منطقه ۷ پرداخته شد و راهکارهایی جهت مدیریت محیط زیست و تعدیل جزایر حرارتی داده شد و نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید آن در مدل SWOT بیان شد. نتایج

جدول (۱): مروری بر مطالعات انجام شده در خارج و داخل کشور

نام نویسنده و تاریخ	کشور	موضوع
Kwak et al., 2020	کره جنوبی	در تحقیق خود به بررسی موفقیت برنامه‌ریزی پایدار در ۴ شهر جدید کره به لحاظ اعمال سیاست‌های پایداری جزایر حرارتی شهرها ساختارهای شهری پرداختند، که در آن تاثیر ساختار شهری و پارامترهای چون نسبت فضای سبز و آبی، شبکه‌های جاده‌ای و توزیع مسکن، بر UHI مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت نشان دادند سیاست‌های توسعه پایدار تاثیر قابل توجهی بر الگوها و شدت‌های UHI دارند.
Shu و Tariq, 2020	پاکستان	در تحقیقی با عنوان تجزیه و تحلیل دمای سطح زمین و تغییر کاربری پوشش زمین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نوری چند زمانه و روش زنجیره CA-Markov در شهر فیصل آباد پاکستان، با شبیه‌سازی زنجیره CA-Marko پیش‌بینی آبی دمای سطح زمین تا سال ۲۰۴۸ را انجام دادند.
Kim et al., 2019	کره جنوبی- سئول	در تحقیق خود به بررسی اثرات منطقه‌بندی و تراکم کاربری زمین بر تغییرات دمای سطح زمین در شهر سئول پرداخته و نشان دادند چگونه تغییرات دمای سطح زمین (LST) طی سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ با نوع کاربری اراضی مبتنی بر منطقه‌بندی در سئول ارتباط دارد. در این تحقیق شاخص NDVI با اطلاعات کاربری زمین حاوی داده‌هایی FAR، BCR، ترکیب و نتایج تجزیه و تحلیل توصیفی افزایش LST برای زمین مسکونی با تراکم کم و متوسط را نشان داد
Gantumur et al., 2019	مغولستان	در تحقیقی تحت عنوان پیامدهای جزیره گرمای شهری (UHI) مربوط به فعالیت‌های انسان، تاثیرات رشد شهری و تجمع دمای بالا بخصوص در مناطق ساخت و ساز شده در مغولستان و تفاوت دمای سطح زمین (LST) در سری‌های زمانی (۱۹۹۵-۲۰۱۶) و روابط بین LST و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) (فضای سبز در شهر) را با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری مانند رگرسیون‌ها مورد بررسی قرار داده اند
Rani et al., 2018	هند	در تحقیقی به تجزیه و تحلیل چند زمانی دمای سطح زمین و NDVI برای جزیره حرارتی شهری در اطراف منطقه مرطوب (مطالعه موردی دو منطقه جغرافیایی) پرداخته‌اند. نتیجه تحقیق همبستگی زمانی بین NDVI و دمای سطح را در دو منطقه مختلف از بعد جغرافیایی نشان داده است. بنابراین، در نظر گرفتن بعد محیط‌زیستی را برای توسعه شهرنشینی الزامی دانسته اند.
Zhou, 2018	چین	جزایر حرارتی شهری، پیشرفت‌ها، مشکلات و وضعیت آبی را در کشور چین مورد بررسی قرار داد. او نشان داد با استفاده از تصاویر حرارتی سنجنش از راه دور، می توان با سنجنده‌های TM و TIRS به بررسی دمای سطح زمین (LST) و عوامل موثر بر آن با استفاده از ساختارهای مکانی- زمانی پرداخته و بیشترین تمرکز آن بر بررسی ارتباط دمای سطح و زیرسطح بوده است.
Huang et al., 2017	چین- شانگهای	در تحقیقی تحت عنوان تجزیه و تحلیل اقلیمی برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای حرارتی شهری در شانگهای طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳، از روش سنجنش از دور برای تهیه نقشه‌های ماهانه CUHI استفاده نموده‌اند. نتایج نشان داد CUHI روز در تابستان قوی ترین و در زمستان ضعیف‌ترین است، در حالی که CUHI در شب در تابستان ضعیف ترین و در پاییز قوی‌ترین است.
Lung Hwang et al., 2017	تایوان	در تحقیق خود به تحلیل مکانی و زمانی جزیره گرمای شهری و گرم شدن کره زمین، آسایش حرارتی مسکونی و انرژی خنک کننده در کشور تایوان پرداختند. داده‌های حاصل از یک مدل هواشناسی برای برش‌های زمانی مختلف برای شبیه‌سازی انرژی پویا ساختمان در منطقه تایوان مرکزی استفاده شد. توزیع‌های مکانی و زمانی تاثیر خطر گرم شدن فضای داخلی و مصرف انرژی خنک کننده سالانه توسط UHI و اثرات گرم شدن کره زمین در برابر مقدار مرجع کمی شد.
Mukherjee, 2016	هند	در تحقیقی تجزیه و تحلیل مناطق شهری و جزیره گرمایی سطح شهری، با استفاده از داده‌های دمای سطح زمین مشتق شده از MODIS میزان LST را محاسبه نمودند. تجزیه و تحلیل شدت SUHI در چهار شهر نشان داد که میانگین دما در هسته داخلی شهر بالاتر از ۳۸/۳۸۷ درجه سانتی‌گراد و در مقایسه با آن مناطق حومه ای (۳۵/۸۵ درجه سانتی‌گراد) و روستایی (۳۲/۴۱ درجه سانتی‌گراد) می باشد.
Jinghu Pan, 2015	چین	با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تغییرات مکانی-زمانی و دینامیکی چین را بررسی نمود. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنجنده‌های TM-ETM در سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۰۱ و ۲۰۱۱ استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد که در ۲۰ سال اخیر تغییرات مکانی چین همراه با تغییرات حرارتی این شهر بوده است.

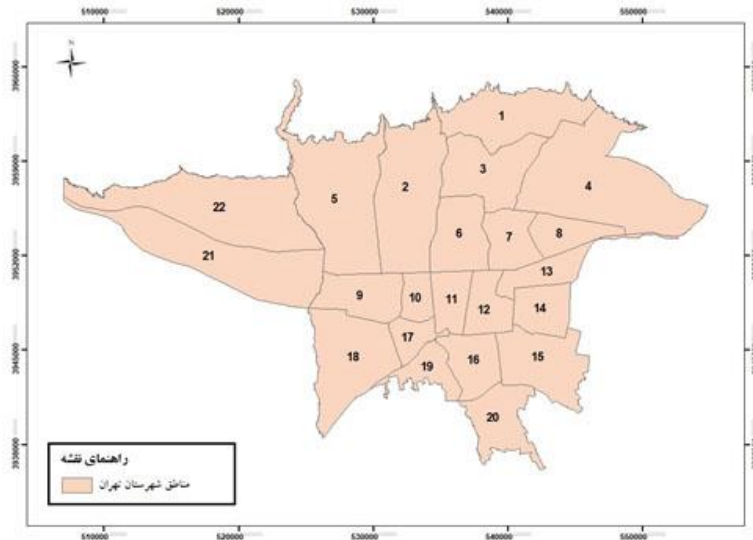
همچنین جزیره گرمایی یک رابطه خطی منفی با پوشش گیاهی شهری، و همبستگی لگاریتمی مثبت با پوشش سطح غیر قابل نفوذ شهری داشته است.		
تأثیرات ترکیبات اجزای شهری در به وجود آمدن جزایر حرارتی شهر استانبول را با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور بررسی نمودند در این مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و سنجنده TMS و شاخص پایه ساخته شده (IBI)، شاخص نرمال شده پوشش خاک (SAVI)، شاخص نرمال شده اختلاف ساخته شده (NDBI) و شاخص نرمال شده اصلاح آب (MNDWI) به بررسی دمای سطح زمین شهر استانبول پرداخته شد نتایج تحقیق نشان داد که سطوح مصنوعی یک رابطه نمایی مثبت با LST به جای یک رابطه خطی ساده دارد.	ترکیه- استانبول	Balçık et al., 2014
به بررسی اثر جزیره گرمایی شهری برای کاربری‌های زمین‌های اراضی مختلف با استفاده از اندازه‌گیری‌های هواشناسی خرد و داده‌های سنجش از راه دور برای کلان شهر دهلی پرداختند نتایج تحقیق نشان داد دمای سطح زمین کاربری شهری نسبت به کاربری‌های دیگر بیشتر و دمای شب‌های دهلی بیشتر از دمای روزهای آن می‌باشد.	هند- دهلی	Mohan et al., 2013
در پژوهشی تحت عنوان پایش جزایر حرارتی شهری با استفاده از سنجش از دور ماهواره‌ای در شهر شیراز، با استفاده از تصاویر سنجنده OLI/TIRS و ETM+ ماهواره لندست نقش تغییرات پوشش‌های مختلف سطح زمین و کاربری‌های اراضی شهری بر روی مکان تشکیل جزایر حرارتی و میزان شدت آنها بررسی شد. نتایج به دست آمده از این تحقیق بیانگر این است که سطوح بایر فاقد پوشش گیاهی در حاشیه شهر بالاترین دما را داشته و سردترین جزایر حرارتی متعلق به پوشش‌های گیاهی می‌باشد.	شیراز	Jahan Dideh et al., 2019
در تحقیق خود تحت عنوان ارزیابی اهمیت فضای سبز در تعدیل دمای هوای شهر تهران (مطالعه موردی منطقه ۷) به بررسی نقش فضای سبز شهری در تعدیل جزایر گرمایی منطقه ۷ شهر تهران پرداخته است. ابتدا عوامل موثر در ایجاد جزایر حرارتی منطقه ۷ شناسایی شد و تصاویر ماهواره‌ای دمای سطح زمین منطقه ۷ طی دوره آماری ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ مطالعه شد. نتایج نشان داد طی دوره آماری ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ روند جزایر حرارتی در منطقه ۷ روند افزایشی داشته است. پس از بررسی تصاویر ماهواره‌ای به بررسی فضای سبز موجود منطقه ۷ پرداخته شد.	تهران	Alizadeh Paydar, 2018
در پژوهش خود به تحلیل اثرات برنامه‌ریزی کالبدی بر تعادل مصرف انرژی نواحی شهر تهران پرداخته است. یافته‌های تحقیق حاکی از ارتباط معکوس بعد فیزیکی کالبد با تعادل انرژی سطوح نواحی شهری در فرآیند برنامه‌ریزی شهر تهران بوده است.	تهران	Rezaei Rad, 2017
در تحقیق خود تحت عنوان تحلیل زمانی- مکانی الگوی پیدایش جزایر حرارتی شهری و آرایه راهکارهای کاهش آن از منظر برنامه‌ریزی شهری (نمونه موردی: منطقه ۹ شهرداری تهران)، تلاش بر برقراری ارتباط میان برنامه‌ریزی شهری و سایر حوزه‌های موثر همچون محیط زیست نموده است.	تهران	Nasari Kia, 2016
در تحقیقی تحت عنوان شناسایی و تحلیل زمانی- مکانی جزیره حرارتی شهر اصفهان با استفاده از داده‌های سنجنده ETM، دمای سطح زمین را با استفاده از داده‌ی سنجنده ETM+ و به کارگیری الگوریتم سیال استخراج نمودند نتایج نشان داد که جزایر حرارتی شهری به سمت مناطقی است که با فقر پوشش گیاهی و توسعه‌ی کاربری‌های ساخت و ساز شده مسکونی، صنعتی، تجاری و... مواجه گردیده است.	اصفهان	Daneshvar et al., 2015
در تحقیق خود به تحلیل زمانی- مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد با توجه به گسترش شهر و تغییرات کاربری پوشش زمین پرداختند. در این تحقیق با استفاده از تصاویر چند زمانه لندست و روش حد آستانه NDVI و قانون پلانک برای تصاویر TM و ETM+ و الگوریتم دو پنجره برای تصاویر OLI/TIRS، دمای سطح زمین استخراج شد نتایج تغییرات توزیع دمای سطح نشان داد که چندین خوشه دمایی در شمال غرب، جنوب و جنوب غرب مشهد توسعه یافته اند.	مشهد	Alavi Panah et al., 2015

توسعه شهری تهران، الگوهای رشد و توسعه آن را مخدوش و تعادل حرارتی را در پنج حوزه‌ی مناطق شمالی، جنوبی، غربی، شرقی و مرکزی را متفاوت کرده است (Statistical Yearbook of Tehran, Tehran Municipality, 2017).

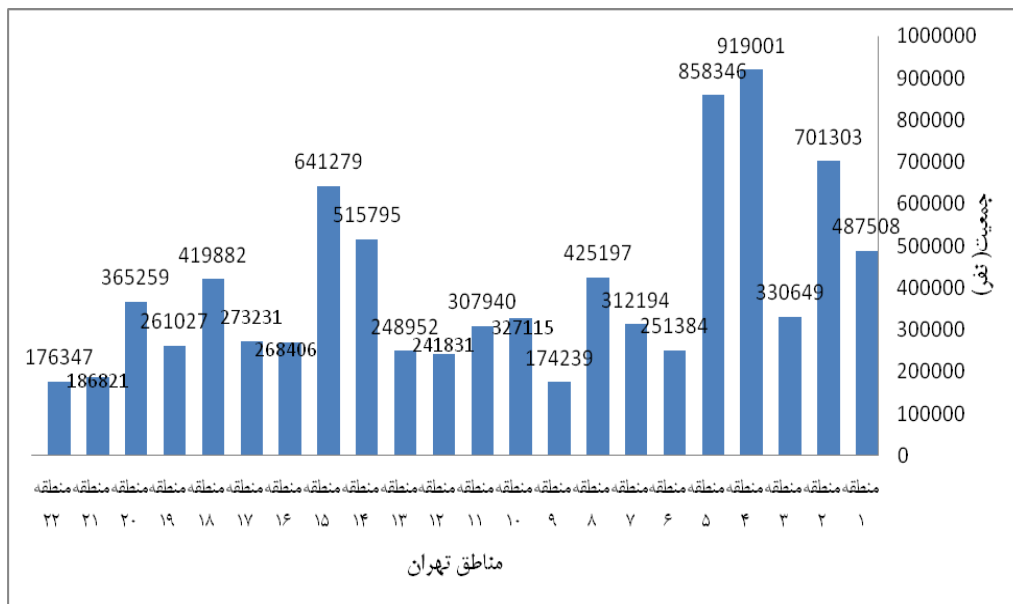
کلانشهر تهران به علت موقعیت جغرافیایی ویژه، تفاوت‌هایی را با شهرهای دیگر نشان می‌دهد و تغییرات کاربری زمین آن اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. نارسایی قوانین و مقررات به همراه عدم انطباق و هماهنگی زیرساخت‌های طبیعی مناطق مختلف با

غالب، بادهای غربی در تمام طول سال می باشد. حدود ۱۴/۳ درصد صنایع کشور در شهرستان تهران مستقر می باشند. جریان آب و رودخانه های شهر تهران شامل رودخانه های جاجرود، سرخه حصار، کن، دربند، دارآباد و فرحزاد می باشد (Statistical Yearbook of Tehran, Tehran Municipality, 2017).

جمعیت شهر تهران طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ بالغ بر ۸/۷۳۷/۵۱۰ نفر (نمودار شماره ۱) و مساحت آن ۶۱۵ کیلومتر مربع است. کلانشهر تهران به ۲۲ منطقه (شکل شماره ۱)، ۱۲۳ ناحیه و ۳۷۵ محله تقسیم شده است (Statistical Yearbook of Tehran, Tehran Municipality, 2017).



شکل (۱): محدوده مورد مطالعه (Statistical Yearbook of Tehran, Tehran Municipality, 2017)



نمودار (۱): جمعیت مناطق شهر تهران^(۱)

(Statistics Center of Iran, General Population and Housing Census 2016)

مرتبط با محدوده مطالعاتی، کاربری اراضی، شاخص های آلاینده های هوا، پارامترهای اقلیم و ... از ارگان های مرتبط اخذ، همچنین از تصاویر ماهواره ای دوره بیست ساله مربوط به ماهواره

روش انجام پژوهش
• مراحل انجام کار

برای انجام تحقیق ابتدا جمع آوری اطلاعات شامل اطلاعات

رطوبتی خاک، شرایط رشد محصول و مقدار آن کاربرد دارد (Ehteramian et al., 2003). در ادامه به منظور پهنه‌بندی اطلاعات مکانی ابتدا پس از مرتب‌سازی و میانگین‌گیری اطلاعات اخذ شده تمام سال‌ها نمودارهای هیستوگرام برای ۱۵ شاخص هواشناسی همچنین شش شاخص اصلی آلاینده‌گی هوا در فصول سرد و گرم تهیه شد. سپس اطلاعات با استفاده از الگوریتم‌های ریاضی لوگاریتمی شده و بر اساس نمونه‌های Train و Test صحت‌سنجی انجام گردید و در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی در محیط GIS با استفاده از آنالیزهای زمین آماری برای تمامی ۱۵ پارامتر اقلیم و ۶ شاخص آلودگی هوا (NO_2 ، SO_2 ، CO ، CO_2 و ذرات معلق $2/5$ و 10 PPM) جهت دوره بیست ساله در دو فصل سرد و گرم تهیه شد. پس از آن نقشه پهنه‌بندی تراکم ساختمان‌ها در محیط GIS و با استفاده از روش‌هایی چون Kernel و Density map تهیه گردید.

بدین ترتیب پس از تهیه تمامی نقشه‌های پایه شامل دمای سطح زمین، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، پارامترهای اقلیم، شاخص‌های اصلی آلاینده‌گی هوا و تراکم ساختمان‌ها، ابتدا همبستگی فضایی بین هر یک از عوامل و متغیرهای تاثیر گذار و دمای سطح زمین در محیط GIS با استفاده از مدل‌های زمین آماری بررسی، در مرحله بعدی همبستگی تمامی عوامل موثر و دمای سطح زمین و در نهایت زون‌بندی کلانشهر تهران جهت بررسی نحوه آسیب‌پذیری مناطق مختلف آن تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در آخر نیز راهکارها و پیشنهادات کاربردی با توجه به نتایج تحقیق ارائه گردید.

یافته‌ها

در نقشه‌های دوره بیست ساله ارایه شده، همان‌طور که در شکل‌های (۲ و ۳) ملاحظه می‌گردد روند تغییرات دمای سطح زمین در طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۸ به طور کامل نشان داده شده است، به طور کلی با توجه به بررسی تغییرات در فصول گرم و سرد افزایش اختلاف دما در طی سال‌های متممادی به وضوح مشخص می‌باشد. همچنین بر اساس نقشه‌های دمای سطح زمین در فصل گرم از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۲ بیشترین دمای سطح زمین به مناطق ۲۲، ۲۱ و به طور کلی مناطق غربی، پس از آن مناطق جنوبی و جنوب‌غربی کلانشهر تهران، بخشی از مناطق ۲ و ۴ تعلق دارد. از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ نیز باز هم مناطق ۲۱ و ۲۲ تهران در رتبه اول، پس از آنها مناطق ۱۸ و ۹ نیز دمای

لندست شامل نسل‌های اول تا هشتم و سنجنده‌های (TM-ETM-OLI-TIRS) استفاده گردید. در مرحله بعدی پیاده‌سازی اطلاعات شامل پردازش تصاویر ماهواره ای، تصحیح طیفی، تبدیل اطلاعات به رادیانس، تصحیح اتمسفریک و نرمالایز نمودن با استفاده از Split Windows در نهایت Emissivity به عبارتی گسیل‌مندی و دمای درخشندگی برای دوره بیست ساله در دو فصل گرم و سرد محاسبه گردید. پس از تهیه نقشه‌های مرتبط با دمای سطح زمین به عنوان نقشه‌های پایه، در گام بعدی جهت بررسی عوامل موثر بر جزیره حرارتی نقشه‌های مرتبط با هر یک از عوامل موثر بر آن از جمله کاربری اراضی، پوشش گیاهی، آلاینده‌های هوا، پارامترهای اقلیمی، تراکم ساختمان‌ها، تهیه شد. بنابراین، بدین‌منظور نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای طی دوره بیست ساله و روش طبقه‌بندی نظارت شده که علاوه بر تصاویر ورودی نیاز به یک‌سری اطلاعات میدانی در مورد منطقه و کلاس‌های موردنظر داشته در محیط‌های سنجش از دور تهیه و با ضریب کاپا صحت‌سنجی گردید، الگوریتم طبقه‌بندی با استفاده از پیکسل‌های معلوم در مورد مابقی پیکسل‌های تصویر تصمیم‌گیری می‌کند. بنابراین با توجه به بازدیدها و مشاهدات عینی و تفکیک‌پذیری پدیده‌ها، محدوده مورد مطالعه به ۴ کلاس کاربری تقسیم و برای هر کلاس تعدادی نمونه برداشت شد، که به عنوان نمونه تعلیمی برای انجام طبقه‌بندی استفاده گردید روش حداکثر احتمال تا کنون به عنوان دقیق‌ترین و پر استفاده‌ترین روش‌ها ذکر شده است (Darvish Sefat, 2011). در مرحله بعدی شاخص پوشش گیاهی با استفاده از روش‌های مبتنی بر سنجش از دور مورد بررسی قرار گرفت و نقشه‌های NDVI از ترکیب طول موج مادون قرمز نزدیک و طول موج قرمز برای دوره بیست ساله تهیه شد. شاخص NDVI یک شاخص عددی برای تشخیص پوشش گیاهی زنده و سالم است. این شاخص شاخص عددی ساده‌ای است که می‌تواند مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل از راه سنجش از دور قرار گیرد. محاسبات NDVI بر این اصل استوار است که گیاهان زنده و سالم دارای جذب بالایی امواج در محدوده طیفی مرئی یا PAR و بازتابش بالا در مادون قرمز نزدیک می‌باشند. شاخص NDVI نه تنها می‌تواند بر ای توضیح طبقه‌بندی پوشش گیاهی و فنولوژی گیاه به کار رود بلکه برای پایش مواردی مانند شرایط بارندگی، خشکسالی‌ها، تخمین محصول خالص اولیه، شرایط

جدول (۲): میانگین دمای درخشندگی محدوده مورد مطالعه از سال ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۸ در فصل گرم (تابستان)

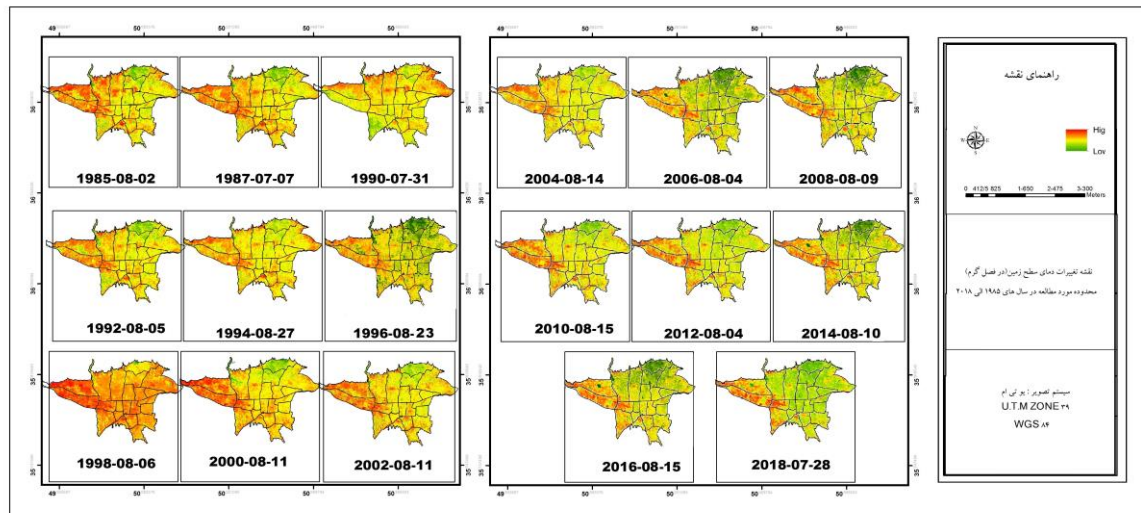
سال	حد اقل (سانتی گراد)	حد اکثر (سانتی گراد)	میانگین (سانتی گراد)	انحراف معیار
۱۹۸۵-۰۸-۰۲	۱۵/۷۰۵۹۹۴	۴۷/۳۲۱۲۸۹	۳۳/۸۱۷۳۹۸	۳/۳۹۴۱۲
۱۹۸۷-۰۷-۰۷	۷/۴۰۰۲۶۹	۵۲/۴۵۶۶۹۶	۳۷/۸۴۰۸۲۱	۳/۲۶۰۱۸۳
۱۹۹۰-۰۷-۳۱	۱۶/۱۴۹۶۵۸	۴۶/۶۲۳۱۰۸	۳۳/۲۳۲۳۲۲	۳/۷۸۲۳۳۶
۱۹۹۲-۰۸-۰۵	۱۸/۳۴۳۳۱۶	۴۳/۴۴۰۳۰۸	۳۱/۶۲۹۷۷۹	۲/۵۷۹۱۹۹
۱۹۹۴-۰۸-۲۷	۲۰/۰۶۷۰۴۷	۴۶/۶۲۳۱۰۸	۳۳/۴۴۸۱۶۲	۳/۱۲۰۹۴۷
۱۹۹۶-۰۸-۲۳	۲۷/۱۴۹۹۹۴	۵۰/۷۶۴۰۶۹	۲۸/۵۶۸۸۲۹	۱۱/۵۸۸۳۶۵
۱۹۹۸-۰۸-۰۶	۱/۴۷۶۹۲۹	۴۷/۶۶۹۱۲۸	۳۰/۸۹۷۳۹۸	۳/۳۵۹۸۵۳
۲۰۰۰-۰۸-۱۱	۴/۴۸۱۵۰۶	۴۲/۷۲۲۶۲۶	۲۹/۸۶۵۷۷۹	۳/۰۲۵۸۲۴
۲۰۰۲-۰۸-۱۱	۱۶/۸۳۲۸۲۵	۷۴/۳۶۲۲۴۴	۴۴/۶۹۳۸۸۶	۳/۸۱۵۴۲۰
۲۰۰۴-۰۸-۱۴	۱۸/۴۲۷۶۱۲	۶۷/۱۶۳۹۱۶	۳۸/۰۱۰۲۵۳	۳/۳۵۲۸۷۱
۲۰۰۶-۰۸-۰۴	-۱۸/۶۰۵۵۴۵	۴۱/۹۳۱۶۴۱	۱۴/۷۸۹۴۹۳	۵/۲۵۲۳۳۹
۲۰۰۸-۰۸-۰۹	۲۲/۵۷۷۰۸۷	۶۱/۲۹۵۹۵۹	۳۷/۳۸۱۵۶۲	۳/۳۱۶۳۴۵
۲۰۱۰-۰۸-۱۵	۱۵/۲۱۵۵۱۵	۵۰/۸۸۵۹۵۶	۳۴/۸۸۴۱۰۷	۳/۳۱۶۸۰۰
۲۰۱۲-۰۸-۰۴	۱۷/۳۶۶۸۵۲	۵۸/۹۵۲۶۰۶	۳۵/۵۱۷۲۷۳	۳/۴۳۰۰۷۴
۲۰۱۴-۰۸-۱۰	-۳/۷۵۰۵۴۹	۵۳/۳۴۹۵۱۸	۳۵/۶۷۱۶۸۹	۸/۰۴۰۸۰۲
۲۰۱۶-۰۸-۱۵	-۱۳/۸۹۲۸۵۳	۴۷/۸۴۸۲۰۶	۳۲/۴۶۲۳۱۹	۸/۶۶۰۲۴۶
۲۰۱۸-۰۷-۲۸	۲۶/۰۲۳۵۶۰	۵۱/۱۷۲۹۱۳	۴۰/۰۶۸۰۷۷	۳/۵۶۱۰۶۲

جدول (۳): میانگین دمای درخشندگی محدوده مورد مطالعه از سال ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۸ در فصل سرد (زمستان)

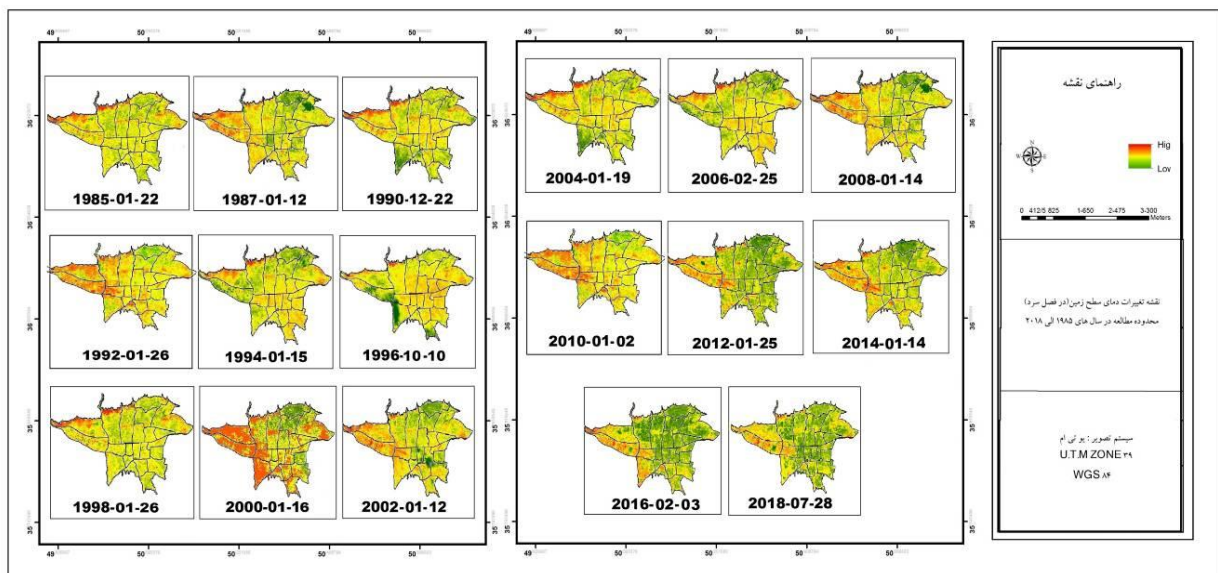
سال	حد اقل (سانتی گراد)	حد اکثر (سانتی گراد)	میانگین (سانتی گراد)	انحراف معیار
۱۳۸۵-۰۱-۲۲	-۱۸/۸۹۸۰۷۱	۲۶/۳۲۱۳۵۰	۲/۵۰۵۶۰۴	۶/۹۵۸۹۶۴
۱۳۸۷-۰۱-۱۲	-۲۴/۸۵۲۱۷۳	۲۳/۰۲۶۰۰۱	۱/۶۴۵۹۴۵	۴/۵۰۴۵۷۳
۱۹۹۰-۱۲-۲۲	-۲۱/۴۸۹۳۱۹	۱/۹۸۳۹۴۸	-۱۱/۳۰۷۱۴۸	۳/۹۳۸۸۴۱
۱۹۹۲-۰۱-۲۶	-۲۶/۹۴۲۵۳۵	۲۷/۹۳۶۶۴۶	-۶/۲۳۴۵۸۸	۴/۵۳۸۲۸۰
۱۹۹۴-۰۱-۱۵	-۱۵/۷۷۰۴۷۷	۱۱/۱۷۰۱۳۵	-۳/۷۳۶۱۸۰	۴/۴۰۹۹۸۹
۱۹۹۶-۱۰-۱۰	-۲۷/۱۴۹۹۹۴	۳۶/۴۷۵۸۰۰	۲۰/۹۳۵۶۹۲	۴/۴۳۲۳۷۰
۱۹۹۸-۰۱-۲۶	-۲۹/۸۲۳۵۴۷	۲۷/۵۳۴۷۹۰	-۳/۶۱۷۸۲۷	۹/۴۱۹۱۱۱
۲۰۰۰-۰۱-۱۶	-۳۰/۵۶۱۷۶۸	-۳/۲۰۸۵۵۷	-۱۹/۳۰۰۱۰۷	۳/۱۴۶۷۷۹
۲۰۰۲-۰۱-۱۳	-۱۲/۷۵۴۹۷۴	۲۸/۳۳۷۲۸۰	-۱/۰۷۸۵۹۸	۲/۴۷۹۶۲۷
۲۰۰۴-۰۱-۱۹	-۲۳/۳۷۶۳۱۲	۳۶/۵۵۲۹۱۷	۵/۳۹۷۰۵۷	۶/۷۲۲۷۰۰
۲۰۰۶-۰۲-۲۵	-۱۸/۶۰۵۵۴۵	۴۱/۹۳۱۶۴۱	۱۴/۷۸۹۴۹۳	۵/۲۵۲۳۳۹
۲۰۰۸-۰۱-۱۴	-۲۴/۲۰۰۱۵۰	۳۱/۴۲۸۵۵۸	-۶/۹۱۶۰۰۲	۳/۹۳۸۵۹۲
۲۰۱۰-۰۱-۰۲	-۴۸/۶۶۱۴۸۴	۵/۵۷۳۶۰۸	-۲۲/۲۱۸۵۵۸	۱۳/۹۵۹۵۱۷
۲۰۱۲-۰۱-۲۵	۱۵/۲۱۵۵۱۵	۵۰/۸۸۵۹۵۶	۳۴/۸۸۴۱۰۷	۳/۳۱۶۸۰۰
۲۰۱۴-۰۱-۱۴	-۱۴/۰۹۷۳۸۲	۴۸/۸۰۲۳۳۸	۷/۴۳۰۵۳۳	۳/۵۰۳۶۸۳
۲۰۱۶-۰۲-۰۳	-۷/۷۹۸۹۲۰	۲۹/۲۰۸۸۹۳	۱۳/۳۳۱۶۸۱	۳/۱۸۲۳۳۹
۲۰۱۸-۰۷-۲۸	۵/۴۶۳۶۲۳	۵۰/۴۲۳۳۰۹	۳۳/۲۸۰۹۷۷	۳/۴۸۶۱۸۰

۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۴ و ۱۵ نیز درگیر و دمای بیشتری را تجربه نموده‌اند. طی سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ نیز باز هم مناطق ۲۱ و ۲۲ و منطقه ۱۸ کلانشهر تهران نیز دارای بیشترین دمای سطح زمین بوده‌اند.

بیشتری را نسبت به سالیان قبل داشته‌اند و دمای سطح زمین در مناطق شمالی کمترین میزان را نشان داده است. اما در فصل سرما از سال ۱۹۸۸ تا سال ۲۰۱۸ گرچه مناطق ۲۱ و ۲۲ کماکان در راس قرار دارند، لیکن مناطق مرکزی مانند ۹،



شکل (۲): پهنه بندی دمای سطح زمین در فصل گرم

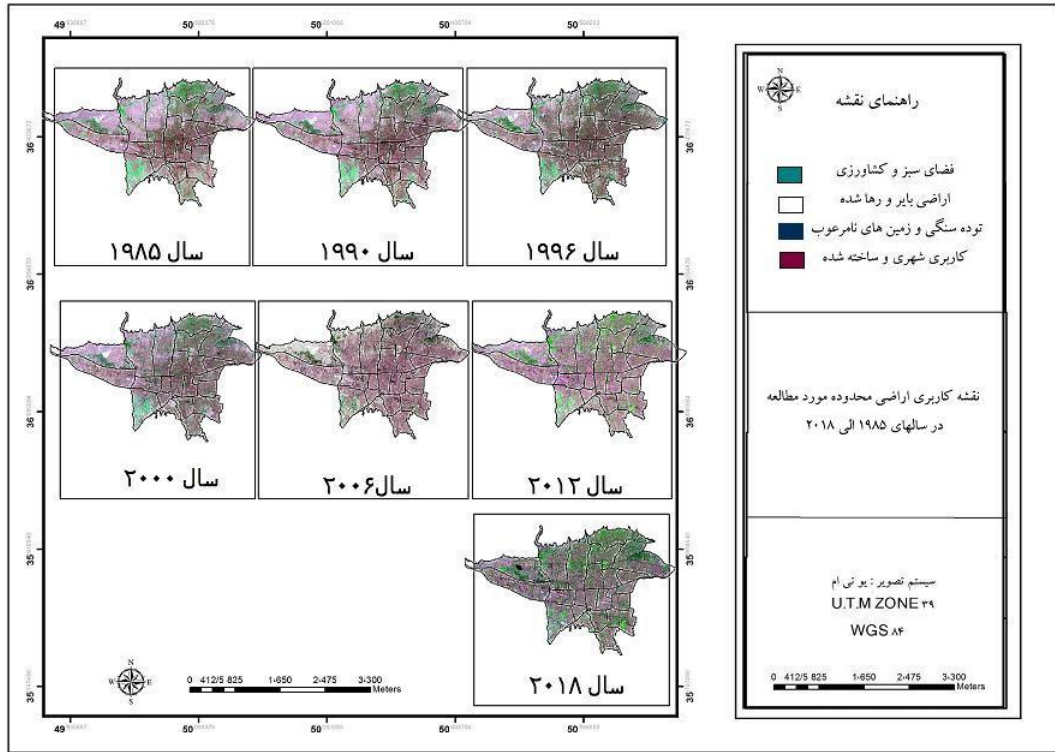


شکل (۳): پهنه بندی دمای سطح زمین در فصل سرد

کلانشهر تهران بیشتر می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۵) مشخص است بر اساس نتایج مناطق ۲ و ۵، ۱۳ و ۱۴ کلانشهر تهران در طی این سالیان به میزان قابل توجهی ساخت و ساز شهری داشته‌اند. همچنین تراکم

در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی که در شکل (۴) نمایش داده شده است. بر اساس نتایج نقشه‌های کاربری اراضی از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۸ بیشترین تغییرات اراضی به ساخت و ساز شهری تعلق دارد و میزان آن در مناطق غربی، مرکزی و جنوبی

ساختمان‌ها و تمرکز فعالیت‌ها در منطقه ۲۱ و ۲۲ به مراتب بیشتر شده، به عبارتی بیشترین فشردگی ساخت و ساز در مناطق مرکزی شهر تهران، و بیشترین تبدیل اراضی به ساختار شهری و فعالیت در منطقه ۲۲ و ۲۱ می‌باشد.

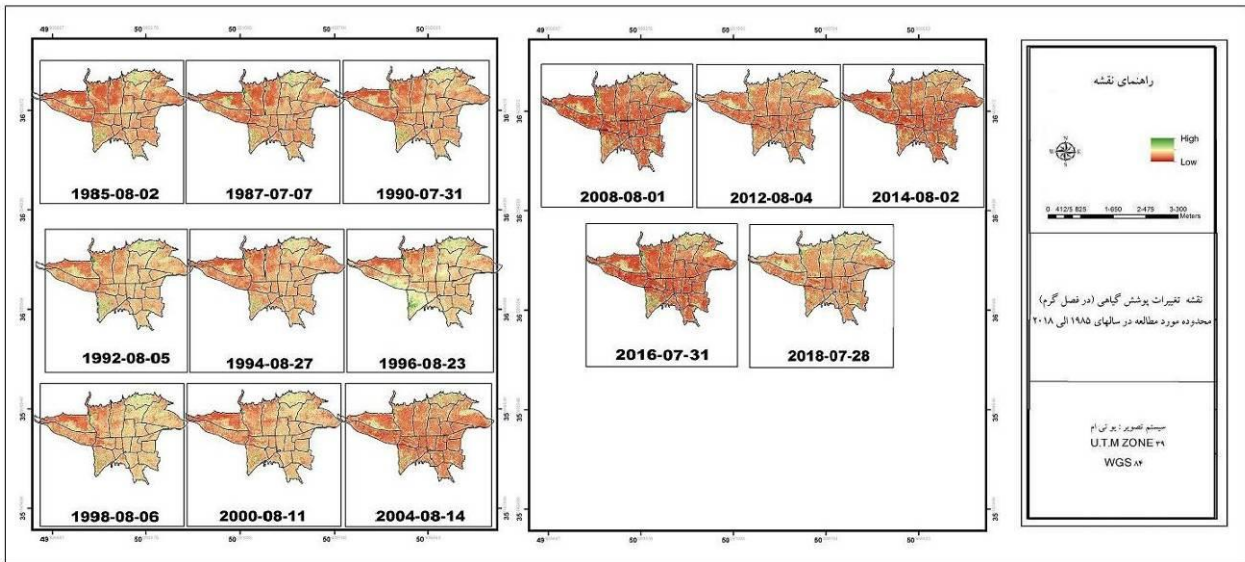


شکل (۴): پهنه بندی کاربری اراضی

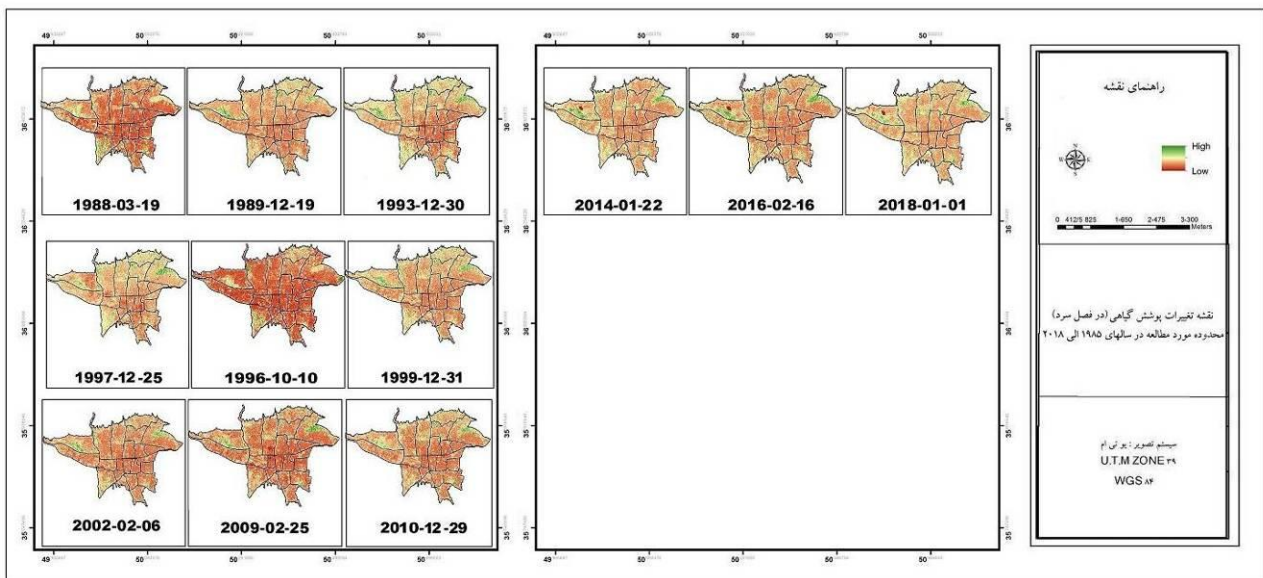
جدول (۳): مساحت و درصد طبقه بندی کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه

سال	کاربری		فضای سبز و کشاورزی	کاربری شهری و ساخته شده	اراضی بایر	ضریب کاپا
	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد				
۱۹۸۵	مساحت	۱۱۲/۷۵۹۲	۲۶۰/۲۸۰۹	۲۳۹/۳۲۳۵	%۹۰	
	درصد	۸/۱۵۹	۱۸/۱۸۳۲	۱۷/۳۱۶		
۱۹۹۰	مساحت	۹۳/۹۰۴۲	۲۸۶/۱۵۱۴	۲۳۲/۰۵۵۱	%۹۳	
	درصد	۶/۷۹۴	۲۰/۷۰۴	۱۶/۷۹۰		
۱۹۹۶	مساحت	۱۴۷/۱۶۸۹	۳۶۲/۶۳۴۳	۱۰۲/۸۴۹۳	%۹۳	
	درصد	۱۰/۶۴۸	۲۶/۲۳۸	۷/۴۴۲		
۲۰۰۰	مساحت	۱۰۰/۳۹۳۲	۴۴۴/۷۲۲۴	۶۷/۵۳۶۹	%۹۵	
	درصد	۷/۲۶۴	۳۲/۱۷۸	۴/۸۸۷		
۲۰۰۶	مساحت	۲۲۴/۳۹۲۵	۳۲۵/۳۴۶۲	۱۵۰/۲۶۱۳	%۹۶	
	درصد	۱۶/۲۳۶	۴۶/۴۷۸	۱۰/۸۷۲		
۲۰۱۲	مساحت	۱۸۶/۴۱۷۰	۳۷۰/۳۴۶۲	۱۴۳/۱۵۹۴	%۹۶	
	درصد	۱۳/۴۸۸	۵۲/۹۱۷	۱۰/۳۵۸		
۲۰۱۸	مساحت	۱۷۹/۲۳۲۳	۴۴۶/۷۴۰۹	۷۴/۰۲۵۹	%۹۶	
	درصد	۱۲/۹۶۸	۶۳/۸۲۰۱	۵/۳۵۶		

نتایج تهیه پهنه‌بندی تغییرات پوشش گیاهی در شکل‌های (۵) و (۶) در دو فصل سرد و گرم نمایش داده شده است. آنچه به طور کلی می‌توان دید کاهش لکه‌های سبز در طی دوره بیست ساله در فصول گرم و سرد می‌باشد.



شکل (۵): پهنه‌بندی پوشش گیاهی در فصل گرم

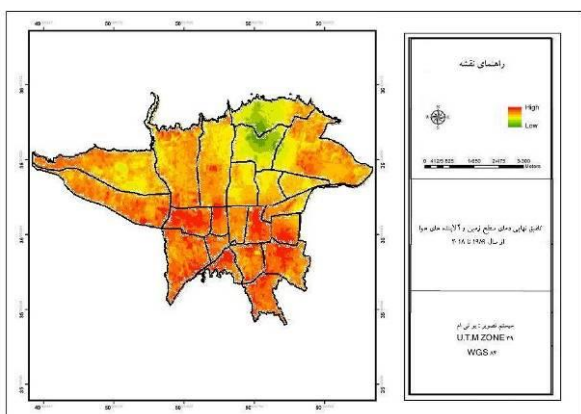


شکل (۶): پهنه‌بندی پوشش گیاهی در فصل سرد

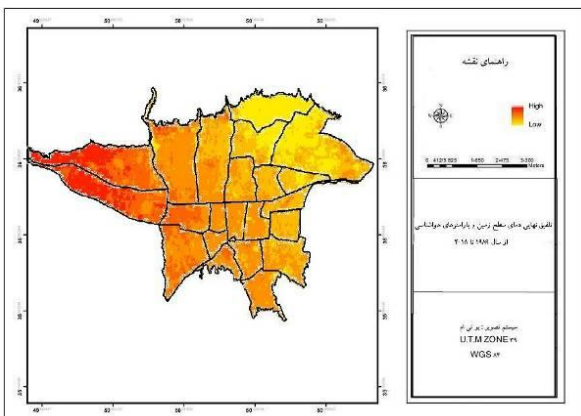
این سال‌ها ساخت و سازها و تبدیل اراضی بیشتر شده لیکن همچنان کمترین دمای سطح زمین متعلق به این منطقه می‌باشد، و در بخش‌هایی چون منطقه ۲۲، ۲۱، ۱۹ و ۱۸ و مرکز شهر تهران بیشترین دمای سطح زمین را شاهد هستیم در این مناطق نیز به دلیل مسایلی چون بلندمرتبه‌سازی‌ها، تمرکز فعالیت‌ها در مناطق غربی تهران از جمله منطقه ۲۱ تهران،

شکل‌های (۷ و ۸) تلفیق پارامتر دمای سطح زمین، کاربری اراضی و پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نتایج مشخص است دمای سطح زمین با کاربری اراضی رابطه مستقیمی دارد و در جاهایی که بیشترین کاربری به فضای سبز تعلق دارد به عبارتی منطقه ۱ تهران دمای سطح زمین نیز به حداقل مقدار خود می‌رسد گرچه در مناطق شمالی تهران نیز طی

دارند، به ویژه ذرات معلق که سهم شاخصی در بالا بردن دمای سطح زمین دارند چراکه امکان تبادل انرژی حرارتی را به کمترین مقدار می‌رسانند. نتایج نشان داد در فصول گرم و سرد با توجه به پراکندگی کلی آلاینده‌ها، دمای سطح زمین در مناطق غرب به ترتیب در منطقه ۲۲ و ۲۱ و مناطق مرکزی و جنوب و جنوب غرب بیشترین میزان را دارد.



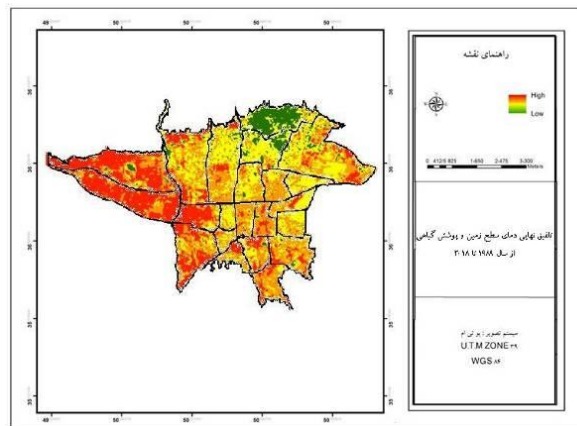
شکل (۹): تلفیق نهایی دمای سطح زمین و پارامترهای هواشناسی



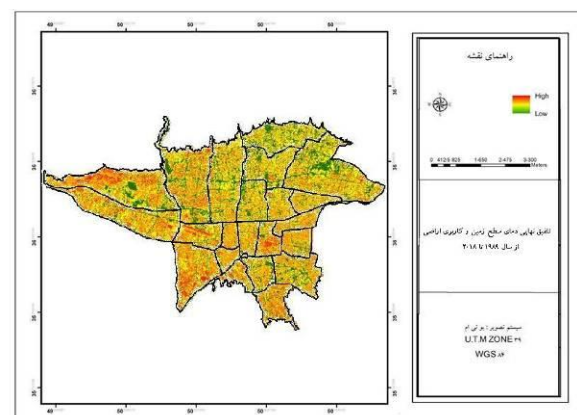
شکل (۱۰): تلفیق نهایی دمای سطح زمین و آلاینده‌های هوا

در شکل (۱۱) تلفیق نهایی تراکم ساختمان‌ها و دمای سطح زمین به نمایش درآمده است. در بررسی همبستگی تراکم ساختمان‌ها و دمای سطح زمین همان‌طور که پیش‌بینی می‌گردید مناطق غربی، مرکزی و جنوب شهر تهران بیشترین سهم را دارند لیکن شرق تهران همچون ۴، ۸، ۱۳ نیز در معرض جزیره حرارتی شهری بوده‌اند. به طور کلی در بررسی تراکم ساختمان‌ها و دمای سطح زمین بیشتر مناطق تهران درگیر بوده و این نشان از عدم توجه به مباحث آمایش و سازماندهی فضایی مناسب جمعیت و

فشرده‌گی ساختمان‌ها در بخش مرکزی تهران و عدم وجود فضای خالی و اختصاص بیشتر اراضی به ساخت و سازهای مسکونی و خدمات، دمای سطح زمین بالاتر می‌باشد.



شکل (۷): تلفیق نهایی دمای سطح زمین و کاربری اراضی



شکل (۸): تلفیق نهایی دمای سطح زمین و پوشش گیاهی

شکل‌های (۹ و ۱۰) تلفیق نهایی دمای سطح زمین و پارامترهای آلاینده‌های هوا و اقلیم را نشان می‌دهد. بررسی همبستگی فضایی نهایی پارامترهای هواشناسی و دمای سطح زمین نشان از سهم بیشتر مناطق غربی و جنوبی در دمای سطح زمین دارد. در فصل گرم و سرد مناطق شمالی سهم کمتری در جزیره حرارتی داشته و مناطق غربی و جنوب غرب به سمت مرکز بیشترین سهم را داشته‌اند. این موضوع نشان می‌دهد ساخت‌وسازهای بلند مرتبه‌سازی‌های انجام شده در منطقه غرب با وجود جهت وزش باد غالب از غرب به شرق متاسفانه به دلیل توزیع نامناسب و ناکافی بودن فضای باز جهت حرکت باد دمای سطح زمین بالاتر می‌باشد.

بررسی همبستگی نهایی آلاینده‌های هوا و دمای سطح زمین، نشان داد، آلاینده‌های هوا رابطه مستقیمی با دمای سطح زمین

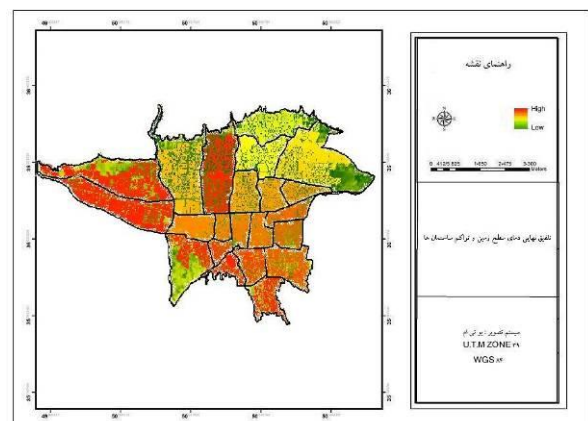
شکل (۱۳) نیز زون‌بندی نهایی شهر تهران را نشان داده است. در زون‌بندی نهایی آسیب‌پذیری مناطق تهران بر اساس عوامل موثر سهم مناطق غربی تهران بیشترین بوده و با وجود ایجاد فضاهایی چون پارک چیتگر در منطقه ۲۲ تهران به دلیل عدم رعایت استاندارد ساخت‌وساز و تراکم بالا، تمرکز فعالیت‌ها از جمله تجاری، بیشترین آسیب‌پذیری را داشته و نیاز به برنامه‌ریزی جدی در تمامی ابعاد شهری می‌باشد. منطقه ۲۱ تهران نیز به دلیل تمرکز فعالیت‌های صنعتی در آن یکی از مناطق با آسیب‌پذیری بالا بوده است.

بحث و نتایج

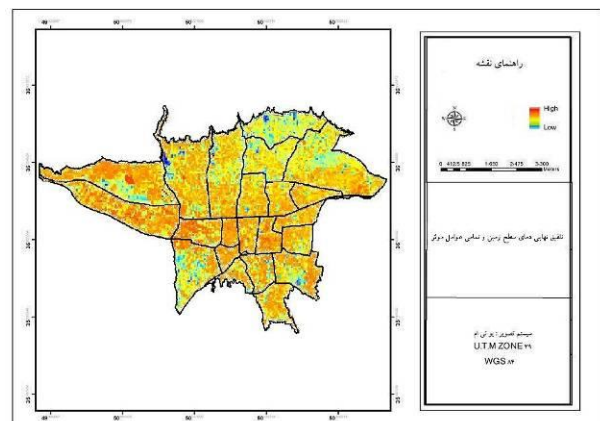
به طور کلی در صورتی که بخواهیم ابعاد موثر در جزیره حرارتی را مطرح نماییم می‌توان به ۵ بعد اشاره نمود ۱. بعد عملکردی، ۲. بعد محیطی، ۳. بعد شهری، ۴. بعد جمعیتی و ۵. بعد کالبدی، در این تحقیق تمامی عوامل اصلی موثر بر جزیره حرارتی مورد بررسی قرار گرفته و با مطالعات و تحقیقات دیگر مقایسه گردید. آنچه تحقیق حاضر را از سایر تحقیقات داخلی مشابه از جمله تحقیق (2017) RezaeiRad و یا JahanDideh et al (2019)، تفاوت می‌سازد نگاه جامع بر تغییرات مکانی-زمانی جزیره حرارتی تهران و همچنین کلیه عوامل اصلی موثر بر آن بوده به طوری که علاوه بر اینکه موضوع کاربری اراضی و پوشش گیاهی که یکی از موضوعات مهم در بحث جزیره حرارتی می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته، در کنار آن به بررسی ارتباط دمای سطح زمین با پارامترهای اقلیم که می‌تواند به نوعی در جزیره حرارتی تاثیرگذار باشد پرداخته شده و از سویی دیگر ارتباط عوامل مرتبط با فعالیت‌های انسانی و ساختار شهری از جمله تراکم ساختمان‌ها و سازه‌ها و همچنین آلاینده‌های هوا با دمای سطح زمین مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت همبستگی فضایی عوامل با دمای سطح زمین و نحوه آسیب‌پذیری شهر تهران مشخص گردیده که در تحقیقات انجام شده چنین مکانسمی در نظر گرفته نشده است. (2017) RezaeiRad در بررسی عوامل موثر بر جزیره حرارتی، رابطه برخی از عوامل بعد محیطی مرتبط با ساختار شهری همچون پوشش گیاهی، ساختارهای شهری از جمله جمعیت، کاربری‌های متعدد شهری با جزیره حرارتی را به صورت رگرسیونی مد نظر قرار داده، تمرکز تحقیق مذکور بر تعادل انرژی حرارتی سطح زمین بوده است.

مدیریت شهری می‌باشد. بیشترین فعالیت‌های صنعتی در منطقه ۲۱ تهران مستقر شده و در منطقه ۲۲ نیز با توجه به بلندمرتبه‌سازی‌ها و همچنین واحدهای تجاری زیاد، تمرکز جمعیت و فعالیت محسوس‌تر گردیده به طوری که در بیشتر پهنه‌بندی‌های به دست آمده مناطق ۲۱ و ۲۲ در رتبه اول شدت دمای سطح زمین بوده‌اند.

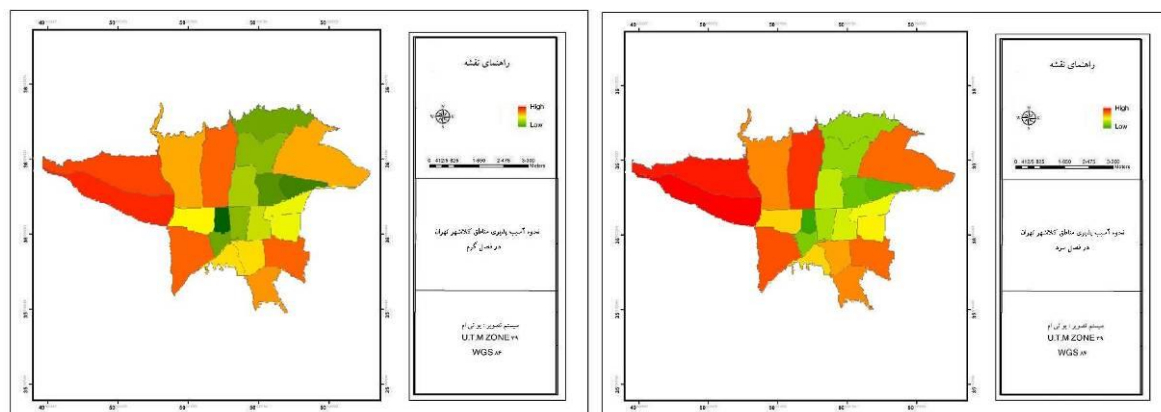
در شکل (۱۲) همبستگی نهایی تمامی عوامل موثر و دمای سطح زمین نشان داده شده است. بر اساس نتایج لکه‌های داغ در مناطق غربی، مرکزی، جنوبی و شرق تهران افزایش یافته است. مناطق شمالی تهران نیز گرچه به نسبت سایر مناطق وضعیت بهتری داشته و دمای سطح زمین کمتر بوده لیکن به دلیل افزایش ساخت‌وسازها، در این مناطق نیز تعداد لکه‌های داغ بیشتر شده است.



شکل (۱۱): تلفیق نهایی دمای سطح زمین و تراکم ساختمان‌ها



شکل (۱۲): تلفیق نهایی دمای سطح زمین و تمامی عوامل موثر



شکل (۱۳): بررسی نحوه آسیب پذیری مناطق کلانشهر تهران

برنامه‌ریزی شهری و اقدامات عملی آتی باشد. آنچه در این تحقیق از بعد محیطی مدنظر قرار گرفته شد مواردی چون شاخص سبزی‌نگی و ارتباط آن با بحث جزیره حرارتی شهری بوده، که بر اساس نتایج کلی مناطق غربی از جمله منطقه ۲۱، بخشی از منطقه ۲۲، جنوب غربی و مرکز به صورت نواری تا شرق بیشترین میزان جزیره حرارتی و شمال تهران کمترین را نشان داده‌اند.

در بعد جمعیتی و شهری موضوع تراکم واحدهای مسکونی و فعالیت‌های مختلف شامل صنعتی، تجاری، اداری و ... مد نظر قرار گرفت. در بررسی‌ها تراکم جمعیتی- فعالیتی در تهران در دو نقطه جنوب شرقی و جنوب غربی کلانشهر تهران واقع شده و بیشترین حرارت در یک دهه اخیر را در این نقاط شاهد هستیم و از سمت دیگر با تراکم پایین جمعیتی- فعالیتی در شمال و شمال غرب کلانشهر تهران، کاهش انرژی حرارتی سطح را شاهد هستیم. بنابراین، می‌توان اذعان داشت ارتباط معناداری بین الگوی استقرار فعالیت و جمعیت در شهر تهران با دمای سطوح نواحی شهر وجود دارد.

تحلیل فضایی پراکنش لکه‌های داغ و سرد تراکم جمعیتی در کلانشهر تهران نشان می‌دهد که تعداد خوشه‌های حرارتی در یک دهه قبل افزایش یافته است. این موضوع نیاز به مدیریت صحیح شهری را بیش از گذشته نشان می‌دهد به طور مثال افزایش تراکم ساختمان‌ها و یا تبدیل مناطق شهر تهران می‌تواند نمونه‌هایی دخیل در این پدیده باشند. از سمت دیگر لکه‌های داغ در بخش جنوب، شرق و جنوب شرقی و غربی به معنای تغییرات تراکمی در آن محدوده‌ها و متمرکز بودنشان نیز می‌باشد. خروجی نقشه مربوط به بعد عملکردی مرتبط با تراکم فعالیت‌ها

(JahanDideh et al (2019) نیز بیشتر تمرکزشان بر روی بررسی اثرات برخی از عوامل بارز از جمله تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر مکان تشکیل جزایر حرارتی و میزان شدت آن بوده و یا (AlaviPanah et al (2015) به مبحث خود جزیره حرارتی پرداخته و آن را مورد بررسی قرار داده که با هدف تحقیق حاضر با عنایت به گستردگی بررسی عوامل و همچنین جزیره حرارتی و چگونگی همبستگی‌های موجود متفاوت بوده است.

همچنین با نگاهی بر تحقیقات خارج از کشور نیز می‌توان مشاهده نمود در پژوهش‌های گذشته بیشتر به خود جزیره حرارتی شهری و یا رابطه آن با یکی از پارامترهای موثر بر آن پرداخته شده و دیدگاه همه جانبه و یا بررسی همبستگی فضایی با در نظر داشتن بیشتر عوامل موثر شامل عوامل انسانی و اقلیمی مد نظر نبوده است. از آن جمله می‌توان به تحقیقاتی چون تحقیق (Jinghu Pan (2015) با تمرکز بر تاثیر پوشش گیاهی بر دمای سطح زمین در شهر چین و یا (Balçik (2014) بر تاثیر اجزای شهری بر روی جزیره حرارتی در شهر استانبول اشاره نمود. تحقیقات فوق بیشتر بر روی عواملی چون کاربری اراضی و پوشش گیاهی و یا برخی پارامترهای شهری تمرکز داشته اند، در صورتی که در تحقیق حاضر تمامی عوامل به تفکیک با دمای سطح زمین برای کل شهر تهران به صورت یکپارچه و پس از آن همبستگی فضایی آنها با الگوریتم‌های زمین آماری متعدد و در نهایت زون‌بندی نحوه آسیب پذیری شهر تهران با استفاده گسترده از آنالیزهای زمین آماری در محیط GIS و RS مد نظر قرار گرفته شد. بنابراین، مسلماً آنچه به عنوان پیشنهاد آتی مطرح گردید می‌تواند قابل استنادتر برای

بنابراین، می‌توان مشاهده نمود در این تحقیق علاوه بر بررسی تغییرات مکانی- زمانی، تمامی عوامل موثر به صورت جداگانه پهنه‌بندی و پس از آن همبستگی فضایی آنها با دمای سطح زمین، همبستگی نهایی تمامی عوامل با دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم‌های متعدد زمین آماری و در نهایت زون‌بندی نحوه آسیب‌پذیری شهر تهران مد نظر قرار گرفته شد. تا بتوان با استفاده از تمامی مطالعات پیشین و نتایج تحقیق کنونی، امکان برنامه‌ریزی قابل استنادتری برای برنامه‌ریزان و مدیران حوزه شهری و اقدامات عملی آتی میسر نمود.

با توجه به تمامی نتایج تحقیق می‌توان با برخی اقدامات ساده روند افزایش لکه‌های داغ حرارتی را کاهش داد از آن جمله بازنگری در روند ساخت‌وسازها به ویژه در شمال تهران که با کمترین جزیره حرارتی روبه‌رو می‌باشد. ایجاد کمربند سبز و افزایش فضای سبز شهری به جای سایر کاربری‌ها، عدم تغییر کاربری به کاربری‌هایی که منجر به افزایش لکه‌های داغ می‌گردند از جمله صنعتی و تجاری، تقویت اتصال به سیستم‌های حمل و نقل عمومی و تعبیه ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی، کاهش بار ترافیکی، کاهش آلودگی هوا، مدیریت تراکم ارتفاعی ساختمان‌ها، استفاده از مکانیسم‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی شهری مانند: سنگفرش خنک، پوشش گیاهی و جنگل‌داری شهری، سقف‌های خنک و سبز، استفاده از مصالح با ضریب بازتاب آلوده بالا، استفاده از بسترهای قابل نفوذ آب مانند پیاده‌راه‌ها و ...

یادداشت‌ها

۱. از کل مهاجران وارد شده به شهر تهران ۱۰/۴ درصد در منطقه ۵ ساکن هستند و منطقه ۱۹ تهران دارای بالاترین بعد خانوار در مناطق شهر تهران می‌باشد

و واحدهای مسکونی، حاکی از آنست که در بعد عملکردی حوزه‌ی شمالی دارای بیشترین ارزش و حوزه‌ی غربی دارای کمترین ارزش می‌باشد. همان‌طور که در نتایج نیز مشخص شده است، یکی از نکات قابل توجه بخش مرکزی تهران می‌باشد که از لحاظ تراکم و فعالیت به دلیل فشردگی ساخت و ساز رشد نامحسوسی داشته و تغییرات محسوسی در این مناطق به وجود نیامده است. بر اساس نتایج مناطق ۱۸ و ۹ همچنین ۲ و ۵ به ویژه منطقه ۵ نیز طی این سال‌ها تغییرات عمده‌ای در افزایش دمای سطح زمین داشته‌اند. دلایل بسیار زیادی در افزایش دمای سطح زمین و خوشه‌های داغ در تهران وجود دارد. به طور کلی نیمه شمالی شهر با تراکم پایین جمعیت و اشتغال و نیمه جنوبی با تراکم بالای جمعیت و اشتغال با افزایش دمای سطح زمین ارتباط مستقیم معناداری دارد. در طی یک دهه اخیر محدوده شهر تهران تثبیت گردیده لیکن با پر شدن فضاهای خالی موجود در آن، لکه‌های داغ حرارتی بیشتر شده است. بدین صورت می‌توان پی برد ارتباط مستقیمی بین کاهش بی‌قوارگی توسعه شهری در کاهش دمای سطح زمین وجود دارد. همچنین یافته‌ها حاکی از آنست که در کلانشهر تهران الگوی رشد و شکل‌گیری لکه‌های داغ در جنوب شرقی- غربی و لکه‌های سرد در شمال تهران بوده است.

در بحث آسیب‌پذیری مناطق شهر تهران هم می‌توان دید تراکم بالای سکونتی و جمعیتی در غرب، جنوب‌شرقی و غربی تهران با بیشترین آسیب‌پذیری روبه‌رو بوده و در شمال کمترین. در آسیب‌شناسی می‌توان دید مناطق ۲۱ و ۲۲ آسیب‌پذیری بالا لیکن مناطقی چون منطقه ۵، ۱۸، ۲ نیز درگیر این پدیده هستند. طبق زون‌بندی نهایی ساختار فضایی- کالبدی شهر به شدت متاثر از تراکم ساختمانی و فعالیت‌ها در دوره‌های مختلف به دلیل به کارگیری سیاست‌های مختلف مدیریت شهری می‌باشد.

فهرست منابع

- Alavipanah, K.; Hashemi Darrehbadami, S. & Kazemzadeh, A. 2015. Spatial- Temporal Analysis of Urban Heat- Island of Mashhad City due to Land Use/ Cover Change and Expansion. Journal of Geographical Research in Urban Planning. University of Tehran. 3(1): 1-17. 10.22059/JURBANGEO.2015.54436. (In persian)
- Daneshvar, M. & Aboudi, M. 2015. Identification and spatial temporal analysis of heat islands in Isfahan using ETM+, international conference on new achievements in civil engineering, architecture, environment and urban management CAECONF01_019. (In persian)

- Khairkhah Zarkesh, M. & Jahan Dideh, R. 2019, Monitoring of urban thermal islands using satellite remote sensing in the study area: Shiraz, the second national conference on modern studies of civil engineering, architecture, urban planning and environment in the 21st century, Tehran, <https://civilica.com/doc/952587>. (In persian)
- Rezaei Rad, H. 2017. Analysis of physical planning effects on energy consumption balance in Tehran metropolitan sub regions, PhD Thesis, Department of urban and regional planning and design, faculty of art and architecture, Tarbiat Modares University, Tehran. (In persian)
- Mohan, M.; Kikegawa, Y.; Gurjar, B.; Bhati, S. & Reddy Kolli, N. 2013. Assessment of urban heat island effect for different land use-land cover from micrometeorological measurements and remote sensing data for megacity Delhi, *Theoretical and Applied Climatology* 112(3-4):647-658, <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0758-z>.
- Jinghu, P. 2015. Area Delineation and Spatial-Temporal Dynamics of Urban Heat Island in Lanzhou City, China Using Remote Sensing Imagery, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* volume 44, pages 111-127 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12524-015-0477-x>
- Mukherjee, S.; Joshi, P.K. & Garg, R.D. 2016. Analysis of urban built-up areas and surface urban heat island using downscaled MODIS derived land surface temperature data, <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1222634>.
- Lung Hwang, R.; Yao lin. C. & Tsang Huang, K. 2017. Spatial and temporal analysis of urban heat island and global warming on residential thermal comfort and cooling energy in Taiwan, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.016>.
- Huang, W.; Li, J.; Guo, Q.; Mansaray, L.; Li, X. & Huang, J. 2017. A Satellite-Derived Climatological Analysis of Urban Heat Island over Shanghai during 2000-2013, *Remote Sens.* 2017, 9(7), 641; <https://doi.org/10.3390/rs9070641>.
- Zhou, D.; Xiao, J.; Bonafoni, S.; Berger, Ch.; Deilami, K.; Zhou, Y.; Froelking, S.; Yao, R. & Qiao, Z. 2018. Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspective, 11(1), 48; <https://doi.org/10.3390/rs11010048>.
- Rani, M.; Kumar, P.; Chandra Pandey, P.; Srivastava, P.; Chaundhary, B.S.; Tomar, V. & Prasad Mandal, V. 2018. Multi-temporal NDVI and surface temperature analysis for Urban Heat Island in built surrounding of sub-humid region: A case study of two geographical regions, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.03.007>.
- Gantumur, B.; Wu, F.; Vandansambuu, B.; Dalaibaatar, E.; Tumursukh, B.; Munkhsukh, U. & Zhao, Y. 2019. Implication of urban heat island (UHI) related to human activities: a case study in Mongolia, *Proceedings Volume 11157, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV*; 111570V (2019) <https://doi.org/10.1117/12.2533696>
- Kim, j.; jin jun. m.; Hwan yeo.C.; Hyun Kwon. K. & Yong Hyun. J. 2019. The Effects of Land Use Zoning and Densification on Changes in Land Surface Temperature in Seoul. *Sustainability* 11(24):7056, DOI: 10.3390/su11247056.
- Tariq, A. & Shu, H. 2020. CA-Markov Chain Analysis of Seasonal Land Surface Temperature and Land Use Land Cover Change Using Optical Multi-Temporal Satellite Data of Faisalabad, Pakistan, *Remote Sens.* 2020, 12(20), 3402; <https://doi.org/10.3390/rs12203402>.
- Kwak, Y.; Park, C. & Deal, B. 2020. Discerning the success of sustainable planning: A comparative analysis of urban heat island dynamics in Korean new towns, *Sustainable Cities and Society*, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102341>.