



Journal of Environmental Studies

Vol. 46, No. 2, Summer 2020

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir

Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

The Effects of Spatial Patterns of Urban Green Structure on the Thermal Changes of Urban Heat Islands: The Case Study of Tehran

Behnaz Aminzadeh*, Sohail Gheshlaghpour

Faculty of Urban Planning, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran

DOI: [10.22059/JES.2021.308065.1008059](https://doi.org/10.22059/JES.2021.308065.1008059)

Document Type
Research Paper

Received
January 11, 2020

Accepted
May 4, 2020

Abstract

This paper aimed to demonstrate the detailed relationship between the surface temperature of urban heat islands (UHI) and spatial patterns of urban green spaces, an issue that has been much debated in recent years. Tehran city, as the case study has faced the impacts of uneven built development and changes in spatial patterns of green spaces, and at the same time experiencing the increase of average temperature. The method of research is based on classification of Local Climate Zone (LCZ), correlation and partial correlation. The results of the analysis of the spatial composition of these classes showed that tree canopy greenspaces in both cases of high / low density with low plants has a reducing effect on temperature. This is also true for dense tree areas with low plants, because of the mean patch size. The result for the low-density grasslands and scattered shrubs with soil cover showed that there is a positive and significant relationship with temperature in relation to their surface area and edge density metrics. Thus, paying attention to spatial patterns of urban green space, through determining the type, composition, and configuration effect on the reduction of surface temperature and will help to decrease urban heat island impacts.

Keywords: Heat islands, Spatial pattern, Structure of urban greenspace, Tehran

* Corresponding author

Email: bgohar@ut.ac.ir

Expanded Abstract

Introduction

Urbanization, especially in big cities of developing and developed countries, has major impacts on climate change by producing greenhouse gas and increasing average temperature, and thus creating urban heat islands (UHI).

Rising temperature and global warming intensify a wide range of negative environmental and social consequences, including social welfare, public health, and natural sustainability. Urban heat islands describe the phenomenon of higher temperatures in urban areas than in rural and suburban areas, so that as urbanization increases, the effects of urban heat islands are intensified.

One of the contemporary approaches to reduce the effects of urban heat islands is to increase air quality through green infrastructure. The term urban green infrastructure (GI) refers to the planned networks of natural and semi-natural environments with a wide range of ecosystem services in urban areas at different spatial. In addition to reducing the effects of urban heat islands by the quality and quantity of green spaces, it is stated that green infratrurture can be helpful to manage runoff water controlling flood, also improving urban beauty, and protecting biodiversity.

The unplanned urban development and even planned ones with the least attention given to green land uses (both natural and built) are the main factors responsible for destruction of natural ecosystems and thus increasing warming conditions especially in metropolitan areas, where the growing the built areas destroy the landscape pattern of natural and green areas. Lack of enough attention to preserving natural and green infrastructure is one of the factors causes city warming. Urban heat islands challenges are important issues in urban environmental planning nowadays. Urban heat island consists of air temperature and surface temperature. Studies show that land cover planning and management can control surface temperature. The relationship between increasing the green spaces as an important element of the green infrastructure and decreasing surface temperature is already has been studied. Regarding the literature has been reviewed in this paper, the purpose of this study is to investigate and clarify the detailed relationship between the characteristics of spatial patterns of urban green spaces and their influences on surface temperature. Spatial composition and spatial configuration are two main elements of spatial patterns of urban green areas. Classification of green land cover based on Local Climate Zone (LCZ) helps to discover the detailed relationship between each patterns' components and the classified green spaces. The case under study is the city of Tehran, which has witnessed certain changes in relation to the development of built-up areas (both in form of planned and unplanned developments), reduction of green spaces and their spatial patterns, as well as rising average temperature.

Materials and Methods

Although different methods have been applied in the research to classify the green land uses, they have mostly used the same classification for urban green space. However, these types of green space have not been considered as a means of reducing the surface temperature. Due to ability of measuring different green landscape patterns in a period of time, this study based on a conceptual model of the relationship between green spaces criteria of spatial composition (surface area and proportion of green space) and spatial configuration (sequence or physical distribution of different types of green spaces) to find their relation to urban heat island.

Tehran, the case under study, is located in the southern hills of the Alborz Mountains and the northern edge of the central desert of Iran, which covers an area of about 730 km². Its ecological landscape shows a long-term shaping influencing by climate, geology and other natural factors and therefore different landscape pattern from north to south exists in the city. Uneven urban developments cause damages to the natural ecosystem and terminate the structure and function of landscape patterns, intensifying conservative policies in protecting natural conditions and preventing the process of land

degradation (vegetation, natural corridors and open natural spaces, etc.) are essential for the city natural and built environments.

In the process of investigating the relationship between urban spatial patterns of greenspaces in city of Tehran and land surface temperature, different methods and techniques are applied. The greenspace classification map of the city of Tehran was produced with the help of Landsat 8 satellite (2019) and LCZ method of land use classification, which divides green areas into four classes as follows:

A) heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees, land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.

B) Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees, land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.

C) Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees, land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture.

D) Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops, few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban park.

Kappa coefficient and overall accuracy of this map was 0.8706%, 88.172%, which confirms its accuracy. The next step was selecting landscape metrics. Based on the aim of the study and the reviewed literature, spatial composition and spatial configuration are selected as two main elements of spatial patterns of urban green areas. The relationship between land cover patterns and surface temperature is analyzed and discussed by using Pearson and Pearson Partial correlation method.

Discussion of results

The result of Pearson correlation analysis showed that there is a significant and negative correlation between spatial composition of A, B and D land cover classes with surface temperature. The highest negative correlation belongs to class B (scattered trees) and the lowest belongs to class A (dense trees). In contrast to these negative correlations, the correlation coefficient of class C with surface temperature is positive and significant.

The result of Pearson correlation analysis regarding spatial configuration showed that the average size of each green space class has a continuous and significant negative relationship with the surface temperature, though the size of these correlations varies in different classes. The correlation also showed that besides size and significance, the direction of green marginal density of each class also differs. It should be noted that the surface area of green space classes (as a composition metric) has a great impact on the results so that the correct and clear correlation of configuration metrics with temperature could not be distinguished. This issue was resolved by using Partial Pearson correlation coefficient and controlling the effect of Class Area metric. As a result, the relationship between configuration metrics and LST changed significantly. Before controlling the Class Area metric, almost all metrics were correlated with LST, however, the new detailed findings showed that only the Mean Size of Patches in A and D classes and Edge Density in B and C classes had a significant relationship with surface temperature.

The study shows that spatial composition of green spaces in Tehran in relation to the Class area of classes A, B and D had a negative and inverse relationship with surface temperature. Class B, located in the east and west of Tehran, has the highest negative correlation. Class A, in the east and center of the city with the lowest surface area and its scattered distribution pattern in comparison to other classes, has the least negative correlation with surface temperature (95% confidence level). Class D, located mostly in the south and west of the city, has a negative relationship between class area and temperature at the 99% confidence level. The correlation of spatial composition of class C in the northern half of the city is not like the other three classes and indicates a positive and significant relationship with surface temperature due to the presence of shrubs and grasslands with low density, scattered shrubs, and soil.

Regarding the partial Pearson correlation of spatial configuration metrics, the Mean Patch size of Class A at 99% confidence level shows a negative and significant relationship with temperature, but due to its subdivision and uneven distribution of green space in this class, the effect of this class in the reduction of temperature is not significant. The Mean Patch size of class D has a significant negative relationship with surface temperature at 95% confidence level, although its cooling effect is not considerable.

Both Edge Densities of classes B and C at 95% confidence level had a significant positive correlation with surface temperature, but as trees did not exist in a dominant and dense manner to cause shading and temperature adjustment in these type of greenspace classes, a positive correlation between the Edge Density of them and surface temperature is occurred.

Conclusion

This paper has demonstrated the relationship between urban heat islands and spatial patterns of green spaces in Tehran city. The literature based study showed the scope of the problem explaining that urban greenspaces contribute to mitigate climate change impacts through decreasing the surface temperature. The spatial form and pattern of urban green spaces have different effect on surface temperature as indicated in several studies. Importantly, planners and designers need more detailed studies to take into account the relation between effects of spatial composition and configuration of different classification of plants in Tehran and the needs for the development for built areas to have a control on urban surface temperature. In this research, greenspaces patterns were studied using Local Climate Zone (LCZ) method and correlation of spatial pattern (composition and configuration) of each of LCZ green classes with the surface temperature were provided. The results of the analysis of the spatial composition of these classes showed that tree canopy greenspaces in both cases of high/ low density and low plants have a reducing effect on temperature, but low-density grasslands and scattered shrubs with soil cover have a positive relationship with temperature. More detailed results on the spatial configuration show that only the mean patch size in dense tree areas and low plants has a significant negative correlation with temperature. Nevertheless, Edge density of scattered trees and open arrangement of bushes had a significant positive relationship with temperature. Thus, urban green space planning and management, through determining the type, composition, and configuration of existing patterns and their improvements based on their effect on the reduction of surface temperature will help to decrease urban heat island impacts.

Based on the findings, in order to reduce the average temperature of the city of Tehran, it is recommended to increase the area of class B greenspaces in the central part of Tehran. In addition, changing the green space of class C to one of the classes A (if possible) or B will reduce the surface temperature and improve the thermal comfort.

تأثیر الگوهای فضایی ساختار سبز شهری بر کاهش دمای جزایر حرارتی مورد مطالعه: شهر تهران

بهناز امین زاده*، سهیل قشلاق‌پور

دانشکده شهرسازی، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۵

چکیده

هدف از این پژوهش تدقیق رابطه بین فضای سبز و دمای سطح زمین به‌عنوان عامل مهم در ایجاد جزایر حرارتی در شهرها است. موضوعی که علیرغم توجه محققان به‌ویژه در دو دهه اخیر نتایج ضد و نقیضی را نشان داده است. شهر تهران به‌عنوان نمونه موردی، در دهه‌های اخیر با تغییرات مشخصی توسط توسعه بخش‌های ساخته شده و در نتیجه تغییر الگوی فضاهای باز و سبز طبیعی و نیز تغییرات میانگین دما روبه‌رو بوده است. روش کار با استفاده از طبقه‌بندی LCZ، سنجش متریک‌های منتخب سیمای سرزمین و تحلیل ارتباطات از طریق همبستگی پیرسون و پیرسون جزئی است. نتایج نشانگر آن است که مناطق با پوشش درختی در هر دو حالت تراکم زیاد/ کم، تأثیر کاهنده‌ای بر دما دارند. میانگین اندازه لکه‌های سبز متراکم درختی همراه با گیاهان با ارتفاع کم، عامل مهمی در کاهش دماست و در مقابل آن سطح مناطق سبز و میزان تراکم حاشیه‌ای در فضاهای سبز شامل علفزارها با تراکم پایین و درختچه‌های پراکنده با کفپوش خاک تأثیر فزاینده‌ای بر دمای سطح زمین دارند. این نتایج امکان تأثیر بر میزان کاهش دمای جزایر حرارتی از طریق برنامه‌ریزی الگوهای فضایی مناسب مناطق سبز شهری را فراهم می‌کند.

کلیدواژه‌ها: الگوهای فضایی، جزایر حرارتی، ساختار فضای سبز شهری، شهر تهران

سراغاز

با افزایش شهرنشینی، آثار جزایر حرارتی شهری نیز شدت می‌یابد (Liu et al., 2007). دمای هوای^۲ جزایر حرارتی شهر دارای کیفیت موقتی و بازه زمانی گسترده است که می‌تواند تغییرات موقتی جزایر حرارتی را توصیف کند، ولی به تصویر کشیدن تغییرات مکانی این عامل، امری دشوار است که این دشواری، با استفاده از دمای سطح زمین^۳ (LST) که به‌طور هم‌زمان دمای کل شهر را نشان می‌دهد، قابل حل است (Weng, 2009). یکی از رویکردهای معاصر کاهش آثار جزایر حرارتی شهری، افزایش کیفیت

افزایش دما ناشی از جزایر حرارتی شهر^۱ (UHI) در تشدید طیف گسترده‌ای از پیامدهای منفی زیست‌محیطی و اجتماعی از جمله: مرگ و میر ناشی از گرما (Hondula et al., 2014)، تغییر زیست‌پذیری جوامع (McIntyre et al., 2001) و گرم شدن زمین (Karl et al., 1993; Santamouris et al., 2015) مؤثر است. جزایر حرارتی شهری، پدیده بالاتر بودن دما در مناطق شهری نسبت به مناطق روستایی و حومه‌ای را توصیف می‌کنند (Li et al., 2013)، به‌طوری‌که هم‌زمان

مبانی نظری

تحقیقاتی که در رابطه با موضوع ارتباط بین فضاهاى سبز و دمای سطح زمین انجام شده، نتایج ضد و نقیضی را نشان می‌دهد (جدول ۱) که این خود ضرورت انجام مطالعات بیشتر در این حوزه را مشخص می‌کند. برای مثال در مطالعاتی که توسط Zhou, Li, و Guo انجام شده است سنجه‌های مساحت^{۱۱} (CA)، تراکم حاشیه‌ای^{۱۱} (ED) و متوسط اندازه^{۱۲} (MPS) فضای سبز بررسی شدند (Li et al., 2013; Zhou et al., 2017; Guo et al., 2019). این مطالعات همچون تحقیقات قبلی بر رابطه منفی مساحت فضای سبز با دمای سطح زمین تأکید داشتند درحالی‌که دربارهٔ دیگر سنجه‌های اندازه‌گیری شده نتایج متفاوتی را نشان می‌دادند.

در تحقیق Zhou و همکاران (۲۰۱۱)، تراکم حاشیه‌ای فضای سبز در آب‌وهوای گرم و مرطوب اثر منفی بر دما ولی رابطهٔ این سنجه در آب‌وهوای گرم و خشک مشابه نتایج Li و Guo است که در شرایط وضوح تصویر بالا و خرددانه‌گی زیاد به رابطه مثبت تراکم حاشیه‌ای با دمای سطح زمین رسیده‌اند. از طرفی نتایج همین مطالعات دربارهٔ متوسط اندازه فضای سبز عکس نتایج رابطه بین تراکم حاشیه‌ای با دما را نشان می‌داد. پژوهش‌هایی نیز در ارزیابی رابطه بین الگوی فضایی کاربری زمین شهری و دمای سطح زمین (LST) به کمک شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص نسبت پوشش گیاهی (PVC)، رگرسیون خطی و شناسایی مناطق مستعد بر اساس پخشایش و آسیب‌پذیری جمعیتی به رابطهٔ منفی مساحت و تراکم حاشیه‌ای فضای سبز با دمای سطح زمین اشاره داشتند (Li et al., 2011; Zhou et al., 2011; Dugord et al., 2014).

اگرچه عواملی مانند شرایط آب و هوایی متفاوت شهرها، تکنیک‌های کمی گوناگون در تحلیل اطلاعات، وضوح تصویر متفاوت در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای یا

هوا و تعدیل تغییرات آب و هوایی زیرساخت‌های سبز است (Al-Dabbous and Kumar, 2014; Monteiro et al., 2016). اصطلاح زیرساخت‌های سبز^۴ (GI) به «شبکه برنامه‌ریزی شدهٔ مناطق طبیعی و نیمه‌طبیعی با سایر ویژگی‌های طراحی و مدیریت زیست‌محیطی با طیف گسترده‌ای از خدمات اکوسیستم» در مناطق شهری و در مقیاس‌های مختلف فضایی اطلاق می‌شود که علاوه بر کاهش آثار جزایر حرارتی، رویکردی مؤثر در مدیریت آب، کنترل رواناب‌ها و سیل‌ها، بهبود زیبایی شهری و حفاظت از تنوع زیستی است (Naumann et al., 2011; Pearlmutter et al., 2017). عامل مهم در این رویکرد، فضای سبز است که به انواع زیرساخت‌های مرتبط با پوشش گیاهی و عناصر طبیعی اشاره دارد، به‌طوری‌که فضای سبز قابلیت زیادی برای کاهش جزایر حرارتی از طریق عمل تبخیر یا جذب تابش‌های با موج کوتاه را داشته و مساحت متناسب فضای سبز در یک منطقه یکی از عوامل مؤثر در خنک‌کنندگی است (Chen et al., 2014; Kong et al., 2014; Li et al., 2012; Myint et al., 2013). این پژوهش با هدف تدقیق و شفاف کردن چگونگی تأثیر الگوهای ساختار سبز و گونه‌بندی آن‌ها بر دمای جزایر حرارتی، در تلاش است تا به این سؤالات پاسخ دهد:

۱. رابطه بین الگوی فضایی^۵ ساختار سبز با کاهش یا افزایش دمای سطح زمین چیست؟
 ۲. گونه‌بندی و الگوهای مختلف فضاهاى سبز شهری چه نقشی در تغییرات دمای سطحی زمین دارد؟
- برای انجام تحقیق از روش پهنه‌بندی اقلیم محلی^۶ (LCZ)، اندازه‌گیری متریک‌های سیمای سرزمین^۷ و سنجش دو متغیر ترکیب فضایی^۸ و پیکربندی فضایی^۹ که در تحلیل ساختار فضای سبز کاربرد دارد (Buyantuyev and Wu, 2010; Zhou et al., 2017; Cao et al., 2010; Li et al., 2011, 2012) استفاده شده است.

جدول ۱. مطالعات مربوط به بررسی رابطه الگو فضایی و دمای سطح زمین

محققان	سال	شهر مطالعه	روش	نتایج
Junxiang Li et al.,	2011	شانگهای چین	تجزیه و تحلیل دمای سطح زمین (LST) در رابطه با شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص نسبت پوشش گیاهی (PVC)، و درصد سطوح غیرقابل نفوذ (ISA)	رابطه خطی منفی بین شاخص نرمال شده و نسبت پوشش گیاهی با دمای سطح زمین و رابطه مثبت بین سطوح غیرقابل نفوذ و دمای سطح زمین و همین‌طور تأثیر کاهشی مناسب‌تر پوشش گیاهی در تابستان نسبت به اوایل بهار
Weiqi Zhou et al.,	2011	بالتیمور ایالات متحده	بررسی رابطه الگوی فضایی کاربری‌های مختلف شهری با دمای سطح زمین با استفاده از رگرسیون خطی	مشاهده رابطه منفی مساحت فضای سبز با دمای سطح زمین
Xiaoma Li et al.,	2013	بجین چین	بررسی الگوی فضایی فضای سبز در سه وضوح مکانی (۲/۴۴ متر، ۱۰ متر، ۳۰ متر) براساس تصاویر ماهواره‌های Landsat TM، QuickBird، SPOT و استفاده از روش همبستگی پیرسون برای بررسی رابطه بین الگوهای فضای سبز و LST	تصاویر با وضوح بالاتر می‌توانند با دقت بیشتری الگوی فضایی فضای سبز را تعیین کنند و رابطه بین مساحت فضای سبز و LST به‌طور مداوم منفی، اما رابطه بین سنجه‌های پیکربندی آن با LST در وضوح مکانی مختلف، متفاوت است.
Pierre-Adrien Dugord et al.,	2014	برلین آلمان	بررسی دمای سطح زمین با توجه به الگوی کاربری زمین و شناسایی مناطق مستعد بر اساس پخشایش و آسیب‌پذیری جمعیتی	اثر خنک‌کنندگی بیشتر فضای سبز در صبح نسبت به عصر
Fanhua Kong et al.,	2014	نانجینگ چین	بررسی رابطه بین الگوی فضایی فضای سبز و LST با استفاده از روش همبستگی پیرسون	مناطق که درصد بیشتری از پوشش گیاهی را تجربه می‌کنند اثر خنک‌کنندگی بیشتری دارند و افزایش ۱۰ درصد منطقه تحت پوشش فضای سبز به کاهش حدود ۰/۸۳ درجه سانتی‌گراد در دمای سطح منجر می‌شود.
Weiqi Zhou et al.,	2017	بالتیمور (گرم و مرطوب) و ساکرامنتو (گرم و خشک) ایالات متحده	بررسی رابطه بین الگوی فضایی فضای سبز و LST در چند مقیاس مختلف و با استفاده از روش همبستگی پیرسون، پیرسون جزئی و رگرسیون چند متغیره	میانگین اندازه فضای سبز (MPS) آثار مثبت معناداری بر LST در بالتیمور داشته، اما تأثیرات منفی آن در ساکرامنتو مشخص شد. در مقابل، تراکم لبه (ED) آثار منفی بر LST در بالتیمور، اما آثار مثبت در ساکرامنتو دارد. علاوه بر این نتایج بر ضرورت کنترل تأثیر سنجه مساحت درختان، هنگام کمی کردن آثار پیکربندی فضایی آن‌ها بر LST تأکید می‌کند و روابط بین سنجه‌های پیکربندی و LST با افزایش مقیاس قوی‌تر می‌شود.
Guanhua Guo et al.,	2019	شنزن، گوانژو، فوشان و دون‌گوآن چین	سنجش داده‌های فضای سبز و LST برای تابستان و زمستان سپس مقایسه تغییرات آماری با استفاده از روشی جدید، ترکیبی از رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی	سهم ترکیب فضایی از سنجه‌های فضای سبز نقش تعیین‌کننده‌تری در تعیین LST، به‌ویژه در تابستان بازی می‌کند علاوه بر این اثر جزایر حرارتی شهر تنها با افزایش مساحت فضای سبز کاهش نمی‌یابد بلکه باید بهینه‌سازی پیکربندی فضایی فضای سبز نیز در نظر گرفته شود.

جدول ۲. متغیرهای منتخب سیمای سرزمین در سنجش الگوهای فضایی فضاهای سبز

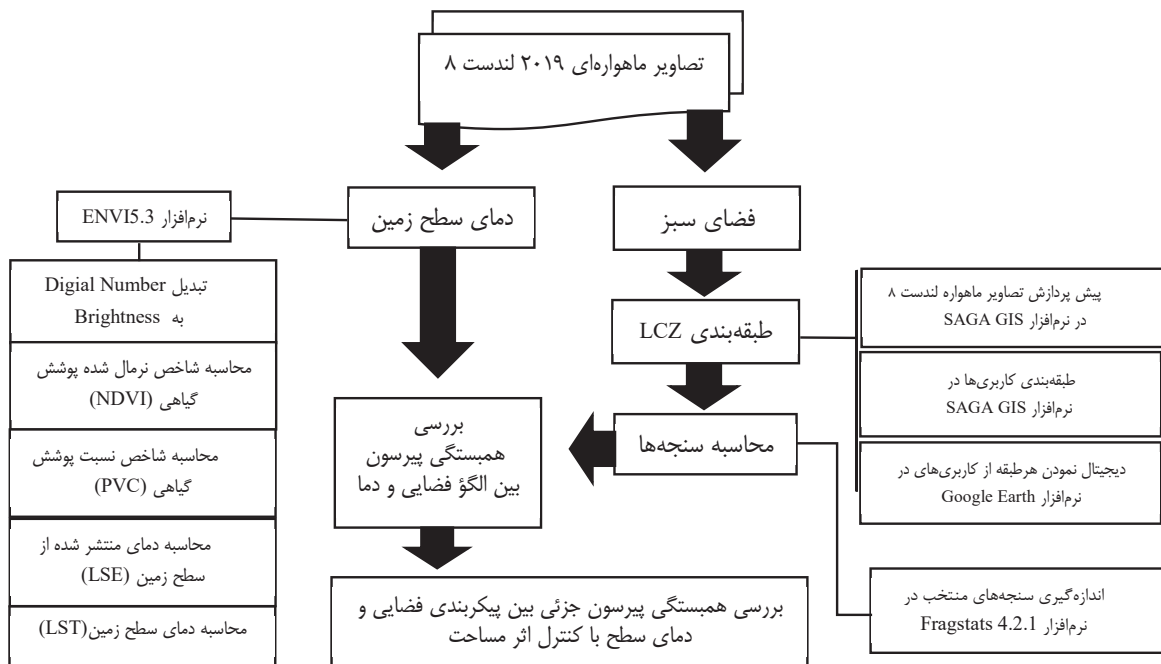
الگوهای فضایی	سنجه‌ها	واحد	تعریف	استنادها
ترکیب فضایی	مساحت کلاس (CA)	هکتار	مساحت (مترمربع) تمامی لکه‌های مربوط به یک نوع کلاس تقسیم بر ۱۰,۰۰۰ (برای تبدیل به هکتار)	McGarigal et al., 2002; kong et al., 2014; Li et al., 2012
پیکربندی فضایی	متوسط اندازه کلاس (MPS)	هکتار	تعداد لکه‌های موجود در کلاس و سطح کل کلاس است و میانگین سطح لکه‌ها را حساب می‌کند.	Kong et al., 2014; Zhang et al., 2009; McGarigal et al., 2002; Li et al., 2012
	تراکم لبه کلاس (ED)	متر هکتار	کل محیط لکه‌های یک کلاس در هکتار	Connors et al., 2013; Maimaitiyiming et al., 2014; McGarigal et al., 2002b; Li et al., 2012

a: مساحت لکه‌های کلاس i، A: مساحت کل منظر مورد بررسی، i1: تعداد کل لکه‌های کلاس i، e: محیط لکه‌های

سه سنجه منتخب در بحث ترکیب و پیکربندی فضایی فضاهای سبز در رابطه با دمای سطح زمین را که به تعبیر Peng و همکاران دارای ویژگی‌های ۱. اهمیت در نظریه و عمل؛ ۲. راحتی در محاسبه و قدرت تفسیر بالا و ۳. ایجاد کمترین مبالغه در مقدار داده‌ها هستند را نشان می‌دهد (Peng et al., 2010).

در نهایت پس از محاسبه سنجه‌های فضای سبز و دمای سطح زمین، تحلیل رابطه الگوهای فضای سبز شهر تهران و دمای سطح آن با استفاده از نرم‌افزار SPSS 25 و ضریب همبستگی پیرسون^{۱۵} انجام شد. در خصوص سنجه‌های پیکربندی هرکلاس از فضای سبز باید توجه داشت که این سنجه‌ها با مساحت فضای سبز رابطه زیادی دارند و ممکن است تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون روابط فرینده‌ای را بین پیکربندی فضایی آن‌ها و دمای سطح زمین نشان دهد. بنابراین با استفاده از ضریب همبستگی جزئی پیرسون^{۱۶} پس از انتخاب مساحت فضای سبز به‌عنوان متغیر کنترل شده، می‌توان این نقص را رفع کرد. فرایند و جزئیات روش‌های به‌کار گرفته شده در نمودار ۲ آمده است.

کلاس‌های فضای سبز عبارت‌اند از: A؛ درختان سوزنی/پهن برگ با تراکم زیاد و پوشش سبز در کف (جنگل‌های طبیعی - جنگل‌های دست کاشت - پارک‌های شهری)، B؛ درختان سوزنی/پهن برگ با تراکم کم و پوشش سبز در کف (جنگل‌های طبیعی - جنگل‌های دست کاشت - پارک‌های شهری)، C؛ بوته‌ها و علفزارها با تراکم پایین و درختچه‌های پراکنده و پوشش خاک در کف (بیشه‌ها و بوته‌زارها طبیعی - زمین‌های کشاورزی)، D؛ گیاهان با ارتفاع کم بدون/با درختچه‌ها محدود و پراکنده و پوشش سبز در کف (چمنزارها و مراتع طبیعی - زمین‌های کشاورزی - پارک‌های شهری). در مرحله بعد و پس از تولید نقشه طبقه‌بندی شده فضاهای سبز شهر به تطابق داده‌های آشکارسازی شده با نقشه گوگل ارث مربوط به زمان مورد برداشت در نرم‌افزار ENVI 5.3 و بررسی صحت طبقه‌بندی با استفاده از ضریب کاپا^{۱۳} و صحت کلی^{۱۴} (ضریب کاپا بالای ۸۵ درصد و صحت کلی بالای ۹۰ درصد) پرداخته شد. پس از تولید نقشه گونه‌بندی فضاهای سبز شهر تهران، کمی‌سازی ویژگی‌های اراضی سبز با کمک سنجه‌های سیمای سرزمین و محاسبه آن‌ها در نرم‌افزار Fragstats 4.2.1 انجام شد به‌طوری‌که جدول ۲،

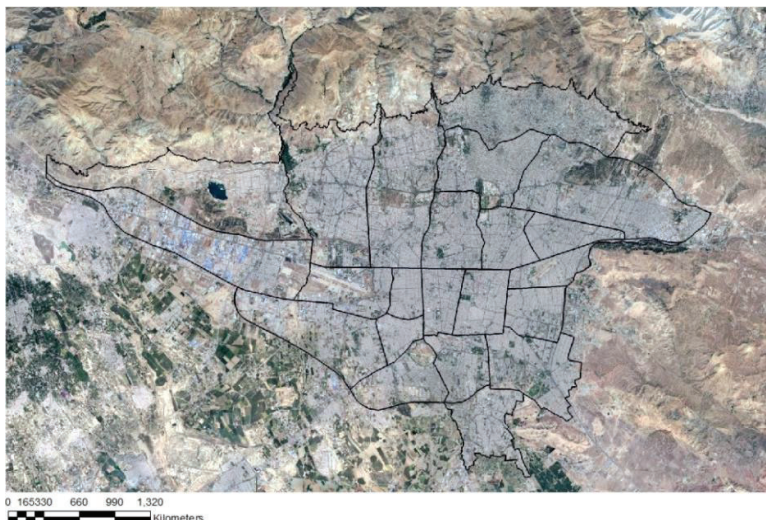


نمودار ۲. فرآیند بررسی رابطه فضای سبز با دمای سطح زمین

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شهر تهران در دامنه جنوبی کوه‌های البرز و حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران واقع شده است (شکل ۱) که مساحت آن با احتساب حریم شهری حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع است. این شهر تحت تأثیر عوامل شکل‌زایی طبیعی بلند مدت (آب و هوا و زمین‌شناسی)، میان مدت (تضاد آب‌وهوای فصلی) و کوتاه مدت و سریع

(انسانی) به شهری فاقد پایداری از نظر ساختار سرزمین تبدیل شده است (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۴) و در حد متوسطی از آسیب‌پذیری قرار دارد (معرب و امیری، ۱۳۹۷). این روند توالی بر اهمیت تشدید سیاست‌های محافظه‌کارانه در حفاظت از شرایط طبیعی و جلوگیری از روند تخریب ساختار سرزمین (پوشش گیاهی، کریدورهای طبیعی و فضاهای طبیعی باز و ..) تأکید دارد (مهندسین مشاور همکار، ۱۳۸۴).



شکل ۱. موقعیت و ساختار شهر تهران

جدول ۳. ویژگی‌های سنجده مورد استفاده در تحقیق (URL1)

ماهواره	سنجده sensor	سال	تاریخ اخذ داده Acquisition data			ردیف Row	گذر path	UTM Zone	مبنا Datum
لندست ۸	OLI	۲۰۱۹	۰۶/۱۳	۰۷/۳۱	۰۸/۱۶	۰۹/۱۷	۱۶۴	۳۹	WGS۸۴

جدول ۴. دمای سطحی شهر تهران در سال ۲۰۱۹

کمترین دما	بیشترین دما	میانگین دما	انحراف معیار
۱۹/۳۲	۴۹/۵۲	۳۶/۱۸	۳/۸۶

گردآوری داده‌ها

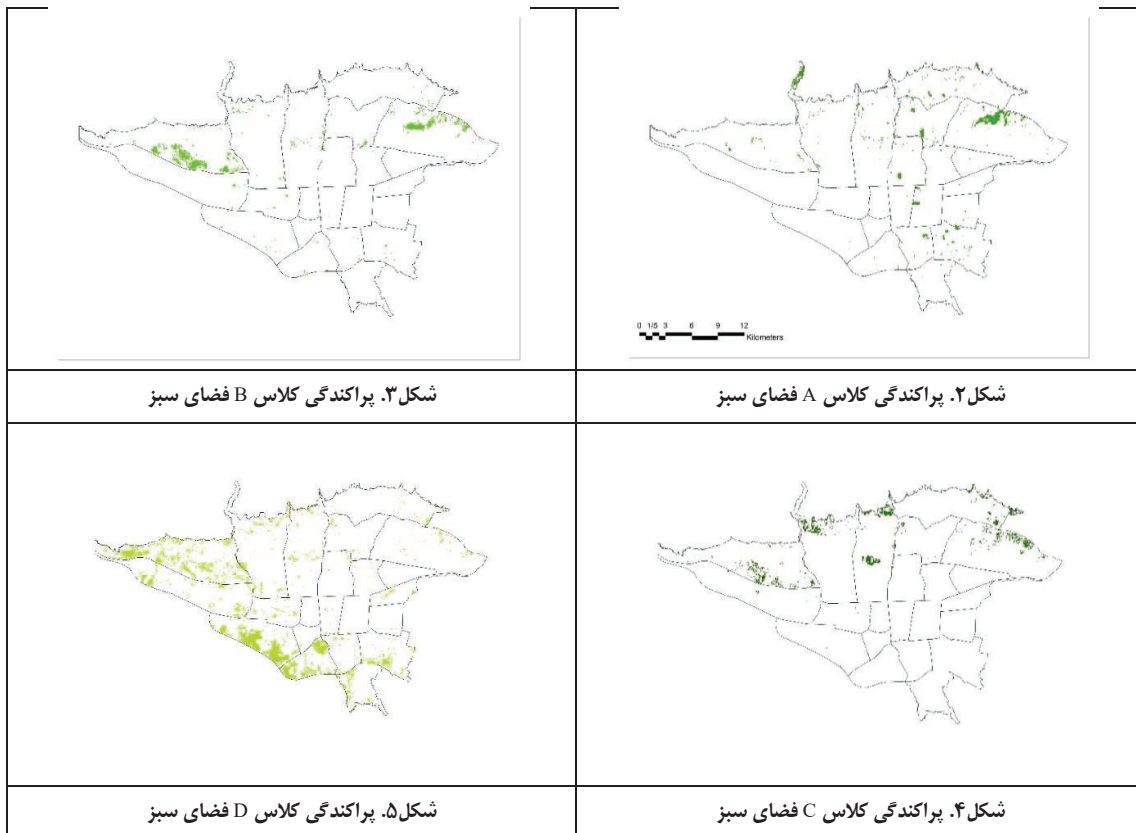
برای طبقه‌بندی کلاس‌های فضای سبز شهر تهران از تصویر ماهواره‌ای با مشخصات جدول ۳ استفاده شده است تا از طریق آن بتوان خصوصیات ساختاری و پوشش زمین که تأثیر بر دمای جو در ارتفاع ۱-۲ متری بالاتر از سطح زمین دارند (Das and Das, 2020)، استخراج شود.

در سنجش دمای سطح شهر تهران از تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار ENVI5.3 استفاده شد و با محاسبه دمای درخشندگی^{۱۷} (BT)، شاخص نرمال شده پوشش

گیاهی^{۱۸} (NDVI)، نسبت پوشش گیاهی^{۱۹} (PVC) و دمای منتشر شده از سطح^{۲۰} (LSE)، دمای سطح زمین (LST) محاسبه شد (جدول ۴).

نتایج

نقشه کلاس‌های فضای سبز شهر تهران در سال ۲۰۱۹ به کمک ماهواره لندست ۸ و با روش LCZ تولید شد. ضریب کاپا و صحت کلی این نقشه ۰/۸۷۰۶، ۸۸/۱۷۲ درصد بود که دقت نقشه تولیدی را تصدیق می‌کند.



جدول ۵. همبستگی ترکیب فضایی کلاس‌های فضای سبز با دمای سطح زمین

D	C	B	A	کلاس‌ها	متریکی
(گیاهان با ارتفاع کم و زمین سبز)	(علفزارها با تراکم پایین و زمین خاک)	(درختان پراکنده و زمین سبز)	(درختان متراکم و زمین سبز)	مساحت کلاس (CA)	ترکیب فضایی
-۰/۴۳**	+۰/۳۷۸*	-۰/۸۴**	-۰/۴۶*		

** P<۰/۰۱; * P< ۰/۰۵

جدول ۶. همبستگی پیکربندی فضایی کلاس‌های فضای سبز با دمای سطح زمین

D	C	B	A	کلاس‌ها	متریکی‌ها
(گیاهان با ارتفاع کم و زمین سبز)	(علفزارها با تراکم پایین و زمین خاک)	(درختان پراکنده و زمین سبز)	(درختان متراکم و زمین سبز)	متوسط اندازه کلاس (MPS)	پیکربندی فضایی
-۰/۴۲۱*	-۰/۳۰۳*	-۰/۳۱۸*	-۰/۴۹۸**		
-۰/۳۷۱	+۰/۷۶۶**	+۰/۶۶۷**	-۰/۵۰۱**	تراکم حاشیه‌ای کلاس (ED)	

** P<۰/۰۱; * P< ۰/۰۵

همان‌طور که بیان شد، سنجه مساحت کلاس‌های فضای سبز (ترکیب فضایی) تأثیر زیادی بر سنجه‌های پیکربندی این کلاس‌ها دارند، به طوری که این تأثیر موجب عدم نمایش مقدار همبستگی صحیح سنجه‌های پیکربندی با دما می‌شود. بنابراین با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون جزئی و کنترل تأثیر مساحت فضای سبز، روابط بین سنجه‌های پیکربندی و LST بسیار تغییر یافت (جدول ۷). بدین صورت که کلاس A و D در سنجه متوسط اندازه لکه و کلاس‌های B و C در سنجه تراکم حاشیه‌ای با دمای سطح زمین رابطه معنادار داشتند در حالی که قبل از کنترل مساحت فضای سبز تقریباً تمامی سنجه‌ها دارای همبستگی با LST بودند.

بررسی همبستگی ترکیب فضایی فضای سبز با دمای سطح زمین نشانگر این موضوع بود که مساحت کلاس‌های A و B و D با دمای سطح زمین رابطه منفی و معکوسی داشته‌اند که این موضوع مشابه نتایج تحقیقات گذشته است (Li et al., 2011; Li et al., 2013; Weng et al., 2009; Zhou et al., 2011; Kong et al., 2014; Li et al., 2012; Zhou et al., 2017) به طوری که کلاس B بیشترین همبستگی منفی سنجه مساحت را با دما داشته، ولی طبق

تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون در بررسی رابطه بین ترکیب فضایی کلاس‌های فضای سبز با دمای سطح زمین (جدول ۵) نشان داد که ترکیب فضایی یا سنجه مساحت کلاس‌های A و B و D همبستگی معنادار و منفی با دمای سطح زمین دارد به طوری که بیشترین رابطه منفی به کلاس B (درختان پراکنده و زمین سبز) و کمترین آن به کلاس A (درختان متراکم و زمین سبز) متعلق است و در مقابل این همبستگی منفی، ضریب همبستگی کلاس C با دمای سطح زمین مثبت و معنادار است.

در رابطه با پیکربندی فضایی، همبستگی پیرسون میانگین اندازه هر کلاس فضای سبز با دمای سطح زمین به طور مداوم رابطه معنادار منفی داشته اگرچه اندازه این همبستگی‌ها در کلاس‌های مختلف، متفاوت است. اما این همبستگی درباره تراکم حاشیه‌ای کلاس‌های فضای سبز علاوه بر اهمیت و اندازه و معناداری، به لحاظ جهت نیز متفاوت است (جدول ۶) به طوری که کلاس A همبستگی منفی معنادار با دما ولی کلاس‌های B و C همبستگی مثبت معنادار تراکم حاشیه‌ای با دما را نشان می‌دهد از طرفی سنجه تراکم حاشیه‌ای کلاس D همبستگی معناداری را با دمای سطح ندارد.

طبق شکل ۴ کلاس D بیشتر در جنوب و غرب شهر قرار دارد و مساحت آن دارای رابطه منفی با دما در سطح اطمینان ۹۹ درصد است ولی شایان ذکر است یافته‌های قبلی نشان داده است که تأثیر فضاهای سبز با درخت کم و زمین چمن برای کاهش دمای سطح زمین کمتر از فضاهای سبز با درختان زیاد است (Myint et al., 2015).

شکل ۳ بیشتر در مناطق شرقی و غربی شهر تهران واقع شده و در مراکز اصلی شهر که دارای دمای بالا هستند قرار ندارد، کلاس A با وجود پخشایش در شرق و مرکز شهر دارای کمترین مساحت از کلاس‌های فضای سبز بوده (شکل ۲) و از فضاهای خرد تشکیل می‌شود به همین علت است که سنجه مساحت آن کمترین ارتباط منفی را با دمای سطح زمین و در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارد.

جدول ۷. همبستگی پیکربندی فضایی کلاس‌های فضای سبز با دما پس از کنترل اثر مساحت

D (گیاهان با ارتفاع کم و زمینه سبز)	C (علفزارها با تراکم پایین و زمینه خاک)	B (درختان پراکنده و زمینه سبز)	A (درختان متراکم و زمینه سبز)	کلاس‌ها متریک‌ها	پیکربندی فضایی
-۰/۳۶۸*	-۰/۱۶۷	-۰/۰۷۱	-۰/۴۵۸**	متوسط اندازه کلاس (MPS)	
-۰/۱۳۹	+۰/۳۳*	+۰/۵۱۹*	-۰/۱۰۶	تراکم حاشیه‌ای کلاس (ED)	

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$

حاشیه‌ای کلاس‌های B و C در سطح اعتماد ۹۵ درصد ارتباط مثبت معنادار با دمای سطح زمین داشتند و طبق مطالعات گذشته افزایش تراکم حاشیه‌ای موجب افزایش سایه‌اندازی و کاهش دما می‌شود (Zhou et al, 2017) ولی در این نوع از کلاس‌های فضای سبز درختان به صورت غالب وجود نداشته که این امر موجب ایجاد رابطه مثبت تراکم حاشیه‌ای این کلاس‌ها با دما می‌شود.

باتوجه به روابط متفاوت الگوی فضایی کلاس‌های فضای سبز شهر تهران، به منظور کاهش میانگین دمای شهر بهتر است مساحت کلاس B فضای سبز را در مناطق مرکزی شهر و پر تردد، افزایش داد و علاوه بر این کلاس، می‌توان از کلاس A هم استفاده کرد ولی این اراضی به علت تراکم زیاد درخت قابلیت استفاده گسترده در مراکز شهری را ندارند. از طرفی هم می‌توان اراضی فضای سبز کلاس C را که در درون شهر واقع شده‌اند را به یکی از کلاس‌های ذکر شده تغییر داد که موجب بهبود و کاهش دمای سطح زمین شود.

همبستگی ترکیب فضایی کلاس C فضای سبز که در نیمه شمالی شهر وجود دارد (شکل ۵)، همچون سه کلاس دیگر نبوده و نشانگر رابطه مثبت و معنادار با دمای سطح زمین به علت وجود بوته‌ها و علفزارها با تراکم پایین، درختچه‌های پراکنده و زمینه خاکی است. در رابطه با همبستگی پیروسون جزئی سنجه‌های پیکربندی فضایی، متوسط اندازه کلاس A در سطح اطمینان ۹۹ درصد رابطه منفی و معنادار با دما نشان می‌دهد به طوری که افزایش متوسط اندازه لکه‌های سبز دارای درختان متراکم موجب افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه کاهش دما می‌شود (Cao et al., 2010; Lin and Xu, 2015; Yokohari et al., 2009; Zhang et al., 1997). ولی با توجه به خردانگی و پخشایش این کلاس فضای سبز و افزایش دمای شهر تهران، کلاس A توانایی کاهش دمای این شهر را ندارد. علاوه بر این، متوسط اندازه کلاس D نیز در سطح اعتماد ۹۵ درصد با دمای سطح زمین رابطه منفی معنادار دارد، اگر چه آثار خنک‌کنندگی آن کمتر است. از طرفی تراکم

بحث و نتیجه‌گیری

نشان می‌دهد. نتایج دربارهٔ پیکربندی فضایی نشان دهنده این موضوع است که تنها میانگین اندازه لکه‌های سبز درختان متراکم و گیاهان با ارتفاع کم همبستگی منفی معنادار با دما داشته و در مقابل، فضای سبز با تراکم کم درختان و اراضی سبز شامل علفزارها با تراکم پایین در رابطه با سنجه تراکم حاشیه‌ای رابطه مثبت معنادار با دما داشته‌اند. نتایج کلی تحقیق نشان می‌دهد که نوع گیاهان و پوشش زمین، ترکیب‌بندی و پیکربندی فضاهای سبز شهری بر کاهش یا افزایش دمای سطح زمین تأثیر دارد. با برنامه‌ریزی و مدیریت مناطق سبز شهری، از طریق شناخت دقیق الگوهای فضایی می‌توان تغییر مؤثری بر کاهش دمای جزایر حرارتی و در نتیجه پیامدهای منفی تغییرات اقلیم ایجاد کرد.

یادداشت‌ها

1. Urban Heat Island
2. air temperature
3. Land Surface Temperature
4. Green Infrastructures
5. spatial pattern
6. Local Climate Zone
7. landscape metrics
8. spatial composition
9. spatial configuration
10. class area
11. Edge Density
12. Mean Patch Size
13. kappa coefficient
14. overall accuracy
15. pearson correlation analysis
16. partial pearson correlation analysis
17. Brightness Temperature
18. Normalize Difference Vegetation Index
19. Proportion of Vegetation Cover
20. Land Surface Emissivity

تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش دمای شهرها و عدم توجه به تأثیر الگوهای فضایی ساختار فضای سبز بر کاهش دما، به ایجاد جزایر حرارتی در مراکز شهری منجر شده است. در این پژوهش فضای سبز با استفاده از روش LCZ در ۴ کلاس (A؛ درختان سوزنی/پهن برگ با تراکم زیاد و پوشش سبز در کف (جنگل‌های طبیعی - جنگل‌های دست کاشت - پارک‌های شهری)، B؛ درختان سوزنی/پهن برگ با تراکم کم و پوشش سبز در کف (جنگل‌های طبیعی - جنگل‌های دست کاشت - پارک‌های شهری)، C؛ بوته‌ها و علفزارها با تراکم پایین و درختچه‌های پراکنده و پوشش خاک در کف (بیشه‌ها و بوته‌زارهای طبیعی - زمین‌های کشاورزی)، D؛ گیاهان با ارتفاع کم بدون/با درختچه‌ها محدود و پراکنده و پوشش سبز در کف (چمنزارها و مراتع طبیعی - زمین‌های کشاورزی - پارک‌های شهری) دسته‌بندی و همبستگی الگوی فضایی (ترکیب و پیکربندی) هر یک از آن‌ها با دمای سطح زمین بررسی شد. نتایج حاصله ترکیب فضایی این کلاس‌ها نشانگر این موضوع بود که فضای سبز درختی در هر دو حالت (تراکم زیاد/کم) و حتی گیاهان کم ارتفاع، تأثیر کاهنده‌ای بر دما دارد. این موضوع تحقیقات پیشین (Guo et al., 2019; Zhou et al., 2017; Li et al., 2013; Maimaitiyiming et al., 2014) که همواره بر رابطه منفی مساحت فضای سبز با دما تأکید داشتند را تصدیق می‌نماید در عین حال نتایج نشان می‌دهد که ترکیب فضایی و مساحت لکه‌های سبز شامل علفزارها با تراکم پایین و درختچه‌های پراکنده با پوشش خاک رابطه مثبتی را با دما

منابع

معرب، ی؛ امیری، م، (۱۳۹۷). بررسی، ارزیابی و تدوین تاب‌آوری کاربری اراضی شهری بر پایه رویکرد توسعه پایدار، محیط‌شناسی، ۴۴(۱)، صص ۱۶۹-۱۴۹.

مهندسین مشاور همکار، (۱۳۸۴). طرح ساماندهی اراضی عباس‌آباد (بخش مطالعات محیط زیست).

یزدان پناه، م؛ یآوری، ا؛ زبردست، ل؛ آل محمد، س، (۱۳۹۴). ارزیابی زیرساخت‌های سبز شهری به منظور اصلاح تدریجی

آن‌ها در سیمای سرزمین تهران، محیط شناسی، ۴۱(۳)، صص ۶۲۵-۶۱۳.

- Al-Dabbous, A. N., & Kumar, P. (2014). The influence of roadside vegetation barriers on airborne nanoparticles and pedestrians exposure under varying wind condition. *Atmospheric Environment*, 90, 113-124.
- Buyantuyev, A., & Wu, J. (2010). Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape Ecology*, 25(1), 17-33.
- Cao, X., Onishi, A., Chen, J., & Imura, H. (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning*, 96(4), 224-23.
- Chen, A., Yao, X. A., Sun, R., & Chen, L. (2014). Effect of urban green patterns on surface urban cool islands and its seasonal variations. *Urban Forestry and Urban Greening*, 13(4), 646-654.
- Connors, J. P., Galletti, C. S., & Chow, W. T. L. (2012). Landscape configuration and urban heat island effects: Assessing the relationship between landscape characteristics and land surface temperature in Phoenix, Arizona. *Landscape Ecology*, 28, 271-283.
- Dugord, P. A., Lauf, S., Schuster, C., & Kleinschmit, B. (2014). Land use patterns, temperature distribution, and potential heat stress risk – the case study Berlin, Germany. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 86-98.
- Das, M., & Das, A. (2020). Assessing the relationship between local climatic zones (LCZs) and land surface temperature (LST)—A case study of Sriniketan-Santiniketan Planning Area (SSPA), West Bengal, India. *Urban Climate*, 32, 100591.
- Guo, G., Zhifeng, W., & Chen, Y. (2019). Complex mechanisms linking land surface temperature to greenspace spatial patterns: Evidence from four southeastern Chinese cities. *Science of the total Environment*, 674, 77-87.
- Hondula, D. M., Georgescu, & M., Balling, R. C. (2014). Challenges associated with projecting urbanization-induced heat-related mortality. *Science of the total Environment*, 490, 538-544.
- Kong, F. H., Yin, H. W., Wang, C. Z., Cavan, G., & James, P. (2014). A satellite image-based analysis of factors contributing to the green-space cool island intensity on a city scale. *Urban Forestry and Urban Greening*, 13, 846-853.
- Karl, T. R., Jones, P. D., Knight, R. W., Kukla, G., Plummer, N., Razuvayev, V., Gallo, K. P., Lindsey, J., Charlson, R. J., & Peterson, T. C. (1993). A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74(6), 1007-1024.
- Liu, W., Ji, C., Zhong, J., Jiang, X., & Zheng, Z. (2007). Temporal characteristics of the Beijing urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, 87(1), 213-221.
- Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X., & Wu, J. (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3249-3263.
- Li, X. M., Zhou, W. Q., Ouyang, Z. Y., Xu, W. H., & Zheng, H. (2012). Spatial pattern of green space affects land surface temperature: Evidence from the heavily urbanized Beijing metropolitan area, China. *Landscape Ecology*, 27, 887-898.
- Li, X., Zhou, W., & Ouyang, Z. (2013). Relationship between land surface temperature and spatial pattern of greenspace: what are the effects of spatial resolution?. *Landscape and Urban Planning*, 114(8), 1-8.
- Lin, Z., & Xu, H. (2016). A study of Urban heat island intensity based on local climate zones: a case study in Fuzhou, China. Paper presented at the 2016 4th International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA), Guangzhou, doi: 10.1109/EORSA.2016.7552807.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., & Ene, E. (2002). FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- McIntyre, N. E., Rango, J., Fagan, W. F., & Faeth, S. H. (2001). Ground arthropod community structure in a heterogeneous urban environment. *Landscape and Urban Planning*, 52(4), 257-274.

- Myint, S. W., Wentz, E. A., Brazel, A. J., & Quattrochi, D. A. (2013). The impact of distinct anthropogenic and vegetation features on urban warming. *Landscape Ecology*, 28(5), 959–978.
- McGarigal, K., Ene, E., & Holmes, C. (2002b). FRAGSTATS (Version 3): FRAGSTATS metrics. University of Massachusetts-Produced Program. http://www.Umass.edu/landec/research/fragstats/documents/fragstats_documents.html
- Maimaitiyiming, M., Ghulam, A., Tiyp, T., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Halik, U., Sawut, M., & Caetano, M. (2014). Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: implications for sustainable urban planning and climate change adaptation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 89, 59–66.
- Monteiro, M. V., Doick, K. J., Handley, P., & Peace, A. (2016). The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. *Urban Forestry and Urban Greening*, 16, 160–169.
- Naumann, D., McKenna, T., Kaphengst, M., & Pieterse M. (2011). Rayment Design, implementation and cost elements of Green Infrastructure projects. Final report to the European Commission, DG Environment, Contract no. 070307/2010/577182/ETU/F.1.
- Pearlmutter, D., Calfapietra, C., Samson, R., O'Brien, L., Krajter Ostoić, S., Sanesi, G., & Alonso del Amo, R. (2017). *The Urban Forest: Cultivating Green Infrastructure for People and the Environment*. Springer. <https://www.springer.com/gp/book/9783319502793>.
- Peng, J., Wang, Y. L., Zhang, Y., Wu, J. S., Li, W. F., & Li, Y. (2010). Evaluating the effectiveness of landscape metrics in quantifying spatial patterns. *Ecological Indicators*, 10(2), 217–223.
- Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A., & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—a review. *Energy and Buildings*, 98, 119–124.
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletio of American Meteorological society*, 93(12), 1879–1900.
- Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335–344.
- Yokohari, M., Brown, R., Kato, Y., & Moriyama, H. (1997). Effects of paddy fields on summertime air and surface temperatures in urban fringe areas of Tokyo, Japan. *Landscape and Urban Planing*, 38(1–2), 1–11
- Zhou, W. Q., Huang, G. L., & Cadenasso, M. L. (2011). Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planing*, 102, 54–63
- 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.
- Zhang, X. Y., Zhong, T. Y., Feng, X. Z., & Wang, K. (2009). Estimation of the relationship between vegetation patches and urban land surface temperature with remote slensing. *International Journal of Remote Sensing*, 30(8), 2105