



<https://gеп.uis.ac.ir/?lang=en>  
Geography and Environmental Planning  
E-ISSN: 2252- 0910  
Document Type: Research Paper  
Vol. 34, Issue 1, No.89, Spring 2023, pp. 1- 4  
Received: 07/04/2022 Accepted: 13/07/2022

## Measuring the Degree of Spatial Autocorrelation of Land Surface Temperature with Land Use (Isfahan City)

Rahman Zandi<sup>1</sup> \*, Mohammad Salmani Moghadam<sup>2</sup>, Zohra Roki<sup>3</sup>

1- Assistant professor of Remote Sensing and GIS Department, Hakim Sabzevari University  
rahmanzandi@gmail.com

2- Assistant professor of the Department of Geography and Urban Planning, Hakim Sabzevari University  
m.salmani@hsu.ac.ir

3- Master of Hydrology and Meteorology, Hakim Sabzevari University  
roki19931@yahoo.com

### Extended abstract:

Urban Heat Island (UHI) is an important factor for heat change and balance in global studies and is considered as a proxy for climate change. Studying this phenomenon and investigating its mechanism are very important in urban planning. During the last two decades, the great need for earth surface temperature information for environmental studies and land resource management activities has turned earth surface temperature remote sensing into one of the most important scientific issues (Sobrino et al., 2004). In a research, Hay et al. (2018) studied the effect of the topographical factor on LST in mountainous areas. The results of their research showed that there was a high correlation between topography parameters and surface temperature. For the area studied in this research, the relationship between LST and altitude was inversely linear. Tran et al. (2017) used Landsat 5,7,8 in order to determine the relationship between land cover change and land surface temperature of the inner city of Hanoi (plain and flat area). The results revealed that: a) LST depends on the non-linear method of LULC types; b) Foci analysis by using the Getis Ord  $G_i^*$  statistic allows analysis of LST pattern change over time; c) UHI is affected from both the urban perspective and type of urban development; d) investigation of LST pattern prediction and UHI effect can be done by the proposed model by using nonlinear regression and simulated LULC change scenarios. In a research in a city of China, the harmful effects of land cover and land use changes on the Earth's surface temperature were investigated through vegetation indicators based on three image sensors of TM and ETM+. For this purpose, the researchers obtained the Temperature Vegetation Index (TVX) from the images. Their

\*Corresponding Author

Zandi, R., Salmanimoghadam, M., & ROuki, Z. (2023). Assessing the degree of spatial auto correlation of Land surface temperature with land use (Case study: Isfahan). *Geography and Environmental Planning*, 34 (1), 1 -4.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



10.22108/GEP.2022.132524.1488



20.1001.1.20085362.1402.34.1.4.9

results showed that land use change is an important factor for increasing the Earth's surface temperature. It also showed high temperature in areas with scattered vegetation and low temperature in areas with dense vegetation. It has been used in the statistical period of 2013-2015 in the city of Isfahan as well. The results of this research showed that there was a sharp thermal gradient due to the presence of Urban Cold Islands (UCI) between the center and suburbs. The largest UCI was identified in Region 6 (Ahmadi et al., 2016).

**Keywords:** Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), spatial statistics, Isfahan City

### **Assumptions**

It seemed that the growth and development of the city had increased the number of heat islands.

It seemed that the heat islands had spread from the surroundings towards the city center in the investigated time period.

### **General purpose**

Measuring the degree of spatial autocorrelation between land surface temperature and land use

#### **Sub-goals:**

Survey of land use in the summer of 2019

Spatial survey of thermal penalty in the summer of 2019

### **Research method:**

In this research, 6 images obtained from Landsat 8 satellite were used Isfahan city in the summer of 2019. Landsat has two sensors; one is called Operational Land Imager (OLI) for Earth observation and the other is Thermal Infra-Red Sensor (TIRS) thermal observation. These two sensors form 11 bands together. The selected images had the wavelengths of 10.30-11.30  $\mu\text{m}$ , spatial resolution of 100 m, and thermal band of 10. The pictures were taken in the warm season when we had the least amount of cloud cover. To prepare the data, atmospheric and geometric corrections on satellite data were used from the digital height data. Then, the Land Surface Temperature (LST) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were calculated by using Google Earth Engine and radiometric corrections were implemented on the data.

### **Results and conclusion:**

This research paid attention to changes in the spatial autocorrelation pattern of surface temperature and its relationship with land use. For this purpose, hot spot index and nearest neighbor average were used. ArcGIS was used to apply the methods. The results of the nearest neighborhood average index showed that Isfahan had some changes in the spatial correlation of ground surface temperature with a high confidence level and the dispersion was clustered at the 99% confidence level. Based on the patterns of hot spots in Regions 5 and 6, which were located in the south of the region, it played a significant role in the formation and creation of thermal islands with 99% hot clusters. There were areas of negative spatial autocorrelation (99% cold clustering areas) in the center of Isfahan city where Regions 1 and 3 existed due to the presence of water use (33 bridges) and thus, a significant part of Isfahan city lacked a statistically significant pattern. The results showed that the areas with vegetation and water use weakened the heat island effect and the areas, in which the built regions were expanded accelerated the heat island effect. In the planning and development of the city, more attention should be paid to greening the city of Amar. Spatial statistics studies can lead to a suitable and new model for the officials, politicians, and urban planners to use in the future.

### **References**

- Clark, w.a.v & Hosking, p.l (1986). Statistical Methods for geographers, John Wiley, (32)2, 65-68.
- Guo, A.Yang J,Sun W,Xiao X (2020). Impact of urban morphology and landscape characteristics on spatiotemporal heterogeneity of land surface temperature. Sustainable Cities and Society, 63, 1024-1043.

- Irons, J., Dwyer, J., Barsi, J. (2012). The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity mission. *Remote Sens. Environ.*, (122)4, 11–21.
- Jeganathan A., Andimuthu, R.; Prasannavenkatesh, R.; Kumar, Divya S. (2016). Spatial Variation of Temperature and Indicative of the Urban Heat Island in Chennai Metropolitan Area, India, *Theoretical and Applied Climatology*, (123)1, 83-95.
- Jiang, J., & Tian, G. (2010). Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing. *Procedia environmental sciences*, (2)3, 571-575.
- Karakuş, C. B. (2019). The impact of land use/land cover (LULC) changes on land surface temperature in Sivas City Center and its surroundings and assessment of Urban Heat Island. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 55(4), 669-684.
- Kashki, A., Karami M., Zandi R., Roki Z (2021). Evaluation of the effect of geographical parameters on the formation of the land surface temperature by applying OLS and GWR, A case study Shiraz City, Iran. *Urban Climate*, 37, 100832.
- Lee, J., & Wong, D. W. (2001). *Statistical analysis with ArcView GIS*. John Wiley & Sons.
- Macintyre, H., Heaviside, C., Taylor, J., Piccittal, R. (2018). Assessing urban population vulnerability and environmental risks across an urban area during heat waves – implications for health protection. *Sci. Total Environ.*, (37)2, 610-611.
- Miss, F. M. (2020). Analyzing spatial variations of relationships between Land Surface Temperature and some remotely sensed indices in different land uses. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, (19)4, 1003-1059.
- Ning, W., Zhao, L., Tang. (2010). Retrieval of atmospheric and land surface parameters from satellite-based Thermal Infrared hyper spectral data using a neural network technique. *International Journal of Remote Sensing*, (34) 9, 3485-3502.
- Rozenstein, O., Zhihao Qin, Yevgeny Derimian, Arnon Karnieli (2014). Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*, 14(4), 5768-5780.
- Santamouris, M. (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 224-240.
- Shetty MA., & Somashekar, R.K. (2014). Assessment of Vegetation cover through NDVI, Bangalore India. *J Appl Res*, 4(3), 176-197.
- Siqi, J., & Yuhong, W. (2020). Effects of land use and land cover pattern on urban temperature variations: A case study in Hong Kong. *Urban Climate*, (34)4, 236-249.
- Sobrino, J., Jiménez-Muñoz, J., Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4), 434-440.
- Suresh, S., Ajay, Suresh A., Mani, K. (2016). Estimation of land surface temperature of high range mountain landscape of Devikulam Taluk using Landsat 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 5(1), 321-338.
- Tan, J., De Yu, Qiang, Li, Xuelan, Tan & Weijun, Zhou. (2020). Spatial relationship between land-use/land-cover change and land surface temperature in the Dongting Lake area, China. *Scientific Reports*, 10(1), 1-9.
- Thomas, R.W. and Hugget, R. J. (1980). *Modeling in Geography, a mathematical approach*, Harper and Row, Publisher, London.
- Tran, D. X., Pla, F., Latorre-Carmona, Pedro, Myint, S., M., Kieu, H. (2017). Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, 119-132.
- Wan, Z. (1999). MODIS land-surface temperature algorithm theoretical basis document (LST ATBD). Institute for Computational Earth System Science, Santa Barbara, 75, 18.
- Wan, Z., Zhang, Y., Q., Zhang, Q., Zhao-liang, Li, a. (2002). Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment*, 83(1), 163-180.
- Zhao, He, Li, A., Wen, F. & Yu, D. (2018). The impact of the terrain effect on land surface temperature variation based on Landsat-8 observations in mountainous areas, *International Journal of Remote Sensing*, (13)3, 1-20.

- Zhao, Li, Z. et. al. (2010). Investigating spatial non-stationary and scale-dependent relationships between urban surface temperature and environmental factors using geographically weighted regression. *Environmental Modelling & Software*, (25)3, 1789- 1800.
- Yuan, F., and Bauer, M. E. (2011). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote sensing of Environment*, 106(3), 375-386.
- Yue, W., and Xu, L. (2013). Thermal environment effect of urban water landscape. *Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica*, 33(6), 1852-1859.
- Zhou, G. Huang, and M. L. Cadenasso,.(2011). Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes, *Landscape and Urban Planning*.(102), 54-63.
- Zhu, CIDemudia C. Fengb W.(2019). Improved logistic regression model for diabetes prediction by integrating PCA and K-means techniques. *Informatics in Medicine Unlocked*, 17, 100179.
- Zullo, F. Fazio, G. ; Romano, B. ; Marucci, A. ; Fiorini, L..(2019). Effects of urban growth spatial pattern (UGSP) on the land surface temperature (LST): A study in the Po Valley (Italy). *Science of the Total Environment*, 650, 1740-1751.



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۴، پیاپی ۸۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۷۶-۶۱

وصول: ۱۴۰۱/۱/۱۸ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۲۲

مقاله پژوهشی

## سنجش میزان خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین با کاربری اراضی نمونه مطالعه: شهر اصفهان

رحمان زندی\*، استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

rahmanzandi@gmail.com

محمد سلمانی مقدم، استادیار گروه برنامه ریزی شهری و روستایی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

m.salmani@hsu.ac.ir

زهره روکی، کارشناسی ارشد گروه اقلیم شناسی و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

roki19931@yahoo.com

### چکیده

جزایر حرارتی شهری و ضریب گسیل سطح شاخص‌های مهمی در مطالعه مدل‌های تعادل انرژی در سطح زمین و بررسی فعل‌وانفعالات سطح زمین در مقیاس منطقه‌ای و جهانی هستند. در این مقاله، اثر جزیره گرمایی شهری با استفاده از داده‌های ماهواره لندست سنجنده OLI سال ۲۰۱۹ شهر اصفهان تجزیه و تحلیل شد. تصاویر انتخاب شده، طول موج ۱۱۰۳۰-۱۰۳۰ میکرومتر و تفکیک مکانی ۱۰۰ متر و باند حرارتی ۱۰ دارند. دمای سطح زمین (LST) و NDVI در گوگل ارث انجین برای تابستان سال ۲۰۱۹ محاسبه شد. هدف پژوهش حاضر ارزیابی خودهمبستگی فضایی جزایر حرارتی و ارتباط آن با کاربری اراضی شهر اصفهان است. برای استخراج کاربری اراضی، از روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر مشابهت استفاده شد. همچنین برای مشخص شدن الگوی پراکندگی، شاخص میانگین نزدیک‌ترین همسایگی به کار رفت. نتایج نشان داد که خوشه‌بندی در دمای سطح زمین با سطح اطمینان بیش از ۹۹ درصد وجود داشته‌است. رابطه میان جزایر حرارتی با کاربری‌های ساخته شده و بایر مستقیم و افزایشی، و ارتباط آن با کاربری‌های پوشش گیاهی و آب معکوس است. مناطق ۴، ۵، ۶ و ۱۲ بیشترین میزان دما و مناطق ۱، ۲ و ۳ کمترین میزان دما را داشته‌اند. همچنین نتایج حاصل از لکه‌های داغ و سرد نشان داد که لکه‌های سرد در مناطق مرکزی و لکه‌های داغ در مناطق جنوب شرقی قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: دمای سطح زمین، تصاویر لندست ۸، لکه‌های داغ و سرد، نزدیک‌ترین همسایه، اصفهان

\*نویسنده مسئول

زندى، رحمان، سلمانی مقدم، محمد و روکی، زهره. (۱۴۰۱). ارزیابی میزان خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین با کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهر اصفهان).

جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۳۴ (۱)، ۷۶-۶۱.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



10.22108/GEP.2022.132524.1488



20.1001.1.20085362.1402.34.1.4.9

## مقدمه

در سال‌های اخیر، آب‌وهوا و محیط‌زیست جهانی دچار تغییرات شدیدی شده‌است. گسترش صنعت و استفاده از سوخت‌های فسیلی به‌منظور تولید انرژی موردنیاز موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای مانند CO و به‌ویژه CH<sub>4</sub>، N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و CFC شده‌است. افزایش گازهای جاذب گرما در جو زمین به افزایش دمای سطح زمین منجر خواهد شد. بنابراین بررسی دمای سطح شهرها و مناطق اطراف آنها ضروری است (Santamouris, 2013; Yue and Xu, 2013; Macintyre et al., 2018).

مطالعات زیادی در مناطق مختلف دنیا در این زمینه انجام شده‌است، ازجمله:

Sobrinho et al. (2004) در پژوهشی دریافته‌اند که جزایر حرارتی شهری (UHI)<sup>۱</sup> عاملی مهم در مطالعات جهانی و تغییر و تعادل گرماسی و نماینده‌ای برای تغییرات آب‌وهوایی به‌شمار می‌رود. بر مبنای این پژوهش، مطالعه این پدیده و بررسی سازوکار آن در برنامه‌ریزی‌های شهری اهمیت بسیار زیادی دارد.

Wan et al. (2002) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که جزایر حرارتی یک متغیر کلیدی در تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی بیلان انرژی سطح، رطوبت سطحی و تبخیر و تعرق و مطالعات تغییر اقلیم در مقیاس‌های گوناگون است. بر مبنای پژوهش Irons et al. (2012) دمای سطح زمین و ضریب گسیل سطح شاخص‌های مهمی در مطالعه مدل‌های تعادل انرژی در سطح زمین و بررسی فعل‌وانفعالات سطح زمین در مقیاس منطقه‌ای و جهانی‌اند.

Wan (1999) در مطالعه‌ای بیان کرد که ضریب گسیل سطح پارامتری است که ویژگی‌های حرارتی یک جسم را توصیف می‌کند و از ویژگی‌های ذاتی جسم به‌شمار می‌رود. بر مبنای نتایج این پژوهش، دقت تعیین دمای سطح زمین به دقت تعیین این پارامتر وابسته است. اطلاعات به‌دست‌آمده از دمای سطح زمین می‌تواند در زمینه مطالعه پدیده‌های گوناگون ازجمله تجزیه و تحلیل جزایر حرارتی شهر، تشخیص آنومالی‌های حرارتی<sup>۲</sup> مربوط به زلزله، شناسایی منابع زمین‌گرمایی، پایش خشکسالی و آتش‌سوزی سودمند باشد.

بر اساس پژوهش Yan and baur (2011) نوع سازه، پوشش سطح زمین، ترافیک، ازدحام جمعیت و فعالیت‌های صنعتی به شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری منجر می‌شود. مستقر شدن پوشش زمین با سنگفرش، سازه‌ها، آسفالت و دیگر ساخت‌وسازهای شهری آثار سردشدگی ابعاد طبیعی را از بین می‌برد. جزایر حرارتی با تغییر الگوی بادهای محلی، تقویت رشد ابرها و مه، افزایش تعداد رعدوبرق و ... به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت و آسایش ساکنان شهری اثر می‌گذارد. آثار نامطلوب این پدیده تخریب محیط‌زیست، افزایش مصرف، افزایش مقدار ازن سطح زمین و حتی افزایش میزان مرگ‌ومیر است.

Kashki et al. (2021) پژوهشی را با هدف ارزیابی نقش پارامترهای جغرافیایی بر شکل‌گیری دمای سطح زمین در شهر شیراز انجام دادند. چهار مؤلفه مهم و معنادار که ارزش ویژه بیش از یک داشتند و حدود ۸۶٫۷۵ درصد

1. Urban heat islands  
2. Thermal anomalies

واریانس متغیرهای اولیه انتخاب شدند. این چهار مؤلفه به ترتیب اهمیت، شامل تابش‌ها (مستقیم، غیرمستقیم و کلی)، جهت شیب و فاصله از رودخانه، پوشش گیاهی و میزان شیب است. در گام بعدی، ارتباط بین مؤلفه‌ها و دمای سطح زمین با استفاده از مدل‌های OLS و GWR برقرار شد. نتایج نشان داد که مدل GWR کارایی بهتری در نمایش توزیع مکانی دمای سطح زمین در شیراز دارد. جزایر حرارتی شهر شیراز بر محدوده فرودگاه و مناطق خاکی و بایر پیرامون شهر منطبق است که اغلب مناطقی با کاربری غیرمسکونی‌اند.

Guo et al. (2020) مطالعه‌ای با هدف کشف ویژگی‌های مکانی و زمانی عوامل تأثیرگذار بر LST چندزمانه با داده‌های چندزمانه و روش تجزیه و تحلیل مکانی در منطقه دالیان چین انجام دادند. نتایج نشان داد که دمای سطح زمین در این منطقه به تدریج با میانگین ۰٫۰۵۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. همچنین همبستگی قوی و مثبتی میان توزیع مکانی LSTs وجود دارد و درجه برازش میان LST و عوامل گوناگون در مدل رگرسیون وزن جغرافیایی (GWR) بهتر از رویکرد حداقل مربعات معمولی است. به علاوه، از توزیع مکانی Local-R2 می‌توان دریافت که با گسترش فضای شهری، تأثیر مناطق شهری بر LST افزایش می‌یابد.

Siqi and Yuhong (2020) در پژوهشی به منظور مطالعه الگوهای دمای سطح زمین و کاربری اراضی در هنگ‌کنگ و تغییرات فصلی، از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های جغرافیایی و اقلیمی استفاده کردند. نتایج نشان داد که LST تحت تأثیر انواع کاربری اراضی و پوشش گیاهی است. مدل حداقل مربعات (OLS) نشان داد که LST با شاخص NDBI و NDBal رابطه مثبت دارد، اما با شاخص NDVI و NDWI، ارتفاع و سرعت باد رابطه منفی دارد. همچنین مدل رگرسیون وزن جغرافیایی (GWR) نشان داد که LST با NDWI و ارتفاع رابطه منفی دارد. اندازه تأثیر شاخص‌ها با فصل متفاوت است.

Tan et al. (2020) به منظور بررسی رابطه دمای سطح زمین با انواع کاربری اراضی در منطقه دریاچه Donating، از تصاویر لندست ۷ استفاده کردند. نتایج نشان داد که LST از نوع سطح تأثیر می‌پذیرد. زمین‌های ساحلی، جنگلی و مزارع شالیزار نسبت به مناطق آبی، سواحل گلی، مرداب‌ها و جنگل‌های ساحلی مقدار LST بیشتری داشتند. LST زمستانه در منطقه تقریباً ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش داشت که ممکن است به کاهش سطح آب دریاچه Donating مربوط باشد. همبستگی منفی بین LST و NDMI قوی و پایدار است و بیشترین تأثیر را بر LST دارد.

در پژوهش Karakuş (2019)، به منظور بررسی رابطه میان NDVI، LULC و LST در مرکز شهر سیواس و اطراف آن، تصاویر ماهواره‌ای لندست در یک دوره ۲۶ ساله (۱۹۸۹-۲۰۱۵) بررسی شد و شدت UHI نیز به دست آمد. نتایج نشان داد که طی این دوره، مناطق شهری و زمین‌های کشاورزی افزایش یافته‌اند، در حالی که زمین‌های بایر کاهش یافته‌است. اراضی شهری و اراضی لخت بیشترین مقدار LST را داشته‌اند و دمای سطح ساختمان‌های شهری روند نوسانی داشته‌است، در حالی که دمای مناطق روستایی روند کاهشی داشته‌است. شدت مثبت UHI مشاهده، و همچنین تشکیل جزایر گرمایی شهری مشخص شد.

در پژوهش Zullo et al. (2019)، با هدف بررسی رابطه میان تغییرات دمای سطح زمین (LST) و افزایش مناطق

شهری طی یک دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۱۱ در دره پو (Po)، از الگوهای مختلف رشد شهری (UGSP) استفاده شد. نتایج نشان داد که یک دامنه کاهش LST (در هر شرایطی) با افزایش تدریجی مناطق شهری همراه است. علاوه بر این، الگوهای خوشه‌ای رشد شهری از نظر آماری رابطه معناداری با روز، شب و شرایط روزانه دارند، در حالی که الگوی پراکنده رشد شهری فقط با شب شباهت دارد.

در پژوهشی Zhou et al. (2018) تأثیر عامل توپوگرافی ارتفاع بر LST را در مناطق کوهستانی بررسی کردند. نتایج نشان داد که میان پارامترهای توپوگرافی و دمای سطح ارتباطی با همبستگی زیاد وجود دارد. برای منطقه مدنظر در این پژوهش، ارتباط میان LST و ارتفاع ارتباط خطی معکوس بود.

Tran et al. (2017) به منظور مشخص کردن رابطه میان تغییر پوشش زمین و دمای سطح زمین منطقه درون شهری هانوی (منطقه دشتی و مسطح) از لندست ۵، ۷ و ۸ استفاده کردند. نتایج نشان داد که LST به روش غیرخطی انواع LULC بستگی دارد، تجزیه و تحلیل کانون با استفاده از آمار  $Getis\ Ord\ Gi^*$  امکان تجزیه و تحلیل تغییر الگوی LST را در طول زمان فراهم می‌کند، UHI هم از منظر شهری و هم از نوع توسعه شهری تأثیر پذیرفته است و پیش‌بینی الگوی LST و بررسی اثر UHI می‌تواند با مدل پیشنهادی با استفاده از رگرسیون غیرخطی و سناریوهای تغییر LULC شبیه‌سازی شده انجام شود.

Suresh et al. (2016) برای برآورد دمای سطح زمین در منطقه‌ای در هند از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و سنجنده ETM ماهواره لندست ۷ سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۰ استفاده کردند. آنها دریافتند که متوسط دما با روند ثابتی در حال افزایش است.

Jeganathan et al. (2016) طی پژوهشی در شهر چین به این نتیجه دست یافتند که شاخص دمای سطح زمین همبستگی مناسبی با متغیرهای اقلیمی نظیر دما، بارش، تعرق و تبخیر در گستره وسیعی از شرایط محیطی دارد. همچنین ارتباط مستقیمی میان دمای سطح زمین و پوشش گیاهی موجود در یک محیط شهری وجود دارد. Zhou et al. (2011) در پژوهش دیگری از طریق تحلیل‌های همبستگی و رگرسیون خطی چندگانه، تأثیر پوشش اراضی بر دمای سطح زمین شهر بالتیمور ایالات متحده را بررسی کردند. در این پژوهش، به مثبت بودن ضرایب رگرسیون مربوط به درصد پوشش ساختمان‌ها و پیاده‌روها در LST به معنی تأثیر مثبت بر افزایش دمای سطح زمین و منفی بودن ضرایب پوشش گیاهی و آبی به معنی تأثیر کاهشی بر دمای سطح زمین اشاره شده است.

Jiang and Tian (2010) در پژوهشی در شهر چین از طریق شاخص‌های گیاهی، آثار زیان‌بار تغییرات پوشش و کاربری سطح زمین بر دمای سطح زمین را بر مبنای سه تصویر سنجنده TM و ETM+ بررسی کردند. برای این کار، شاخص پوشش گیاهی دما (TVX) را از تصاویر به دست آوردند. نتایج نشان داد که تغییر کاربری زمین عاملی مهم در افزایش دمای سطح زمین است. همچنین نشان‌دهنده درجه حرارت زیاد در مناطق با پوشش گیاهی پراکنده و درجه حرارت کم در مناطق با پوشش گیاهی مترکم بود.

Ning et al. (2010) با استفاده از روش شبکه عصبی Multilayer perceptron، دمای سطح زمین را از داده‌های



فراطیفی حرارتی به دست آوردند. در این روش، ابتدا روی داده‌های فراطیفی حرارتی یک تبدیل PCA زده می‌شود تا ابعاد داده کاهش یابد. سپس خروجی این تبدیل به شبکه عصبی وارد می‌شود و خروجی این شبکه دمای سطح زمین است. دمای به دست آمده با این روش با محصول حرارتی سنجنده Infrared Atmospheric Sounding Interferometer ارزیابی شد.

احمدی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی با عنوان «شناسایی جزایر حرارتی شهری مبتنی بر رویکرد زیست‌محیطی با استفاده از تصاویر لندست ۸ در دوره آماری ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ در شهر اصفهان» دریافتند که به دلیل وجود جزایر حرارتی سرد (UCI)، میان مرکز و حومه شیب حرارتی تندی وجود دارد و بزرگ‌ترین جزیره حرارتی شهری در منطقه ۶ شناسایی شد.

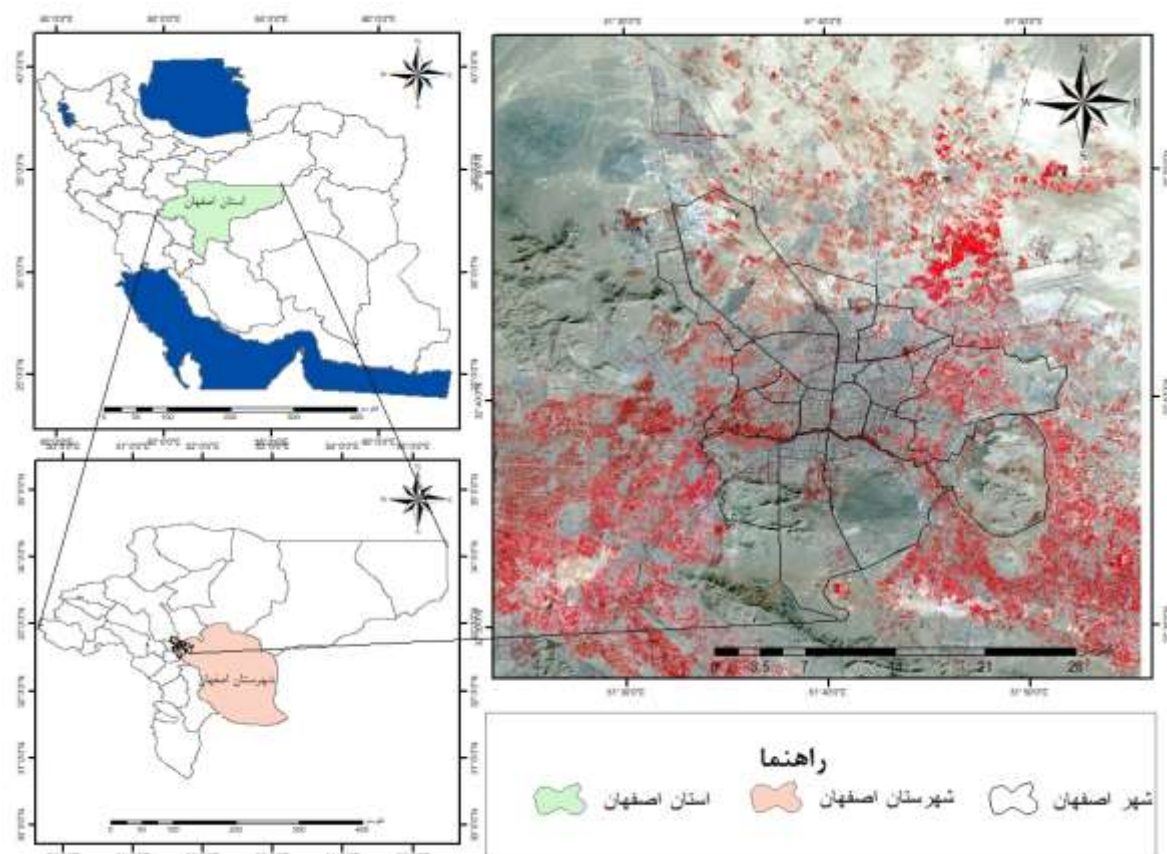
در پژوهش حاضر، شهر اصفهان با توجه به جمعیت زیاد، صنعتی بودن و وجود آثار گردشگری به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد.

## روش شناسی پژوهش

### منطقه مطالعه

شهرستان اصفهان کلان‌شهری در مرکز ایران و مرکز استان اصفهان است. این شهرستان با مساحت ۵۵۰ کیلومتر مربع بین عرض جغرافیایی "۳۲° ۳۲' ۲۴,۲۲" تا "۳۲° ۴۸' ۱۸,۴۹" و طول جغرافیایی "۵۱° ۳۳' ۲۷,۸۲" تا "۵۱° ۵۲' ۵۰,۹۳" قرار دارد. اصفهان از غرب به خمینی‌شهر و نجف‌آباد، از جنوب به کوه صفه، از جنوب شرق به شهر جدید بهارستان در دامنه شمالی رشته کوه کم‌ارتفاع لاشتر، از شمال به شاهین‌شهر و از شرق به دشت سجزی محصور می‌شود.

دلیل احداث اصفهان وجود رودخانه زاینده‌رود است که از کوه‌های زاگرس به ویژه زردکوه سرچشمه می‌گیرد. این شهر حدود ۱۵۷۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. اصفهان ۱۵ منطقه با مساحت ۵۵۰۷۲ هکتار دارد که بزرگ‌ترین آن منطقه ۱۲ با ۸۲۲۳ هکتار و کوچک‌ترین آن منطقه ۱ با ۸۱۰ هکتار است. در سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، جمعیت شهر اصفهان ۱,۹۶۱,۲۶۰ نفر بوده است. از میان ۱۵ منطقه شهر اصفهان، منطقه ۸ با ۲۳۹۷۵۶ نفر جمعیت بیشترین جمعیت و منطقه ۱۱ با ۵۸۸۴۱ نفر جمعیت کمترین جمعیت را دارد.



شکل ۱- نقشه منطقه مطالعه (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 1- Map of the study area (Authors, 1400)

### روش پژوهش

شش تصویر انتخاب شده تصاویر ماهواره لندست ۸ از شهر اصفهان در تابستان سال ۲۰۱۹ است. این تصاویر به زمانی با کمترین میزان پوشش ابر مربوط است. به منظور آماده‌سازی داده‌ها، تصحیحات اتمسفری و ژئومتریک روی داده‌های ماهواره‌ای انجام، و از داده‌های رقومی ارتفاع استفاده شد. لندست دو سنسور دارد، یکی OLI (مشاهده زمینی) و دیگری TIRS (مشاهده حرارتی). این دو سنسور با هم ۱۱ باند را تشکیل می‌دهند. تصاویر انتخاب شده طول موج ۱۱،۳۰-۱۰،۳۰ میکرومتر و تفکیک مکانی ۱۰۰ متر و باند حرارتی ۱۰ دارند. دمای سطح زمین (LST) و NDVI در گوگل ارث انجین برای تابستان سال ۲۰۱۹ محاسبه، و تصحیحات رادیومترکی روی دیتاها اجرا شد. الگوهای پراکنش فضایی سه حالت دارند: خوشه‌ای، پراکنده و تصادفی.

### خودهمبستگی فضایی

در دسته‌بندی الگوهای فضایی، چه خوشه‌ای و چه پراکنده و چه تصادفی، می‌توان شباهت‌ها و تفاوت‌های هر جفت از واحدهای ناحیه‌ای مجاور را اندازه گرفت. وقتی که این شباهت‌ها و تفاوت‌ها برای الگوی فضایی مختصر

شوند، خودهمبستگی فضایی اتفاق می‌افتد. خودهمبستگی فضایی به معنای این است که صفت‌های بررسی شده خودهمبسته‌اند و همبستگی آنها قابل گواهی به نظم جغرافیایی پدیده‌هاست (Clark and Hosking, 1986). خودهمبستگی فضایی پایدار به معنای این است که صفات پدیده‌های جغرافیایی با هم ارتباطی قوی دارند (خواه قوی یا ضعیف). اگر ضرایب ویژگی پدیده‌های جغرافیایی همسایه ارتباط و نظم ظاهری مشخصی نداشته باشد، ارتباط فضایی ضعیف یا الگوی تصادفی دارد. خودهمبستگی فضایی وسیلهٔ تحلیلی معتبری برای نحوهٔ تحول الگوی فضایی در طول زمان است. استنباط پژوهش به فهم بیشتر چگونگی تحول الگوهای فضایی از گذشته تا کنون کمک می‌کند. برای سنجش همبستگی فضایی، آماره‌هایی وجود دارد که تصدیق می‌دهند با نقاط یا پلی‌گون‌ها (سطوح ناحیه‌ای) کار شده‌است (رهنما و ذبیحی، ۱۳۹۰).

### گونه‌های ملاک خودهمبستگی فضایی

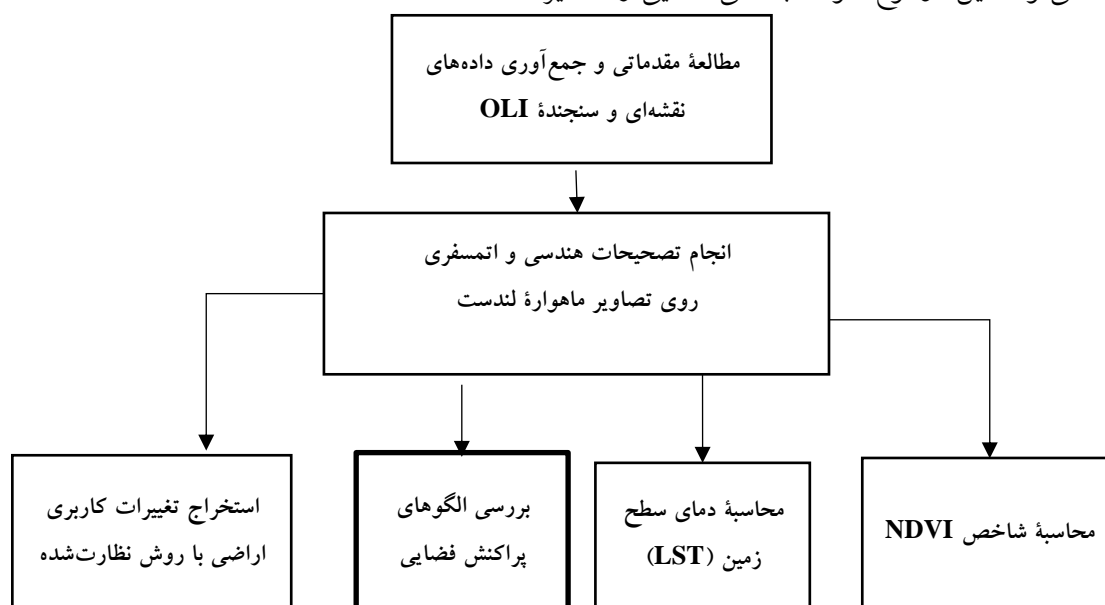
الگوهای متفاوتی برای سنجش آماره‌های (خودهمبستگی) فضایی وجود دارد، شاخص موران و ضریب گری و انتخاب محتمل دیگر، آمارهٔ عمومی  $G$  (Lee and Wong, 2001). شاخص موران و گری مشخصه‌های مشترکی دارند، اما مشخصات (خواص) آماری آنها متفاوت است. بیشتر تحلیلگران با شاخص موران موافق‌ترند، زیرا توزیع مشخصاتش خوشایندتر است (Clark and Hosking, 1986). هنوز هر دو روش بر مقایسهٔ ارزش‌های واحد ناحیه‌ای همسایگی استوارند. در صورتی که واحدهای ناحیه‌ای همسایگی در طول ناحیه ارزش‌های مشترکی داشته باشند، سرانجام آماره‌ها بر یک خودهمبستگی فضایی قوی دلالت دارند. چنانچه واحدهای ناحیه‌ای همسایگی ارزش‌های بسیار ناهمسانی داشته باشند، آماره‌ها خودهمبستگی فضایی منفی بسیار قوی را نشان می‌دهند. به هر روی، دو مدل روش‌های متفاوتی را برای مقایسهٔ ضرایب همسایگی‌ها به کار می‌گیرند.

### شاخص میانگین نزدیک‌ترین همسایگی (Average Nearest Neighbor)

شاخص میانگین نزدیک‌ترین همسایگی بر اندازه‌گیری فاصلهٔ تک‌تک نقطه‌ها تا نزدیک‌ترین همسایهٔ آنها مبتنی است و در تعیین همگرایی و واگرایی انواع به کار می‌رود. با این شاخص می‌توان فهمید که آیا توزیع نقاط تصادفی است یا خیر و نوع الگوی پراکنش چگونه است. ابزار میانگین نزدیک‌ترین فاصلهٔ همسایگی ابتدا فاصلهٔ میان نقطهٔ مرکزی هر عارضه با نقطهٔ مرکزی نزدیک‌ترین همسایگی‌اش را اندازه‌گیری، و سپس میانگین نزدیک‌ترین همسایگی‌ها را محاسبه می‌کند. اگر میانگین فاصلهٔ محاسبه‌شده از میانگین توزیع تصادفی فرضی کمتر باشد، آنگاه می‌توان نتیجه گرفت که توزیع پدیدهٔ بررسی شده در فضا به صورت خوشه‌ای است. اگر میانگین فاصلهٔ محاسبه‌شده بیش از میانگین توزیع تصادفی فرضی باشد، آنگاه می‌توان نتیجه گرفت که عوارض به صورت پراکنده در فضا توزیع شده‌اند (عسگری، ۱۳۹۰).

## آماره عمومی G

در شناخت شکل‌های گوناگونی از طبقه‌بندی، الگوهای فضایی کارآمد نیستند. این الگوها گاه نقاط داغ و گاه نقاط سرد تمرکز نامیده می‌شوند. شاخص موران به‌خوبی برای خواص آماری و توصیف همبستگی فضایی جهانی ساخته شده‌است. برای نمونه اگر ارزش‌های بالا نزدیک یکدیگر باشند، شاخص موران و ضریب گری بر برخورد همبستگی فضایی مثبت نسبتاً زیادی دلالت دارند. این طبقه (خوشه) از ارزش بالا ممکن است به‌عنوان نقطه تمرکز (داغ) نامیده شود، اما خودهمبستگی فضایی مثبت زیاد نشان داده‌شده با شاخص موران و ضریب گری ممکن است به‌وسیله ارزش‌های پایین مجاور با یکدیگر به‌وجود آمده باشد. این نوع از خوشه می‌تواند نقطه سرد نامیده می‌شود. شاخص موران نمی‌تواند این دو نوع خودهمبستگی فضایی را متمایز کند.

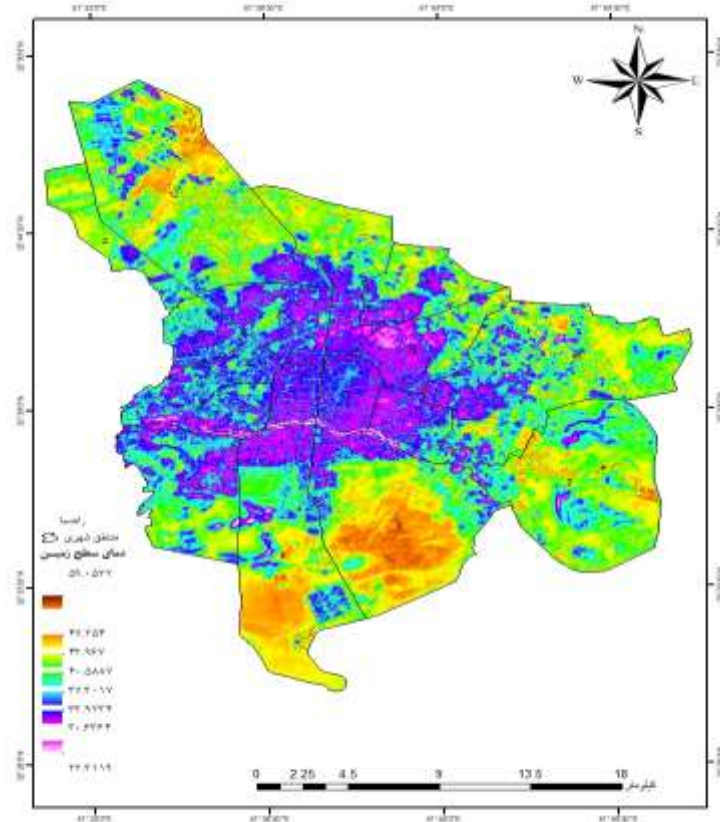


شکل ۲- مراحل بررسی تغییرات با تصاویر ماهواره‌ای لندست

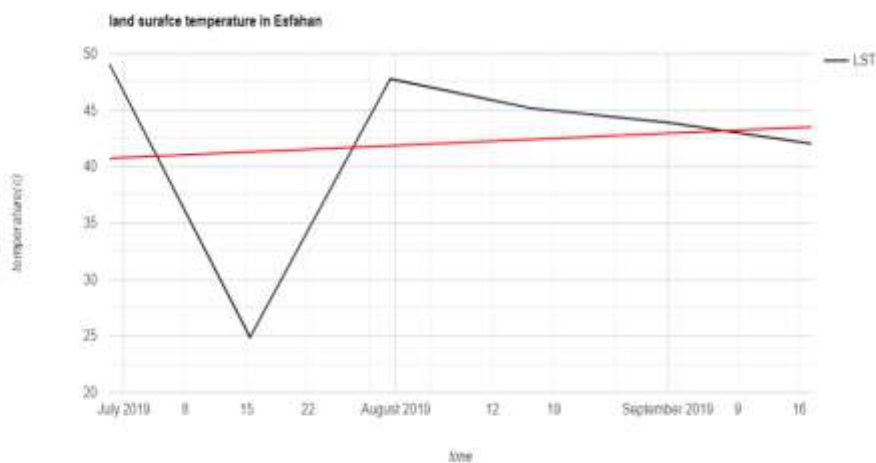
Figure 2- Steps to examine changes with Landsat satellite imagery

## یافته‌های پژوهش

دمای سطح زمین تحت تأثیر سازه‌های متفاوتی از جمله شرایط توپوگرافی، عوامل اقلیمی و جوی و پوشش گیاهی قرار دارد. با تغییر هر یک از این عوامل، دمای سطح زمین نیز تغییر می‌کند. شکل ۳ نقشه دمای سطح زمین در تابستان سال ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل نیز نشان داده شده‌است، منطقه ۱ (محل‌های کوشک، خرم، جامی، علیقلی‌آقا، جوزدان الیادان، صائب و ...) و ۳ (محل‌های چرخاب، باغ کاران، خواجه، ملک، گلزار، قلعه طبره، احمدآباد، شهشهان، امامزاده اسماعیل، سرتاوه، سرچشمه، سنبلستان و جویباره) و غرب و جنوب غرب منطقه ۱۰ (محل‌های عطار نیشابوری، شیخ طوسی، لاله، فجر، پروین، دشتستان، مصلی، سروستان و عسگریه) و شمال منطقه ۱۵ و همچنین شمال شرق منطقه ۱۳ کمترین مقدار دمای سطح زمین را دارند. در مناطق ۲، ۴، ۵، ۶، ۷، ۱۲، ۱۴ و ۱۵ نیز دمای سطح زمین بیشترین مقدار را دارد که دلیل اصلی آن، کاهش پوشش گیاهی و شیب و جهت این مناطق است که باعث تابش مستقیم نور خورشید به این مناطق می‌شود. شکل ۴ نشان می‌دهد که دمای سطح زمین روند افزایشی داشته‌است.



شکل ۳- نقشه دمای سطح زمین در تابستان ۲۰۱۹ در شهر اصفهان (نویسندگان، ۱۴۰۰)  
 Figure 3- Surface temperature map in the summer of 2019 in the city of Isfahan (Authors, 2021)

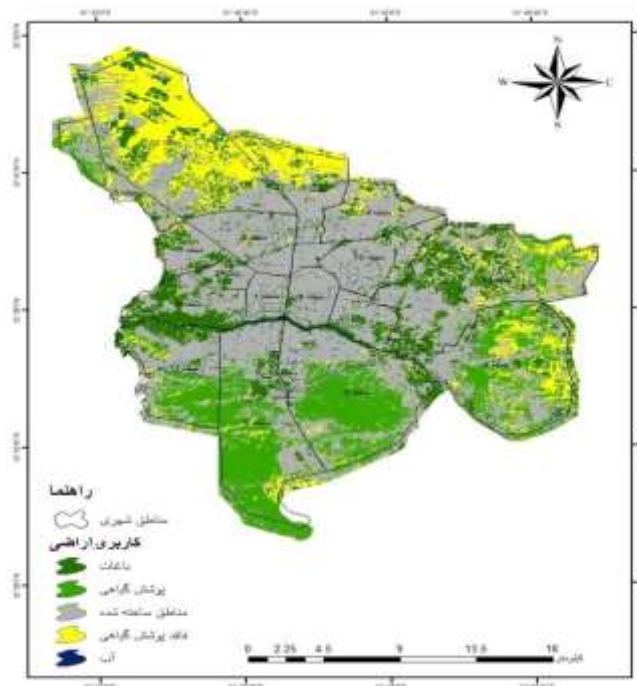


شکل ۴- نمودار دمای سطح زمین در تابستان ۲۰۱۹ در شهر اصفهان (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)  
 Figure 4- Surface temperature chart in the summer of 2019 in the city of Isfahan (Source: Authors, 2021)

## کاربری اراضی

روش استفاده‌شده برای طبقه‌بندی اطلاعات روش نظارت‌شده است. در این روش، برای رده‌بندی یاخته‌ها از نمونه‌های آموزشی استفاده می‌شود. بدین معنا که با تعریف یاخته‌های مشخص از تصویر برای هر یک از کلاس‌ها، عمل طبقه‌بندی در قالب کلاس‌های در نظر گرفته‌شده انجام می‌شود. همچنین لازم به توضیح است که از الگوریتم حداکثر مشابهت برای طبقه‌بندی نظارت‌شده است. در این روش، فرض بر این است که توزیع داده‌های هر طبقه براساس توزیع نرمال در اطراف یاخته میانگین آن طبقه قرار گرفته است.

بیشترین کاربری در سطح همه شهرهای ایران به کاربری مسکونی مربوط است. بیشترین درصد کاربری مسکونی در سطح مناطق شهر اصفهان به منطقه یک مربوط است. با توجه به شکل ۵ مربوط به سال ۲۰۱۹ جهت گسترش به سمت شرق و جنوب شرق است و بیشترین مساحت کاربری متعلق به کاربری ساخته‌شده است. مساحت این کاربری ۲۹۳،۶۳ کیلومتر مربع است که ۴۹،۸۶ درصد از کل مساحت را دربرگرفته است. کمترین مساحت مربوط به کاربری آب است که فقط ۱،۰۵ درصد از کل مساحت را دربرگرفته است. کاربری باغات به ۹۵،۶۹ کیلومتر مربع (۱۶،۲۵ درصد) و کاربری پوشش گیاهی به ۱۰۶،۹۰ کیلومتر مربع رسیده است. کاربری فاقد پوشش گیاهی ۸۶،۴۲ کیلومتر مربع است که ۱۴،۶۷ درصد از کل مساحت را دربرگرفته است. کاربری باغات در مناطق ۹ و ۱۳ (باغ فردوس و باغ بانوان نازوان)، منطقه ۱۵ (در خیابان خاتون‌آبادی و خیابان پی‌وی‌سی) و منطقه ۱۲ دیده می‌شود. کاربری پوشش گیاهی در منطقه ۶ متمرکز شده است. کاربری ساخته‌شده در شمال نقشه در منطقه ۱۲ گسترش یافته و شهرک صنعتی محمودآباد اصفهان تأسیس شده است. در منطقه ۱۴، شهرک امام حسین تأسیس شده و گسترش به سمت شمال شرق بوده است.



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی شهر اصفهان در سال ۲۰۱۹ (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 5- Land use map of Isfahan city in 2019 (Source: Writers, 2021)

جدول ۱- مساحت کاربری‌ها به کیلومتر مربع سال ۲۰۱۹ (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Table 1- Area of uses per square kilometer in 2019 (Authors, 2021)

سال	باغ		پوشش گیاهی		فاقد پوشش گیاهی		ساخته شده		آب	
	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
۲۰۱۹	۹۵,۶۹	۱۶,۲۵	۱۰۶,۹۰	۱۸,۱۵	۸۶,۴۲	۱۴,۶۷	۲۹۳,۶۳	۴۹,۸۶	۶,۲۴	۱,۰۵

هریک از طبقات کاربری اراضی تغییرات دمای سطح زمین از نظر میانگین، حداقل و حداکثر مشخص شده است. در جدول ۲، نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میانگین به پوشش گیاهی با مقدار ۳۸,۲۵ درجه سانتی‌گراد و کمترین میانگین به کاربری آب با مقدار ۲۹,۳۲ درجه سانتی‌گراد مربوط است.

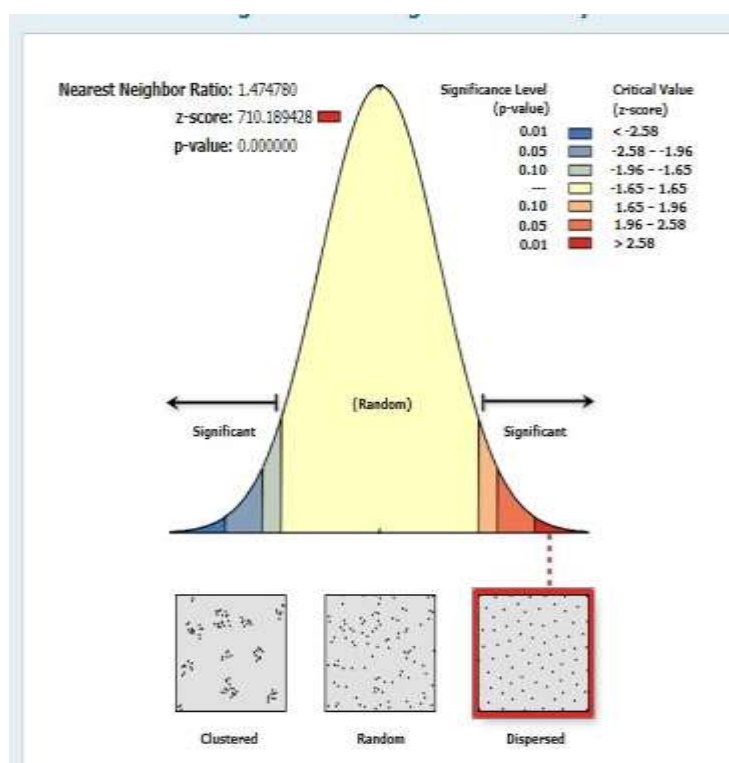
جدول ۲- تغییرات دمای سطح زمین در کاربری اراضی از نظر میانگین، حداکثر و حداقل (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Table 2- Ground surface temperature changes in land use in terms of average and maximum and minimum (Authors, 2021)

نام کاربری	مساحت	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد)	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد)	دامنه تغییرات	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	انحراف معیار
باغات	۹۵۶۹۸۸۰۰	۲۲,۸۹	۴۰,۹۳	۱۸,۰۴	۳۱,۶۲	۲,۷۴
پوشش گیاهی	۱۰۶۹۰۵۶۰۰	۲۲,۷۹	۴۴,۹۹	۲۲,۲۰	۳۸,۲۵	۳,۴۲
مناطق ساخته شده	۲۹۳۶۳۴۰۰۰	۱۶,۴۷	۴۴,۸۵	۲۸,۳۸	۳۲,۵۱	۴,۳۶
فاقد پوشش گیاهی	۸۶۴۲۷۰۰۰	۱۸,۰۴	۴۲,۷۵	۲۴,۷۰	۳۷,۰۴	۲,۴۶
آب	۶۲۴۱۵۰۰	۲۱,۳۱	۴۲,۰۵	۲۰,۷۳	۲۹,۳۲	۳,۲۹

### خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین در منطقه مطالعاتی

مقادیر Z-score زیاد است (۷۱۰,۱۸)، در صورتی که P-value نزدیک صفر است. نتایج نشان می‌دهد که خوشه‌بندی با سطح اطمینان زیاد وجود دارد و پراکندگی در حالت خوشه‌بندی بالا قرار گرفته است که در شکل ۶ دیده می‌شود. استان اصفهان از الگوی خوشه‌بندی بالا تبعیت می‌کند. این یافته با نتیجه پژوهش اسدی (۱۳۹۸) مطابقت دارد.



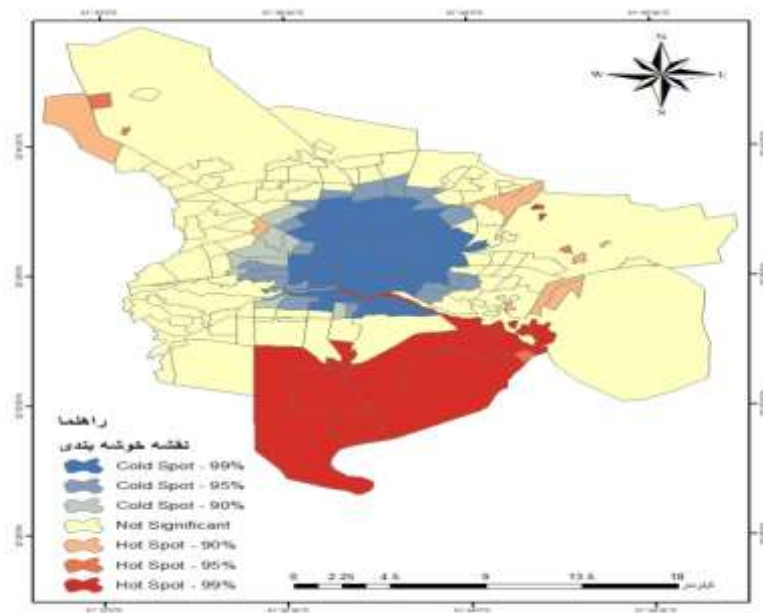
شکل ۶- خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 6- Spatial autocorrelation of surface temperature (Authors, 2021)

### تحلیل لکه‌های داغ

در این تحلیل، یک امتیاز Z محاسبه می‌شود. این امتیاز نشان می‌دهد که در کدام محله‌ها، داده‌ها با مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده‌اند. به هر عارضه در چهارچوب عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارد، توجه می‌شود و عارضه لکه داغ به‌شمار می‌آید که هم خودش و هم همسایگانش از نظر آماری معنادارند. این نقشه (شکل ۷) نشان می‌دهد که در کدام محله‌ها از نظر آماری معنادار نیستند و چه محله‌هایی لکه‌های داغ و لکه‌های سرد را نمایش می‌دهند. اگر مقادیر Z منفی باشند، نشان‌دهنده لکه‌های سرد است و مناطقی که Z مثبت دارند، لکه‌های داغ را نمایش می‌دهند. برای لکه‌های داغ و سرد، سه سطح اطمینان ۹۹٪، ۹۵٪ و ۹۰٪ قابل مشاهده است. با توجه به شکل ۷، محله‌های واقع در مناطق ۱، ۳، ۷، ۸ و ۱۰ محله‌های غرب منطقه ۱۰ و محله‌های واقع در شمال مناطق ۵ و ۶ دارای لکه‌های سرد با سطح اطمینان ۹۹٪ و محله‌های واقع در شرق مناطق ۲ و ۹ با سطح اطمینان ۹۰٪ و محله‌های واقع در جنوب مناطق ۷ و ۱۴ با سطح اطمینان ۹۵٪ مشاهده می‌شود. در صورتی که محله‌های واقع در مناطق ۵ و ۶ و غرب منطقه ۴ و به‌صورت لکه‌های داغ در منطقه ۱۵ با سطح اطمینان ۹۹٪ با رنگ قرمز پررنگ، محله‌های واقع در غرب منطقه ۱۲ و لکه داغ در مرکز منطقه ۱۵ با سطح اطمینان ۹۵٪ و محله‌های واقع در منطقه ۲ و همچنین در منطقه ۱۵ با رنگ قرمز کم‌رنگ با سطح اطمینان ۹۰٪ قابل مشاهده است. مناطقی که با رنگ زرد کم‌رنگ دیده می‌شوند، از نظر آماری معنادار نیستند.





شکل ۷- نقشه خوشه‌بندی لکه‌های داغ و سرد (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 7- Clustering of hot and cold spots (Authors, 2021)

### تحلیل لکه‌های داغ و سرد

شکل ۸ تصویر الف نمایش‌دهنده نواحی کاربری اراضی با خوشه‌های سرد ۹۹٪ است. در این شکل، کاربری ساخته‌شده بیشترین مساحت با مقدار ۲۹۳ کیلومترمربع و کاربری مناطق فاقد پوشش گیاهی کمترین مساحت با مقدار ۳۳۳۹۰۰ کیلومترمربع را شامل می‌شود.

در نموداری که نواحی کاربری اراضی با خوشه‌های سرد ۹۵٪ را نشان می‌دهد (شکل ۸ تصویر ب)، بیشترین مساحت متعلق به کاربری ساخته‌شده با مقدار ۱۷۶۲۷۴۰۰ مترمربع و کمترین مساحت متعلق به کاربری پوشش گیاهی با مقدار ۱۱۰۷۰۰ مترمربع است.

در نواحی با خوشه‌های سرد ۹۰٪ (شکل ۸ تصویر پ)، بیشترین مساحت متعلق به کاربری ساخته‌شده با مساحت ۷۷۷۱۵۰۰ مترمربع و کمترین مساحت متعلق به کاربری پوشش گیاهی با مساحت ۳۴۲۰۰ مترمربع است.

در نموداری که از نظر آماری معنادار نیست (شکل ۸ تصویر ت)، باغات با مساحت ۷۶۵۹۶۳۰۰ مترمربع، کاربری پوشش گیاهی با مساحت ۴۵۲۷۰۰۰۰ مترمربع، کاربری ساخته‌شده با مساحت ۱۷۰۸۷۰۴۰۰ مترمربع، کاربری آب با مساحت ۳۰۳۸۴۰۰ مترمربع (کمترین مساحت) و کاربری فاقد پوشش گیاهی با مساحت ۷۹۲۴۹۵۰۰ مترمربع نشان داده شده‌است.

در نمودار لکه‌های داغ ۹۰٪ (شکل ۸ تصویر ث) بیشترین مساحت متعلق به کاربری ساخته‌شده با مساحت ۱۰۹۳۶۸۰۰ مترمربع و کمترین مساحت متعلق به کاربری آب با مساحت ۹۹۰۰۰ مترمربع است.

در نمودار لکه‌های داغ ۹۵٪ (شکل ۸ تصویر ج) کاربری آب کمترین سهم را با مساحت ۴۵۰۰ مترمربع و کاربری ساخته‌شده بیشترین سهم را با مساحت ۹۹۰۰۰۰ مترمربع دارد.

نمودار لکه‌های داغ ۹۹٪ (خوشه‌های گرم) (شکل ۸ تصویر چ) نشان می‌دهد که کاربری پوشش گیاهی بیشترین سهم را با مساحت ۵۷۲۴۹۰۰۰ مترمربع و کاربری آب کمترین سهم را با مساحت ۴۷۹۷۰۰ مترمربع دارد.



شکل ۸- نمودارهای سهم کاربری اراضی در لکه‌های داغ و سرد (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 8- Charts of land use share in hot and cold spots (Source: Authors, 2021)

## نتیجه گیری

پژوهش حاضر تغییرات الگوی خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین و ارتباط آن را با کاربری اراضی بررسی کرده است. به همین دلیل از شاخص لکه‌های داغ و میانگین نزدیک‌ترین همسایگی استفاده شده است. برای اعمال روش‌ها، ArcGIS به کار رفته است.

نتایج حاصل از شاخص میانگین نزدیک‌ترین همسایگی نشان داد که در اصفهان تغییرات همبستگی فضایی دمای سطح زمین با سطح اطمینان بالا وجود دارد و پراکندگی در سطح اطمینان ۹۹٪ حالت خوشه‌ای قرار گرفته است. براساس الگوی لکه‌های داغ، مناطق ۵ و ۶ که در جنوب اصفهان قرار گرفته‌اند نقش زیادی در شکل‌گیری و ایجاد نواحی جزایر حرارتی گرمایی با خوشه‌های گرم ۹۹٪ داشته‌اند. در حالی که نواحی خودهمبستگی فضایی منفی (نواحی خوشه‌بندی سرد ۹۹٪) در مرکز شهر اصفهان، یعنی مناطق ۱ و ۳ به دلیل وجود کاربری آب (سی‌وسه پل)، فاقد الگوی معناداری به لحاظ آماری بوده‌اند. نتایج نشان داد که مناطق دارای پوشش گیاهی و کاربری آب اثر جزیره گرمایی را تضعیف می‌کنند و مناطقی که مناطق ساخته شده در آنها گسترش یافته است، اثر جزایر گرمایی را سرعت می‌بخشند. بر این مبنا، در برنامه‌ریزی و توسعه شهر، باید به فضای سبز شهری توجه بیشتری کرد. مطالعات آمار فضایی می‌تواند الگوی مناسب و جدیدی برای استفاده مسئولان، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری باشد.

## منابع

- احمدی، محمود و داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۹۶). شناسایی جزایر حرارتی شهری مبتنی بر رویکرد زیست‌محیطی، مطالعه موردی: کلان‌شهر اصفهان. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، دوره ۲۸، شماره ۱، ص ۱-۲۰.
- اسدی، مهدی و باعقیده، محمد (۱۳۹۸). تحلیل و بررسی تغییرات الگوهای فضایی جزایر دمایی استان اصفهان. *آمایش محیطی*، دوره ۱۲، شماره ۴۵، ص ۱۱۹-۱۳۸.
- رهنما، محمدرحیم و ذبیحی، جواد (۱۳۹۰). تحلیل توزیع تسهیلات عمومی شهری در راستای عدالت فضایی با مدل یکپارچه دسترسی در مشهد، *جغرافیا و توسعه*، دوره ۹، شماره ۲۳، ص ۵-۲۶.
- عسگری، علی (۱۳۹۰). *تحلیل آمار فضایی با GIS ARC*. انتشارات شرکت پردازش و برنامه‌ریزی شهری.
- Clark, w.a.v. & Hosking, p.l. (1986). Statistical Methods for geographers. *John Wiley*, (32) 2, 65-68.
- Guo, A., Yang, J., Sun, W. & Xiao, X. (2020). Impact of urban morphology and landscape characteristics on spatiotemporal heterogeneity of land surface temperature. *Sustainable Cities and Society*, 63, 1024-1043.
- Irons, J., Dwyer, J. & Barsi, J. (2012). The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity ission. *Remote Sens, Environ*, (122) 4, 11-21.
- Jeganathan, A., Andimuthu, R., Prasannavenkatesh, R. & Kumar, Divya, S. (2016). Spatial Variation of Temperature and Indicative of the Urban Heat Island in Chennai Metropolitan Area, India, *Theoretical and Applied Climatology*, (123) 1, 83-95.
- Jiang, J. & Tian, G. (2010). Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing. *Procardia environmental sciences*, (2) 3, 571-575.
- Karakuş, C.B. (2019). The impact of land use/land cover (LULC) changes on land surface temperature in Sivas City Center and its surroundings and assessment of Urban Heat Island. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 55 (4), 669-684.
- Kashki, A., Karami, M., Zandi, R. & Roki, Z. (2021). Evaluation of the effect of geographical parameters on the formation of the land surface temperature by applying OLS and GWR, A case study Shiraz City, Iran. *Urban Climate*, 37, 100832.

- Lee, J. & Wong, D.W. (2001). *Statistical analysis with ArcView GIS*. John Wiley & Sons.
- Macintyre, H., Heaviside, C., Taylor, J. & Picettial, R. (2018). Assessing urban population vulnerability and environmental risks across an urban area during heat waves – implications for health protection. *Sci. Total Environ*, (37) 2, 610-611.
- Miss, F.M. (2020). Analyzing spatial variations of relationships between Land Surface Temperature and some remotely sensed indices in different land uses. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, (19) 4, 1003-1059.
- Ning, W. & Zhao, L. (2010). Retrieval of atmospheric and land surface parameters from satellite-based Thermal Infrared hyper spectral data using a neural network technique. *International Journal of Remote Sensing*, (34) 9, 3485-3502.
- Rozenstein, O., Zhihao, Q., Yevgeny, D. & Arnon, K. (2014). Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*, 14 (4), 5768-5780.
- Santamouris, M. (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 224-240.
- Shetty, MA., & Somashekar, R.K. (2014). Assessment of Vegetation cover through NDVI, Bangalore India. *J Appl Res*, 4 (3), 176-197.
- Siqi, J. & Yuhong, W. (2020). Effects of land use and land cover pattern on urban temperature variations: A case study in Hong Kong. *Urban Climate*, (34) 4, 236-249.
- Sobrino, J., Jiménez-Muñoz, J. & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90 (4), 434-440.
- Suresh, S., Ajay Suresh, A. & Mani, K. (2016). Estimation of land surface temperature of high range mountain landscape of Devikulan Taluk using Landsat 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5 (1), 321-338.
- Tan, J., De, Y., Qiang, L., Xuelan, T. & Weijun, Zh. (2020). Spatial relationship between land-use/land-cover change and land surface temperature in the Dongting Lake area, China. *Scientific Reports*, 10 (1), 1-9.
- Thomas, R.W. & Hug get, R.J. (1980). *Modeling in Geography, a mathematical approach*. Harper and Row, Publisher, London.
- Tran, D.X., Pla, F., Latorre, C., PedroMyint, S.M. & Kieu, H. ((2017). Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, 119-132.
- Wan, Z. (1999). MODIS land-surface temperature algorithm theoretical basis document (LST ATBD). *Institute for Computational Earth System Science, Santa Barbara*, 75, 18.
- Wan, Z., Zhanga, Y., Q Zhanga, Q. & Zhao-liang Li, a. (2002). Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spector radiometer data. *Remote Sensing of Environment*, 83 (1), 163-180.
- Yuan, F. & Bauer, M.E. (2011). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote sensing of Environment*, 106 (3), 375-386.
- Yue, W. & Xu, L. (2013). Thermal environment effect of urban water landscape. *Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica*, 33 (6), 1852-1859.
- Zhao, He., Li, A., Wen, F. & Yu, D. (2018). The impact of the terrain effect on land surface temperature variation based on Landsat-8 observations in mountainous areas, *International Journal of Remote Sensing*, (13) 3, 1-20.
- Zhao Li, Z. et al. (2010). Investigating spatial non-stationery and scale-dependent relationships between urban surface temperature and environmental factors using geographically weighted regression. *Environmental Modelling & Software*, (25) 3, 1789-1800.
- Zhou, G. & 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 Planning*, (102), 54-63.
- Zhu, C., Idemudia, C. & Fengb, W. (2019). Improved logistic regression model for diabetes prediction by integrating PCA and K-means techniques. *Informatics in Medicine Unlocked*, 17, 100179.
- Zullo, F., Fazio, G., Romano, B., Marucci, A. & Fiorini, L. (2019). Effects of urban growth spatial pattern (UGSP) on the land surface temperature (LST): A study in the Po Valley (Italy). *Science of the Total Environment*, 650, 1740-1751.