

## A Remote Sensing Approach to Evaluate the Trend of Surface Temperature Changes in using Spatial Analysis and Regression

Sedigheh Emami<sup>1</sup>, Mostafa Kabolizadeh<sup>2✉</sup>

1. Ph. D Student of RS and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

E-mail: s.emami061@gmail.com

2. Associate Professor of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

✉ E-mail: m.kabolizade@scu.ac.ir



**How to Cite:** Emami, S; Kabolizadeh, M. (2025). A Remote Sensing Approach to Evaluate the Trend of Surface Temperature Changes in using Spatial Analysis and Regression. *Geography and Development*, 23 (79), 133-160.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2024.48238.3632>

**Received:**

16 March 2024

**Received in revised form:**

7 June 2024

**Accepted:**

11 July 2024

**Published online:**

10 June 2025

### ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the trend of long-term changes in ground surface temperature and heat islands in Ahvaz city using the split window algorithm (SW) in the period from 2014 to 2022. The Thiel-Sen estimator and the Mann-Kendall model were used to accurately estimate the range of changes in the earth's surface temperature. Spatial autocorrelation of heat islands was evaluated using local Moran's index, and the relationship between LST changes and urban use parameters was evaluated using ordinary least square regression (OLS) and weighted regression (GWR). Til-Sen trend analysis has shown that 61.93% of the area has an increasing trend and 6.39% has a decreasing trend. According to the results of the Mann-Kendall significance test, only 6% of the area has a constant decreasing or increasing trend. It is significant and the other sections have no significant trends. The Pearson correlation results between the calculated air temperature and the ground station temperature are equal to 0.716. The evaluation of the earth's surface temperature using the global Moran's spatial correlation method showed that the temperature has a spatial structure with a cluster pattern and its value varies between 0.63 and 0.68. In the results of the local Moran index, Investigating the effect of urban land use factors on the trend of temperature changes using OLS and GWR methods, showed that all independent parameters considered are significant and GWR model has better results than OLS in the studied area.

**Keywords:**

Split window algorithm,  
Trend finding,  
Spatial analysis,  
Regression,  
Urban use.



© the Author(s).

**Publisher:** University of Sistan and Baluchestan

### 1. Introduction

Urbanization is one of the important factors that cause unusual changes in weather patterns around the earth (Yao et al., 2018). In cities, the natural surface of the earth turns into impenetrable and constructed areas. This leads to higher temperatures in urban areas compared to surrounding areas, which is known as the urban heat island effect (Voog & Oke, 2003). With the development of remote sensing technology, data such as land surface temperature (LST) are increasingly used to investigate the urban heat island effect due to its wide temporal and spatial coverage. Urban heat islands show different characteristics in

terms of space and time. In order to understand these characteristics and analyze the effects of urban heat islands in a region, various indices such as spatial autocorrelation are used. Many existing studies have used ordinary least squares (OLS) regression to understand the underlying relationships between LST and land cover composition. Despite the popularity and wide acceptance of OLS regression in existing research, it does not consider spatial dependence and spatial heterogeneity across the study area. A lot of existing research has used the GWR to understand the potential relationships between LST and land cover composition in different parts of the globe (Zhao et al., 2018). While spatial changes have been effectively addressed and represented using the GWR, temporal changes to urban areas have been largely ignored by most studies. The aim of this research is to fill this knowledge gap by presenting a longitudinal study that allows the spatio-temporal assessment of the intensity of urban heat islands. This study is carried out with a pair of remote sensing and statistical modeling, with the aim of achieving the following goals: (1) Investigating the spatial distribution and temporal changes of urban heat islands in a 9-year period. (2) The trend of changes in the temperature of the earth's surface in the mentioned time period. (3) It evaluates the relationship between changes in land surface temperature and a number of urban land use variables using OLS and GWR regression analysis in Ahvaz city.

## 2. Materials and Methods

In this research, Landsat-8 satellite images in the months of September in the period from 2014 to 2022 were used to calculate the LST in Shahr-Hawaz, and the data of the weather station were used to perform the split window algorithm and validate the surface temperature map. The research method in this study includes six processing steps: (1) pre-processing of images, (2) integration of PAN data and thermal infrared (TIR) images (3) calculation of ground surface temperature using the split window algorithm (4) validation of calculated temperature (5) spatial analysis of ground surface temperature (6) investigation of temperature changes in the studied time period using Mann Kendall and Tilsen methods (7) extraction of factors affecting the temperature of the area using ordinary least squares (OLS) and Reg regression models weight ratio (GWR).

## 3. Results and Discussion

By examining the surface temperature maps using the dividing window algorithm for the period of 2014-2022, the following results have been obtained. The minimum temperature of Ahvaz city during nine years is as follows.

2019<2017<2020<2014<2021<2015<2022<2016<2018

The maximum temperature of Ahvaz city during nine years is as follows.

2014<2018<2020<2021<2016<2022<2019<2017<2015

In this research, local and global Moran spatial autocorrelation statistics have been used to reveal the spatial pattern of Ahvaz city temperature and local differences. The results of the global Moran's test indicate a strong clustering in the studied period. The results of the local Moran test have shown that the year 2021 has the most heat islands and the year 2019 has the lowest number of heat islands, and the cool islands have the highest number in 2021 and the lowest number in 2017, in Ahvaz city. In order to identify and determine the trend, the non-parametric Mendall-Kendall test and Thiel-sen estimator method were used to estimate the slope of the trend. According to the results of the Kendal-Man significance test, 22.2% of the area of Ahvaz has a permanent increase trend and 3.82 % has a permanent decrease trend. Other parts do not have a significant trend. The results of the analysis of the age trend in the studied period showed that 93.61 %of the region has a significant increasing trend and 6.39% has a significant decreasing trend in the surface temperature of the earth. OLS regression and GWR regression models

were used in order to identify the influencing factors for LST changes. The results of the least squares regression showed that all independent variables were significant and there was no multicollinearity in the independent variables. The coefficient of determination  $R^2$  and AICc (corrected) were used to compare regression models (GWR) and model (OLS). The results showed that GWR has significant explanatory power for the relationship between LST and urban land use and provides higher LST prediction accuracy compared to OLS.

#### 4. Conclusion

The characteristics of land use and land cover in Ahvaz city have experienced dynamic changes due to the process of industrialization and continuous urbanization. The trend of LST changes in Ahvaz has a significant increasing trend. The average LST has increased from 33.92°C in 2014 to 36.86°C in 2022, which has led to the increase of the heat island. Spatial clustering of LST in an ecosystem can play an important role in determining land use and land cover dynamics. Ahvaz city has a significant level of spatial autocorrelation in LST values and a very strong cluster pattern in the mentioned time period. The reason for this increase in temperature over time can be attributed to urbanization and other human activities. According to the results of this research, in order to reduce the effects of the surface temperature in the city of Ahvaz, it is suggested to cultivate vegetation compatible with the region in the barren areas and around the Karun river. Also, more green spaces should be built inside the city and gardens and forest parks around the city. Oil industries that produce a lot of pollution and temperature should be moved outside the city. On the other hand, the city should grow in such a way that it has the least impact on the surrounding vegetation and agricultural lands. Keywords: split window algorithm, trend finding, spatial analysis, regression, urban use.

#### 5. References

- Anselin, L (2013). *Spatial Econometrics: Methods and Models*; Springer Science & Business Media: Berlin, Germany.
- Bahri A, Khosravi Y, Tavakoli A. Comparison of the Performance of Geographically Weighted Regression and Ordinary Least Squares for modeling of Sea surface temperature in Oman Sea. *jgit* 2019; 7 (3) :159-172. <http://jgit.kntu.ac.ir/article-1-747-fa.html> [In Persian]
- Bala , Ruchi., Prasad, Rajendra., & Pratap Yadav, Vijay (2022). A comparative analysis of day and night land surface temperature in two semi-arid cities using satellite images sampled in different seasons, *Adv. Space Res.* 66(2) (2022) 412e.425. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2020.04.009>.
- Bala, Ruchi., Prasad, Rajendra., Yadav, Vijay Pratap (2021). Quantification of urban heat intensity with land use/land cover changes using Landsat satellite data over urban landscapes, *Theor. Appl. Climatol.* 145 (2021) 1e.12. <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-243576/v1>
- Diksha, Kumari, & Kumari, Rina (2023). Spatiotemporal Characterization of Land Surface Temperature in Relation Landuse/Cover: a Spatial Autocorrelation Approach, *Journal of Landscape Ecology* (2023), Vol: 16 / No. 1. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2023-0001>.
- Emami, Sedighe & emami, Esmail (2018). Investigation of Urban Biophysical Compounds in the Formation of Thermal Islands Using RS and GIS (Case Study: Yazd 2018. “Journal of Radar and Optic Remote Sensing” (JRORS), 2018. Vol 1(Issue 1.2).15-35. [https://jrors.yazd.iau.ir/article\\_542418.html](https://jrors.yazd.iau.ir/article_542418.html).

- Foody, G.M (2004). Spatial non stationarity and scale dependency in the relationship between species richness and environmental determinants for the sub-Saharan endemic avifauna. *Global Ecology and Biogeography*, 13:315-320.  
<https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2004.00097.x>
- Fotheringham, A.S, Brunsdon, C. and Charlton, M (2002). *Geographically Weighted Regression: the analysis of spatially varying relationships*, Chichester: Wiley.  
<https://www.researchgate.net/publication/27246972>
- Gupta, Neha., Mathew, Aneesh., & Khandelwal, Sumit (2020). Spatio-temporal impact assessment of land use/land cover (LU-LC) change on land surface temperatures over Jaipur city in India, *Int. J. Urban Sustain. Dev.* 12(3) (2020) 283 e.299.  
<http://dx.doi.org/10.1080/19463138.2020.1727908>.
- Hashemi-Dareh Badami, S., Nouraey-Sefat, I., Karimi, S., & Nazari, S. (2015). Analysis of urban heat island development in relation to land use/cover changes using Landsat time series imagery. *Remote Sensing and Geographic Information Systems in Natural Resources*, 6(3), 15–28.  
<https://sid.ir/paper/189596/fa> [In Persian]
- Ibrahim , Siti Halipah., Ibrahim , Nurul Izzati Ahmat., Wahid, Julaihi., Goh, Nurakmal Abdullah., Koesmeri , Dona Rose Amer., & Nawi , Mohd Nasrun Mohd (2018). The impact of road pavement on urban heat island (UHI) phenomenon, *Civ. Eng.* 9.2018(8).  
<https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i8.2755>.
- Jiang, Peikun., Fu, Weijun. J., Zhou, Guomo., and Zhao, Keli (2014). Using Moran's I and GIS to study the spatial pattern of forest litter carbon density in a subtropical region of southeastern China, *Biogeosciences*, 11, 2401–2409.  
<https://doi.org/10.5194/bg-11-2401-2014>.
- Jung, H.-S.; Park, S.-W (2014). Multi-Sensor Fusion of Landsat 8 Thermal Infrared (TIR) and Panchromatic (PAN) Images. *Sensors*. 2014, 14, 24425–24440.  
<https://doi.org/10.3390/s141224425>
- Khosravi, Y., Heydari, M. A., Tavakoli, A., & Zamani, A. (2017). Temporal analysis of land surface changes and spatial pattern of land use changes (Case study: Zanjan city). *Spatial Planning (Modares Human Sciences)*, 21(3), 119–144. [In Persian]
- Kumari, Maya ., Sarma, Kiranmay ., & Sharma, Richa (2019). Using Moran's I and GIS to study the spatial pattern of land surface temperature in relation to land use/cover around a thermal power plant in Singrauli district, Madhya Pradesh, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15, 100239.  
DOI: [10.1016/j.rsase.2019.100239](https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100239)
- Levermore, GJ., & Cheung, HKW (2012). A low-order canyon model to estimate the influence of canyon shape on the maximum urban heat island effect, *Build. Serv. Eng. Technol.* 33 (4) (2012) 371e 385.  
<http://dx.doi.org/10.1177/0143624411417899>.
- Li, Shuangcheng ., Zhao, Zhiqiang ., Miaomiao, Xie ., & Wang, Yanglin (2010). Investigating spatial non-stationary and scale-dependent relationships between urban surface temperature and environmental factors using geographically weighted regression. *Environ. Model. Softw.* 2010, 25, 1789–1800.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.06.011>.
- Lillesand, Thomas., Kiefer, Ralph W., & Chipman, Jonathan (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
- Liu, Xue., Ming, Yujia., Liu, Yong., Yue, Wenze and Han, Guifeng (2022). Influences of landform and urban form factors on urban heat island: comparative case study between Chengdu and Chongqing, *Sci. Total Environ.* 820 (2022), 153395.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153395>

- Mahmoudzadeh, H., Nasiri, S., & Ghasemi, T. (2019). Urban heat islands. In Proceedings of the 5th International Conference on Environmental Engineering and Natural Resources (Tehran, Iran).  
<https://civilica.com/doc/934024/> [In Persian]
- Mann, Henry. B (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica* 1945,13,245. [CrossRef] 40.  
<http://dx.doi.org/10.2307/1907187>.
- Maroufnejad, A. (2011). The impact of urban land uses on the formation of urban heat islands (Case study: Ahvaz city). *Environmental Planning*, 4(14), 65–90.  
<https://sid.ir/paper/130725/fa> [In Persian]
- Mostafazadeh, R., Moradzadeh, V., Alaei, N., & Hezbavi, Z. (2021). Application of the Hurst exponent in determining long-term memory of precipitation and discharge time series in selected stations of Ardabil Province. *Water and Soil Resources Conservation*, 11(2).  
<https://sid.ir/paper/416028/fa> [In Persian]
- Nakata-Osaki, Camila Mayumi., Souza, Léa Cristina Lucas., & Rodrigues, Daniel Souto (2018). THIS-Tool for Heat Island Simulation: a GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry, *Comput. Environ. Urban Syst.* 67(2018)157 e.168.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.09.007>.
- Peng, Jian., Jia, Jinglei., Liu, Yanxu., Li, Huilei., & Wu, Jiansheng (2018). Seasonal contrast of the dominant factors for spatial distribution of land surface temperature in urban areas, *Remote Sens. Environ.* 215(2018), 255-267.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.010>.
- Rangzan, K., Maleki, S., Taghizadeh, A., & Heydarian, P. (2013). Modeling urban spatial development using Geographic Information System (GIS) technology and Geographically Weighted Regression (GWR): A case study of Tehran metropolis (Master's thesis, Faculty of Earth Sciences, Remote Sensing and GIS). [In Persian]
- Ren, Jiayi., Yang, Jun., Zhang ,Yuqing., Xiao, Xiangming., Xia Jianhong Cecilia., Li, Xueming., Wang, Shaohua (2022). Exploring thermal comfort of urban buildings based on local climate zones, *J. Clean. Prod.* 340 (2022) ,130744.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130744>.
- Saeedi, S, Montazerolhodjah M & Sharifnejad M. (2020). An Analysis of the Relationship between Quantitative Factors of Canyon with the Temperature Differences in Historical Passages, Case Study: Meybod City. *Urban Ecological Research*, 14(1), 43-64.  
<https://doi.org/10.30473/grup.2021.48156.2416> [In Persian]
- Santamouris, M (2015). Regulating the damaged thermostat of cities status, impacts and mitigation challenges, *Energy Build.* 91 (2015) 43e.56.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.027>.
- Santamouris, Mattheos., Ding, Lan., & Osmond, Paul (2018). Urban heat island mitigation, in: *Decarbonising the Built Environment*, Palgrave Macmillan, Singapore, 2018, 337 e.335.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-13-7940-6\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7940-6_18)
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of American Statistical Association*, 63 (324), 1379-1389.  
[doi:10.1080/01621459.1968.10480934](https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934).
- Sen, Pranab Kumar (1968). Asymptotically efficient tests by the method of n rankings. *J. Roy. Statist. Soc. Ser. B.* 30 .  
<https://www.jstor.org/stable/2240259>.



- Sharma, Richa., Pradhan, Lolita., Kumari, Maya and Bhattacharya, Prodyut (2021). Bhattacharya, Assessing urban heat islands and thermal comfort in Noida City using geospatial technology, *Urban Clim.* (2021), 100751.  
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100751>
- Simmons, Mark T., Gardiner, Brian., Windhager, Steve., Tinsley, Jeannine (2008). Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate, *Urban Ecosyst.* 11(4) (2008) 339e.348.  
<https://doi.org/10.1007/s11252-008-0069-4>
- Siqi, PanelJia., Yuhong, Wang., Ling, Chen., Xiaowen, Bi (2023). A novel approach to estimating urban land surface temperature by the combination of geographically weighted regression and deep neural network models, *Urban Climate*, Volume 47, January 2023, 101390.  
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101390>
- Tran, Duy X., Pla ,Filiberto., Pedro, Latorre-Carmona., Myint ,Soe W., Mario Caetano, Kieu., Kieu, Hoan V (2017). Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 124, February 2017, 119-132.  
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.001>
- Voogt, J.A. and Oke, T.R (2003). Thermal Remote Sensing of Urban Climates. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370-384.  
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- Yao, Rui., Wang, Lunche., Huang, Xin., Zhang, Wenwen., Li, Junli., &Niu, Zigeng (2018). Interannual variations in surface urban heat island intensity and associated drivers in China, *J. Environ. Manag.* 222 (2018) 86e.94.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.024>
- Yin, Shusheng., Liu, Jiatong., & Han, Zenglin (2022). Relationship between urban morphology and land surface temperature—a case study of Nanjing City, *PLoS One* 17 (2) (2022), e0260205.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260205>
- Yuan, Fei., & Bauer, Marvin E (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* 2007, 106, 375-386.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.003>
- Zandi, R., Soleimani Moghaddam, M., & Rouki, Z. (2022). Assessment of the spatial autocorrelation of land surface temperature with land use (Case study: Isfahan city). *Geography and Environmental Planning*, 34(1), 61–76.  
<https://doi.org/10.22108/GEP.2022.132524.1488> [In Persian]
- Zandi, R., Zaheri-Abdovand, Z., & Emami, S. (2024). Assessment of land surface temperature and its relationship with spectral indices (Case study: Khuzestan Province). *Geography and Development*, 22(...), ...–...  
<https://doi.org/10.22111/gdij.2024.46176.3554> [In Persian]
- Zhao, Chunhong, Jennifer Jensen, Qihao Weng, and Russell Weaver (2018). "A Geographically Weighted Regression Analysis of the Underlying Factors Related to the Surface Urban Heat Island Phenomenon" *Remote Sensing* 10, No. 9: 1428.  
<https://doi.org/10.3390/rs10091428>



## یک رویکرد سنجش از دور برای ارزیابی تغییرات دما با استفاده از تحلیل فضایی و رگرسیون

صدیقه امامی<sup>۱</sup>، دکتر مصطفی کابلی زاده<sup>۲\*</sup>

### مقاله پژوهشی

#### چکیده

شهرنشینی بر محیط حرارتی شهری تأثیر بسزایی دارد و این تغییرات بر اقلیم، محیط و کیفیت زندگی ساکنان تأثیر گذاشته است. هدف از این مطالعه ارزیابی روند تغییرات طولانی مدت دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شهرستان اهواز با استفاده از روش الگوریتم پنجره مجزا<sup>۳</sup> «SW» در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ می باشد. در این تحقیق به منظور برآورد دقیق دامنه تغییرات دمای سطح زمین، از تخمین گر «تیل-سن» و مدل «من-کندال» استفاده شد. خودهمبستگی فضایی جزایر حرارتی با استفاده از شاخص موران محلی و ارتباط روند تغییرات دمای سطح زمین با پارامترهای کاربری شهری با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات معمولی<sup>۴</sup> «OLS» و رگرسیون وزنی<sup>۵</sup> «GWR» مورد ارزیابی قرار گرفت. از الگوریتم فیوژن، گرام-اشمیت نیز برای افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر ماهواره لندست-۸ استفاده شده است. تحلیل روند «تیل-سن» نشان داده است که ۹۳/۶۱ درصد منطقه دارای روند افزایشی و ۶/۳۹ درصد دارای روند کاهشی می باشد، بر اساس نتایج آزمون معنی داری «من-کندال» تنها ۶ درصد مساحت منطقه دارای روند کاهش یا افزایش دائم معنی دار می باشد و دیگر بخش ها فاقد روند معنی داری هستند. نتایج همبستگی پیرسون بین دمای هوای محاسبه شده با دمای ایستگاه زمینی برابر با ۰/۷۱۶ می باشد. ارزیابی دمای سطح زمین با استفاده از روش همبستگی فضایی موران جهانی نشان داد که دما دارای ساختار فضایی با الگوی خوشه ای است و مقدار آن بین ۰/۶۳ تا ۰/۶۸ متغیر می باشد. در نتایج شاخص موران محلی مشاهده شد که میزان جزایر حرارتی در سال ۲۰۱۹ نسبت به بقیه سال ها به طور چشمگیری کاهش یافته است. بررسی اثر عوامل کاربری شهری (فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از فضای سبز، فاصله از رودخانه، فاصله از صنایع و فاصله از جاده) بر روند تغییرات دما با استفاده از روش های «OLS» و «GWR»، نشان داد که همه پارامترهای مستقل در نظر گرفته شده، معنی دار می باشند و مدل «GWR» نتایج بهتری نسبت به «OLS» در منطقه مورد مطالعه داشته است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۷۹، تابستان ۱۴۰۴  
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶  
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۳/۰۳/۱۸  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۱  
صفحات: ۱۶۰-۱۳۳



واژه های کلیدی:

الگوریتم پنجره مجزا، روندیابی، تحلیل فضایی، رگرسیون، کاربری شهری.

#### مقدمه

شهرنشینی، جنبه های مختلف موقعیت های انسانی را ارتقا داده است. با این حال، کیفیت و آسایش زندگی شهری بر نگرانی های زیست محیطی تأثیر منفی گذاشته است. شهرنشینی از عوامل مهمی است که باعث ایجاد تغییرات غیر عادی در الگوهای آب و هوایی در اطراف زمین می شود و جهان را به شدت آلوده می کند (Yao et al, 2018: 2). زیرساخت شهرهای در حال توسعه به سرعت در حال گسترش است و در نتیجه سطح طبیعی زمین به مناطق غیر قابل نفوذ و ساخته شده تبدیل می شود. تغییرات ممکن است شامل جایگزینی پوشش گیاهی و خاک با بتن، سطوح آسفالتی و جایگزینی سازه های روستایی با سازه های مرکب شهری باشد (Gupta et al, 2020: 1-2). در مناطق شهری آسفالت، بتن و آجر در مقایسه با دیگر سطوح طبیعی زمین، تابش های خورشیدی را بیشتر جذب می کنند این موضوع منجر به افزایش دمای هوا و سطح می شود (Levermore et al, 2012: 2). شکل هندسی شهر بر جریان و

۱. دانشجوی دکتری گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲. دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (نویسنده مسئول)

3. Spilit Window Algoritm

4. Ordinary Least Squares

5. Geographically Weighted Regression

جهت باد تأثیرگذار است، تابش‌های خورشید را با بازتاب‌های متعدد حفظ می‌کند و مانع انعکاس تابش‌ها به فضا می‌شود و به جرم‌های گرمایی بزرگ تبدیل می‌شود (Nakata et al, 2018: 1-2). این امر منجر به دماهای بالاتر در مناطق شهری در مقایسه با مناطق حومه یا روستایی اطراف می‌شود و به‌عنوان اثر جزیره گرمایی شهری شناخته می‌شود (Voogt & Oke, 2003:1). معمولاً در طول شب، هوای بالای مراکز شهری گرم‌تر از هوای مناطق روستایی اطراف است (Bala et al, 2022:2). کاهش فضای سبز در محیط شهر، به‌طور قابل ملاحظه‌ای شدت جزیره گرمایی شهری را افزایش می‌دهد (Bala et al, 2021:1) و باعث تخریب محیط گرمایی و محرومیت ساکنان از دسترسی به سرمایه‌های طبیعی می‌شود؛ بنابراین تجزیه و تحلیل شدت جزیره گرمایی شهری به‌صورت مکانی و زمانی برای درک محیط حرارتی در مقیاس شهر بسیار مهم است (Sharma et al, 2021:1). در شهرهای بزرگ، عوارض جانبی نامطلوب جزیره گرمایی شهری، مانند بدتر شدن کیفیت هوا، افزایش تقاضای انرژی، و بیماری‌های مربوط به گرما، نیازمند توجه بیشتری است (Santamouris et al, 2018: 2). در طول تابستان، انرژی برق بیشتری مصرف می‌شود. به‌ازای هر درجه افزایش دما، پیک تقاضای الکتریکی (۸/۵)، ۰/۵ درصد افزایش می‌یابد (Santamouris, 2015: 2). آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای، ناشی از افزایش مصرف انرژی است. انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند CO2 بر تغییرات آب‌وهوا تأثیر می‌گذارد (Simmons et al, 2008: 2). جزایر حرارتی شهری ویژگی‌های متفاوتی را از نظر مکانی و زمانی نشان می‌دهد. برای درک این ویژگی‌ها و تجزیه و تحلیل اثرات جزیره گرمایی شهری در یک منطقه، از شاخص‌های مختلفی مانند خودهمبستگی فضایی استفاده می‌شود. محققان بسیاری خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین و ارتباط آن را با کاربری‌های شهری با استفاده از مدل‌های رگرسیون مورد بررسی قرار داده‌اند (Liu et al, 2022: 2; Penge et al, 2018:1). تحقیقات موجود نشان می‌دهد که بهینه‌سازی محیط فضایی شهری (مورفولوژی شهری، زیرساخت‌های سبز و آبی شهری و فضای فعالیت‌های انسانی) با برنامه‌ریزی مدیریتی برای کاهش دماهای بالای مداوم و بهبود آسایش حرارتی امکان‌پذیر است (Ren et al, 2022: 2). فضاهای سبز می‌تواند به‌طور قابل توجهی میزان UHI<sup>۱</sup> را کاهش دهند (Tran et al, 2017:2).

با توسعه فناوری سنجش از دور، داده‌های مبتنی بر سنجش از دور مانند دمای سطح زمین (LST) به‌طور فزاینده‌ای برای بررسی اثر جزیره گرمایی شهری به‌دلیل پوشش زمانی و مکانی گسترده آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. بسیاری از مطالعات موجود از رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) برای درک روابط اساسی بین LST و ترکیب پوشش زمین استفاده کرده‌اند، به‌عنوان مثال: یوان و بائر از OLS برای مطالعه رابطه بین LST و درصد سطوح غیر قابل نفوذ در منطقه شهری مینیاپولیس - سنت پل، مینه‌سوتا استفاده کردند (Yuan & Bauer, 2007:3). در مطالعه دیگری، سعیدی و همکاران به تحلیل اثر عوامل کمی درجه محصوریت با اختلاف دمایی در گذرهای تاریخی در شهر میبد با استفاده از تحلیل همبستگی و رگرسیون خطی ساده پرداختند (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱). علی‌رغم تعداد متغیرهای در نظر گرفته شده، این مطالعات فقط بر روی روابط دو متغیره بدون در نظر گرفتن اثر مخدوش‌کننده سایر متغیرها تمرکز کردند. علی‌رغم محبوبیت و پذیرش گسترده رگرسیون OLS در پژوهش موجود، وابستگی فضایی و ناهمگونی فضایی را با فرض یک فرآیند ثابت در سراسر منطقه مورد مطالعه در نظر نمی‌گیرند. با این حال، در واقعیت فرآیندهای محرک پدیده فضایی از مکانی به مکان دیگر متفاوت است و درجه ارتباط بالاتری در بین مشاهدات نزدیکتر نسبت به مشاهدات دور وجود دارد (Anselin et al, 2013). بسیاری از تحقیقات موجود از GWR برای درک روابط بالقوه بین LST و ترکیب پوشش زمین در نقاط مختلف کره زمین استفاده کرده‌اند (Zhao et al, 2018:2; Li et al, 2010:2).



شهر اهواز در شرق و غرب رودخانه کارون ساخته شده و گسترش یافته است. وسعت و جمعیت زیاد کلان‌شهر اهواز از یک‌سو و قرارگرفتن آن در مسیر کمربند خشک زمین و کمبود شدید پوشش گیاهی از سوی دیگر، این کلان‌شهر را در زمره گرم‌ترین مناطق ایران قرار داده است. با توجه به اهمیت شهر اهواز به‌عنوان مرکز انجام فعالیت‌های صنعتی همچنین وجود ذخایر عظیم نفت و گاز و صنایع وابسته از جمله پتروشیمی و فولاد در آن که باعث مهاجرت بی‌رویه به این شهر برای اشتغال شده و در نتیجه آن افزایش بی‌رویه ساخت‌وسازهای شهری برای تأمین مسکن را به همراه داشته است؛ همچنین وجود عواملی مانند: افزایش خودرو، ترافیک، ورود گردشگران، گردوغبار و مهاجر از کشورهای همسایه که باعث انتشار حجم زیادی از آلاینده‌هایی مانند: دود، مه و ریزگردها در هوای شهر اهواز شده؛ آب‌وهوای این شهر را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه باعث ایجاد جزیره گرمایی شهری شده، این شهر به‌عنوان منطقه تحقیق انتخاب شده است.

در تحقیقات گذشته بیشتر بر روی «فضاهای خاکستری» شهری مانند ساختمان‌ها و جاده‌ها تمرکز شده بود، در حالی که «فضای سبز» مانند سبزشدن مناظر خیابان‌ها نادیده گرفته

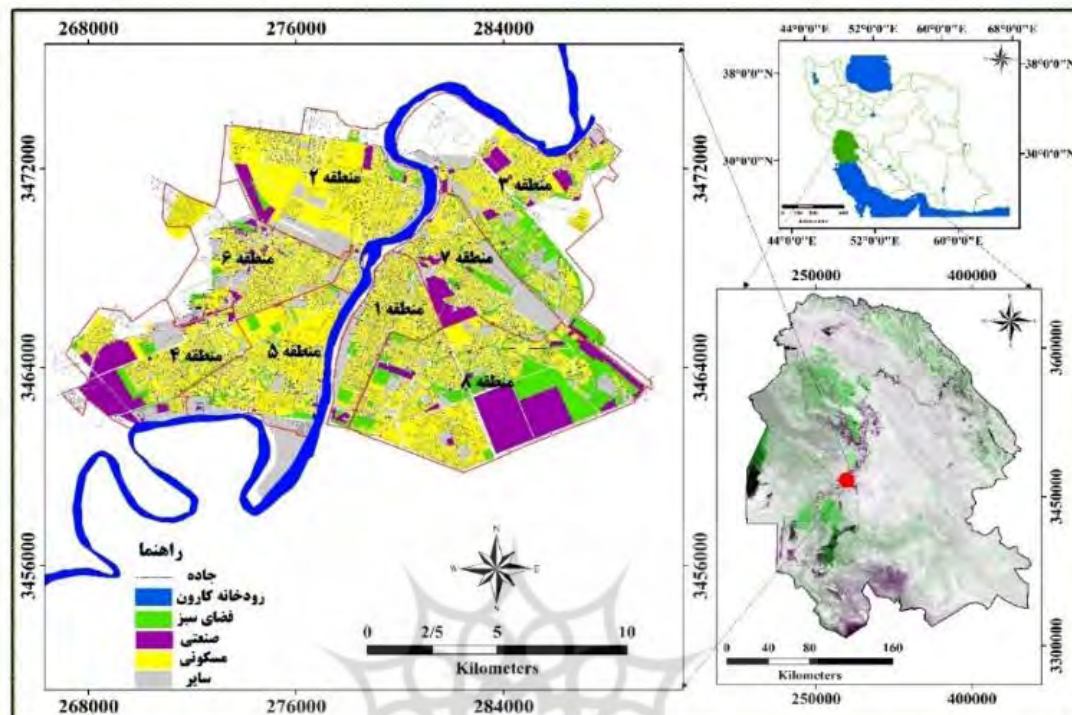
شده است (2: Ibrahim et al, 2018; 3: Yin et al, 2022). خیابان‌های موجود در شهر از مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی مؤثر بر فعالیت‌های انسان است که از نزدیک بر آسایش حرارتی و پیرایشانی حرارتی بدن انسان تأثیر می‌گذارد (2: Siqi et al, 2023)، تراکم جاده و تراکم مناطق ساخته‌شده می‌تواند به‌شدت باعث افزایش میزان LST<sup>۱</sup> گردد (2: Yin et al, 2022). در مطالعات مختلف، تغییرات مکانی به‌طور مؤثر با استفاده از روش‌های رگرسیون وزنی مورد توجه قرار گرفته اما تغییرات زمانی مناطق شهری تا حد زیادی توسط اکثر مطالعات نادیده گرفته شده است. نوآوری این تحقیق پرکردن این شکاف دانش با ارائه یک مطالعه طولی است که امکان ارزیابی مکانی-زمانی شدت جزایر حرارت شهری را فراهم می‌نماید. جزایر حرارتی کوچک باعث کاهش رطوبت نسبی هوای شهر، افزایش دما، افزایش مصرف انرژی برای خنک‌سازی ساختمان‌ها و ایجاد آلودگی در جو شده است. این مطالعه با ترکیب سنجش از دور و مدل‌سازی آماری، در مقایسه با تحقیقات گذشته با هدف دستیابی به اهداف زیر در شهر اهواز انجام شده است:

- (۱) بررسی توزیع مکانی و تغییرات زمانی جزایر حرارتی شهری در یک دوره زمانی ۹ ساله.
- (۲) بررسی روند تغییرات دمای سطح زمین در بازه زمانی ذکرشده.
- (۳) ارزیابی روابط تغییرات دمای سطح زمین و تعدادی از متغیرهای کاربری شهری با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون «OLS» و «GWR».

## داده‌ها و روش

### منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر اهواز با مساحت ۲۱۹۰۱/۰۳ هکتار و ارتفاع متوسط ۱۲ متر از سطح دریا، در مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و در بخش جلگه‌ای استان خوزستان واقع شده است (شکل ۱). پهنه شهر اهواز با عبور از رودخانه در جهت شمالی-جنوبی به دو بخش شرقی و غربی تقسیم شده است. براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن که متکی بر دو متغیر میانگین بارندگی و میانگین دما است، شهر اهواز در گروه اقلیمی خشک قرار دارد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهر اهواز

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

## داده‌ها

در این پژوهش از دو نوع داده استفاده شده است که شامل داده‌های سنجش از دور و داده‌های ایستگاه هواشناسی می‌باشند. تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ در ماه‌های شهریور در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲، برای محاسبه LST در کلان‌شهر اهواز جمع‌آوری شد (جدول ۱). داده‌های ایستگاه هواشناسی به منظور انجام الگوریتم پنجره مجزا و صحت‌سنجی نقشه دمای سطح زمین مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

| داده ماهواره‌ای | ردیف و گذر | ابعاد پوشش (کیلومتر) | تاریخ تصاویر | فرمت |
|-----------------|------------|----------------------|--------------|------|
| Landsat-8 OLI   | ۱۶۵-۳۸     | ۱۸۵*۱۸۵              | 2014         | TIFF |
| Landsat-8 OLI   | ۱۶۵-۳۸     | ۱۸۵*۱۸۵              | 2015         | TIFF |
| Landsat-8 OLI   | ۱۶۵-۳۸     | ۱۸۵*۱۸۵              | 2016         | TIFF |
| Landsat-8 OLI   | ۱۶۵-۳۸     | ۱۸۵*۱۸۵              | 2017         | TIFF |
| Landsat-8 OLI   | ۱۶۵-۳۸     | ۱۸۵*۱۸۵              | 2018         | TIFF |
| Landsat-8 OLI   | ۱۶۵-۳۸     | ۱۸۵*۱۸۵              | 2019         | TIFF |
| Landsat-8 OLI   | ۱۶۵-۳۸     | ۱۸۵*۱۸۵              | 2020         | TIFF |
| Landsat-8 OLI   | ۱۶۵-۳۸     | ۱۸۵*۱۸۵              | 2021         | TIFF |
| Landsat-8 OLI   | ۱۶۵-۳۸     | ۱۸۵*۱۸۵              | 2022         | TIFF |

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

### روش تحقیق

روش تحقیق در این مطالعه، شامل شش مرحله پردازش است: (۱) پیش‌پردازش تصاویر (۲) ادغام داده‌های «PAN» و تصاویر مادون قرمز حرارتی (TIR) (۳) محاسبه دمای سطح زمین (۴) اعتبارسنجی دمای محاسبه‌شده (۵) تحلیل فضایی دمای سطح زمین (۶) بررسی روند تغییرات دما در بازه زمانی مورد مطالعه به روش‌های «من‌کندال» و «تیل-سن» (۷) استخراج عوامل تأثیرگذار بر دمای منطقه با استفاده از مدل‌های رگرسیونی حداقل مربعات معمولی (OLS) و رگرسیون وزنی (GWR).

### پیش‌پردازش تصاویر

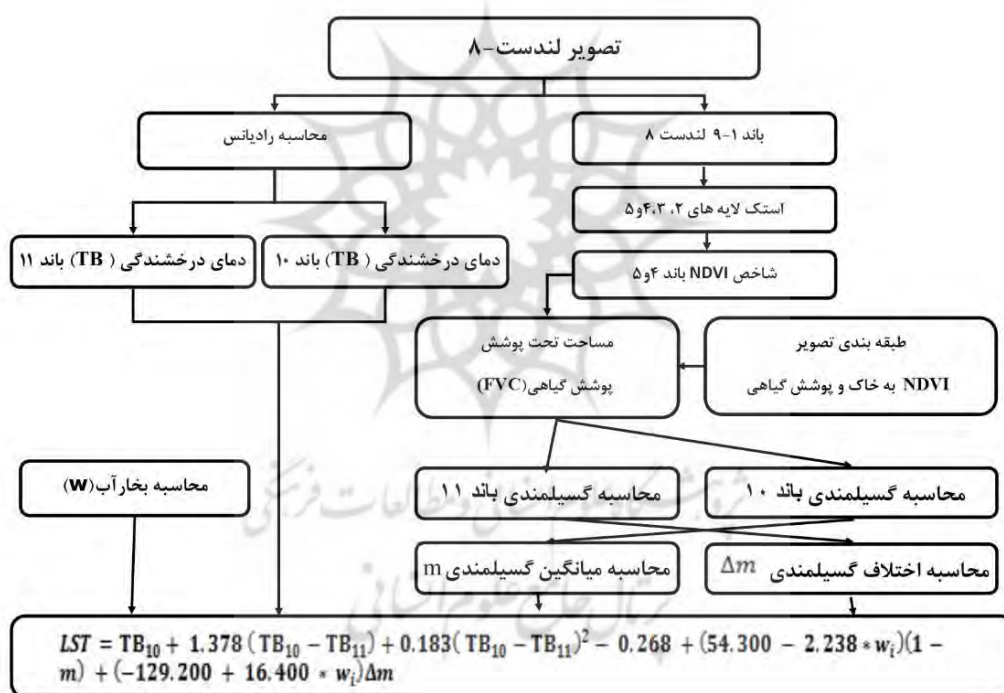
در این تحقیق تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸، به‌صورت رایگان و تصحیح هندسی‌شده از سایت USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) دانلود شد؛ بنابراین هنگام پردازش تصاویر لندست-۸، نیازی به تصحیح هندسی تصاویر نیست. مراحل پیش‌پردازش در این تحقیق، شامل برش تصاویر، کالیبراسیون رادیومتریک (Radiometric Correction: Radiance)، تصحیح اتمسفری (روش QUAC) و ادغام تصاویر ماهواره‌ای (الگوریتم Gram-Schmidt) می‌باشد.

### ادغام داده‌های «PAN» و تصاویر مادون قرمز حرارتی «TIR»

ادغام داده‌ها به‌عنوان ترکیبی از داده‌های چندین حسگر تعریف می‌شود به‌طوری‌که اطلاعات حاصل بهتر از زمانی است که حسگرها به‌صورت جداگانه استفاده می‌شوند. به‌منظور افزایش دقت مکانی باند مادون قرمز حرارتی، در این تحقیق از الگوریتم «Gram-Schmidt» استفاده شده است. الگوریتم «Gram-Schmidt» با هدف بازسازی جزئیات مکانی تصاویر چندطیفی با استفاده از تصویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا توسعه یافته است. در این تبدیل به‌واسطه میانگین‌گیری باندهای تصویر چندطیفی، تصویر پانکروماتیک بازسازی‌شده تولید می‌گردد (Jung et al, 2014:4). در ادامه الگوریتم «Gram-Schmidt» بر باندهای تصویر چندطیفی و تصویر پانکروماتیک

## الگوریتم تخمین دما

از الگوریتم پنجره مجزا (SW) برای محاسبه LST با استفاده از داده‌های باندهای حرارتی لندست-۸ استفاده شده است. شکل ۲، فلوچارت این الگوریتم را نشان می‌دهد.



شكل ٢: فلوچارت الگوریتم ینجره مجزا

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

## اعتبارسنجی دمای محاسبه شده

به منظور بررسی دقت نقشه دمای محاسبه شده، از دمای هوای ثبت شده در ایستگاه هواشناسی استفاده شده است. بدین منظور ابتدا نقشه دمای سطح زمین با استفاده از (رابطه ۱) به دمای هوا تبدیل شد سپس جهت بررسی میزان همبستگی بین میزان دمای محاسبه شده و دمای ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک از روش همبستگی پیرسون استفاده گردید.

رابطه ۱:

$$T_{aire} = 14.6 + (0.44 * T_C)$$

### خودهمبستگی فضایی

#### خودهمبستگی فضایی جهانی

یکی از شناخته شده ترین و پرکاربردترین معیارهای خودهمبستگی فضایی، شاخص موران (I) است. شاخص خودهمبستگی فضایی (Global Moran's I) با محاسبه همزمان مکان های ویژگی و مقادیر ویژگی، خودهمبستگی فضایی را محاسبه می کند و براساس مجموعه ای از ویژگی ها و یا یک ویژگی مرتبط الگوی روابط موجود را به صورت خوشه ای، پراکنده یا تصادفی بیان می کند. بدین منظور مقادیر شاخص Moran's I و z-score، p-value محاسبه می شود (Diksha et al, 2023:14). رابطه ۲، فرمول محاسبه شاخص موران را نشان می دهد.

رابطه ۲:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{S^2 \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}}$$

مقادیر شاخص موران از +۱ تا -۱ متغیر است. اگر «I» برابر با ۱ باشد، نشان دهنده این است که الگوی مشاهده شده از نظر فضایی خوشه بندی شده است. از طرف دیگر، «I» برابر -۱ به معنای گسترش یا پراکندگی است. اگر «I» مقدار تقریباً صفر داشته باشد، معادل با عدم وجود همبستگی می باشد. تنها پس از در نظر گرفتن z-score و p-value، نتیجه گیری نهایی در مورد الگوی مشاهده شده انجام می شود.

#### خودهمبستگی فضایی محلی

خودهمبستگی فضایی جهانی نمی تواند وضعیت دمای محلی را برجسته کند، فقط نوع پراکنش را مشخص می نماید، خودهمبستگی فضایی محلی می تواند به دقت ویژگی های تجمع و پراکنش میزان دمای سطح زمین در سطح شهر را نشان دهد (رابطه ۳).

رابطه ۳:

$$I_i = \frac{(Y_i - \bar{Y})}{S^2} \sum_j w_{ij} \cdot (X_j - \bar{X})$$

مقادیر عددی شاخص موران نشان دهنده، درجه پراکنده بودن یا متمرکز بودن عوارض یا داده های فضایی در فضای اندازه گیری می باشد (مصطفی زاده و همکاران، ۱۴۰۰: ۷-۸). این شاخص مقادیر دمایی سطح زمین را در مکان هایی که نزدیک یکدیگر واقع شده و بیشترین شباهت را دارند به صورت یک خوشه گرم و سرد طبقه بندی می کند. این شاخص همچنین ناخوشه های فضایی را شناسایی می کند. بدین منظور این شاخص، براساس محاسبه مقدار موران محلی، امتیاز z برای هر عارضه محاسبه می گردد. امتیاز z و pvalue بیان گر معنی داری مقدار شاخص محاسبه شده می باشد. نقاطی که از این آماره ضمن معنی داری موران محلی ایجاد می شود، از چهار دسته توزیع پراکندگی برخوردار است و با استفاده از آنها می توان، نوع خودهمبستگی فضایی داده ها را مورد ارزیابی قرار داد. این چهار دسته اطلاعات



به شرح ذیل می‌باشند: جزایر حرارتی گرم (HH)، جزایر سرد (LL)، جزایر حرارتی گرم در کنار سرد (HL) و جزایر حرارتی سرد در کنار گرم (LH). علاوه بر این چهار نوع جزایر حرارتی، خروجی این تابع شکل پنجمی ممکن است داشته باشد که به شکل اختصاری NS (فاقد معنی‌داری) می‌باشد. مناطقی با این مقدار، نشان می‌دهد که هیچ ارتباط مکانی محلی چشمگیری در دمای سطح زمین آن پهنه وجود نداشته است (Emami & Emami, 2018: 14-15). در این تحقیق، از تحلیل خودهمبستگی فضایی برای بررسی الگوی توزیع فضایی LST استفاده شده است.

### روند تغییرات دمای سطح شهر

به‌منظور ارزیابی اهمیت آماری روندها و برآورد دقیق دامنه تغییرات در LST، در این تحقیق از تخمین‌گر شیب «تیل-سن» و روش ناپارامتریک «من-کندال» استفاده شد. بدین ترتیب پس از تهیه داده‌های سری زمانی دمای سطح زمین، با واردکردن سری زمانی به‌دست‌آمده در بخش Earth Trends Modeler نرم‌افزار TerrSet آزمون‌های «من کندال» و روند «تیل-سن» انجام گرفت.

### روند «تیل-سن»

جهت برآورد نمودن شیب واقعی یک روند در یک‌سری زمانی، استفاده از روش ناپارامتریک شیب سن (Sen's Slope) Estimator Nonparametric Method می‌تواند یک روش مناسب در این زمینه باشد. این روش ابتدا توسط تیل در سال (۱۹۵۰) ارائه و سپس توسط سن در سال (۱۹۶۸) بسط و گسترش داده شد. این روش نیز همانند بسیاری دیگر از روش‌های ناپارامتریک همچون «من-کندال» بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات سری زمانی استوار است زیرا بر هیچ فرضی در مورد توزیع داده‌ها یا خطی بودن روند تکیه نمی‌کند (Sen, 1968: 12). فرضیه  $H_1$  نشان می‌دهد که یک روند کاهشی یا افزایشی یکنواخت وجود دارد در حالی که فرضیه  $H_0$  در محاسبه این آزمون بیان می‌کند که هیچ روندی در داده‌های LST در طول زمان مشاهده نشده است. بسیاری از تکنیک‌های تحلیل روند آماری، از جمله تحلیل روند خطی، تحلیل روند چندجمله‌ای، تحلیل روند هارمونیک، و تحلیل روند «من-کندال» در تحقیقات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Mann, 1945: 4-5). روش تحلیل روند Theil-Sen توانایی خوبی برای جلوگیری از اختلال داده‌های پرت یا خطای اندازه‌گیری دارد، روش محاسبه به‌شرح زیر است (رابطه ۴).

رابطه ۴:

$$S_{LST} = \text{Median} \left( \frac{x_j - x_i}{j - i} \right) (j < i > 1)$$

در این رابطه  $x_i$  و  $x_j$  نشان‌دهنده داده‌های سری زمانی  $i$  ام و  $j$  ام است.  $S_{LST} > 0$  نشان‌دهنده روند صعودی دمای سطح زمین است و بدین معنی است که دمای سطح زمین در این دوره از زمان افزایش یافته است در حالی که  $S_{LST} < 0$  نشان‌دهنده روند نزولی دمای سطح زمین است.

### آزمون «من-کندال»

«من-کندال»، یک آزمون آماری پرکاربرد برای تحلیل روند سری‌های زمانی اقلیم‌شناسی و هیدرولوژیکی است. این آزمون از حداکثر مقادیر محلی سری داده‌ها جلوگیری می‌کند. فرضیه  $H_0$ ، بیان‌کننده این است که، داده‌ها از

هیچ روندی پیروی نمی‌کنند، فرضیه  $H_1$ ، نشان‌دهنده این است که داده‌ها از یک روند خاصی پیروی می‌کنند. آماره  $S$  در این مدل، با تجزیه و تحلیل همه جفت اندازه‌گیری‌های ممکن در مجموعه داده‌ها تعیین می‌شود. اگر مقدار بعدی از نظر قدر بزرگتر از مقدار قبلی باشد، آماره  $S$  به اندازه یک افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، اگر مقدار بعدی کمتر از نمونه قبلی باشد، آماره  $S$  به اندازه یک کاهش می‌یابد. این آزمون جهت بررسی معنی‌دار بودن روند تغییرات استفاده می‌شود. روابط ۵ تا ۷ فرمول محاسبه این آزمون را نشان می‌دهد.

رابطه ۵:

$$ZM = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & (S > 0) \\ 0 & (S = 0) \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & (S < 0) \end{cases}$$

رابطه ۶:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i), \text{sign} = \begin{cases} 1 & (\theta > 0) \\ 0 & (\theta = 0) \\ -1 & (\theta < 0) \end{cases}$$

در رابطه ۵،  $ZM$  آماره آزمون استاندارد و  $S$  آماره آزمون است. در رابطه ۶،  $x_i$  و  $x_j$  داده‌های سری زمانی هستند.  $N$  عدد نمونه است. وقتی  $n \geq 8$ ،  $S$  تقریباً توزیع نرمال دارد و فرمول محاسبه واریانس به شرح زیر می‌باشد (رابطه ۷):

رابطه ۷:

$$\text{Var} = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

مقدار مثبت  $ZM$  روند افزایشی و مقدار منفی  $ZM$  روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد. با توجه به سطح معنی‌داری ۹۵ درصد اگر  $|ZM| > 1.96$  باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیر این صورت فاقد روند ارزیابی می‌باشد.

تغییرات در روند LST می‌تواند به‌طور مؤثر با ترکیب نتایج آزمون «من-کندال» و تحلیل روند میانه «تیل-سن» درجه‌بندی شود (Jiang et al, 2014: 6). براساس جدول (۲) نتایج روند «تیل-سن» و «من-کندال» به پنج کلاس تقسیم‌بندی می‌شوند.

جدول ۲: درجه تغییرات روند «LST»

| $S_{LST}$      | ZM           | Terend LST       |
|----------------|--------------|------------------|
| -0.001         | $\leq -1.96$ | کاهش قابل توجه   |
| -0.001_0.01    | -1.96_1.96   | کاهش             |
| -0.0001_0.0001 | -1.96_1.96   | بدون تغییر       |
| 0.0001_0.001   | -1.96_1.96   | افزایش           |
| $\geq 0.001$   | 1.96         | افزایش قابل توجه |

مأخذ: Jiang et al, 2014

### مدل‌های رگرسیون

به منظور بررسی میزان اثرگذاری کاربری شهری بر روند تغییرات دمای سطح زمین به روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) و رگرسیون وزنی (GWR) از بسته نرم‌افزاری ArcGIS استفاده شده است. متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده در این تحقیق، شامل عوامل کاربری شهری (فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از فضای سبز، فاصله از رودخانه، فاصله از صنایع و فاصله از جاده) می‌باشند و روند تغییرات دمای سطح زمین به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است.

### مدل رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS)

مدل رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) یک روش رگرسیون کلی یا مدل رگرسیون خطی چندمتغیره است که با استفاده از فرمول زیر شرح داده می‌شود.

رابطه ۸:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n + E$$

در رابطه فوق، Y متغیر وابسته، X متغیر مستقل، B ضرایب متغیرهای مستقل در تشریح متغیر وابسته و E میزان خطا یا بخشی از متغیر وابسته است که توسط متغیرهای مستقل شرح داده نمی‌شود (رنگزن و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۱-۴۸).

این روش از طریق حداقل کردن مجموع مربعات، بهترین خط رگرسیونی برای داده‌ها را ایجاد می‌کند. در مدل OLS، با فرض این که متغیر وابسته (روند تغییرات LST از ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲) y باشد فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از فضای سبز، فاصله از رودخانه، فاصله از صنایع و فاصله از جاده به ترتیب  $X_1, X_2, X_3, X_4$  و  $X_5$  متغیرهای مستقل می‌باشند.

### رگرسیون وزنی «GWR»

روش رگرسیون خطی یک رابطه ثابت بین متغیرهای مکانی برای مدل‌سازی منطقه‌ای فرض می‌کند. مدل‌های رگرسیون معمولی مانند روش حداقل مربعات معمولی، ناپایداری مکانی متغیرها را در نظر نمی‌گیرد. در حالی که رگرسیون وزن‌دار مکانی یک تکنیک رگرسیون محلی برای بررسی ناپایداری یا تغییرات فضایی است که اهداف آن

برآورد پارامترهای مدل رگرسیون کلی با اعمال برخی از دیگر ویژگی‌های نشان‌دهنده تغییرات فضایی است. این روش برای مدل کردن تغییرات محلی پیچیده پارامترهای رگرسیون مناسب است. مهم‌ترین ویژگی رگرسیون وزنی توانایی در بررسی ناپایداری مکانی است. ناپایداری مکانی نشان می‌دهد که اندازه‌گیری یا تخمین روابط بین متغیرهای مستقل از محلی به محل دیگر متفاوت است (رنگزن و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۸-۵۱).

رابطه ۹:

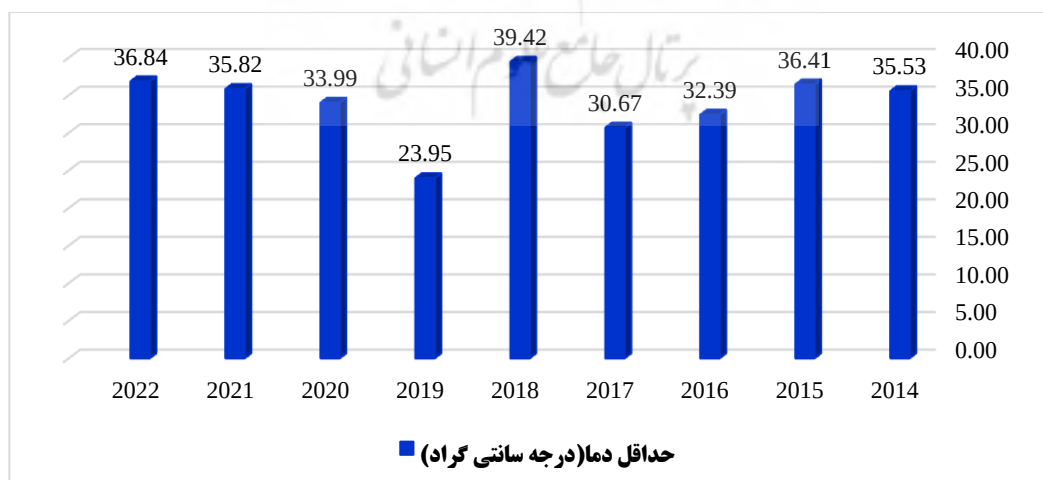
$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i) Y$$

در این رابطه  $X$  نشان‌دهنده ماتریس تشکیل شده به وسیله  $X^T$ ،  $Y$  بردار تشکیل شده به وسیله متغیر  $Y$  است. وزن انتخاب شده هستند. نقاطی که به نقطه تحت مطالعه نزدیکتر هستند، نسبت به نقاط دورتر میزان تأثیرگذاری بیشتری بر نتایج دارند (رنگزن و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۸-۵۱).

## نتایج و بحث

### محاسبه دمای سطح زمین

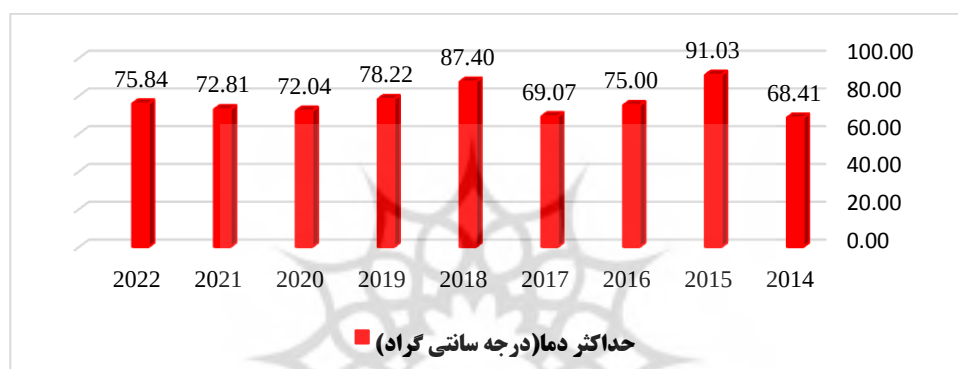
با بررسی نقشه‌های دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا در بازه زمانی مورد مطالعه، نتایج زیر به دست آمده است. دامنه دمایی برای ماه شهریور بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۱۴، نشان از تغییر بنیادین در دمای سطح زمین برای مقادیر کمینه و بیشینه دما را دارند (شکل ۳). کمترین دما در سال ۲۰۱۹ برابر با ۲۳/۹۵ درجه سلسیوس می‌باشد که در شکل شماره (۳) به رنگ سبز نشان داده شده است. وسعت رنگ سبز در سال ۲۰۱۹ نسبت به سال‌های دیگر بیشتر است و در اطراف رودخانه و کاربری‌های فضای سبز شهر متمرکز می‌باشد و این امر حاکی از افزایش فضای سبز در این سال نسبت به سال‌های دیگر می‌باشد. مقادیر حداقل دمای شهر اهواز در طی نه سال به- ترتیب در نمودار ۱ نشان داده شده است (نمودار ۱).



نمودار ۱: مقادیر حداقل دمای شهر اهواز در طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

بیشترین میزان دما در طی بازه زمانی مورد مطالعه، در سال ۲۰۱۵ برابر با ۹۱/۰۳ درجه سلسیوس می‌باشد که در شکل شماره (۳) به رنگ قرمز نشان داده شده است. یکی از دلایل احتمالی افزایش دما در این سال می‌تواند به- دلیل کاهش مساحت رودخانه نسبت به سال‌های دیگر این تحقیق باشد. به دلیل کاهش اثر خنک‌کنندگی رودخانه کارون به تناسب دما نیز افزایش یافته است. مقدار حداکثر دمای شهر اهواز در طی نه‌سال در نمودار ۲ نشان داده شده است (نمودار ۲). جدول ۳، محاسبات آماری دمای سطح زمین از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ در شهر اهواز را نشان می‌دهد.



نمودار ۲: مقادیر حداکثر دمای شهر اهواز در طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲

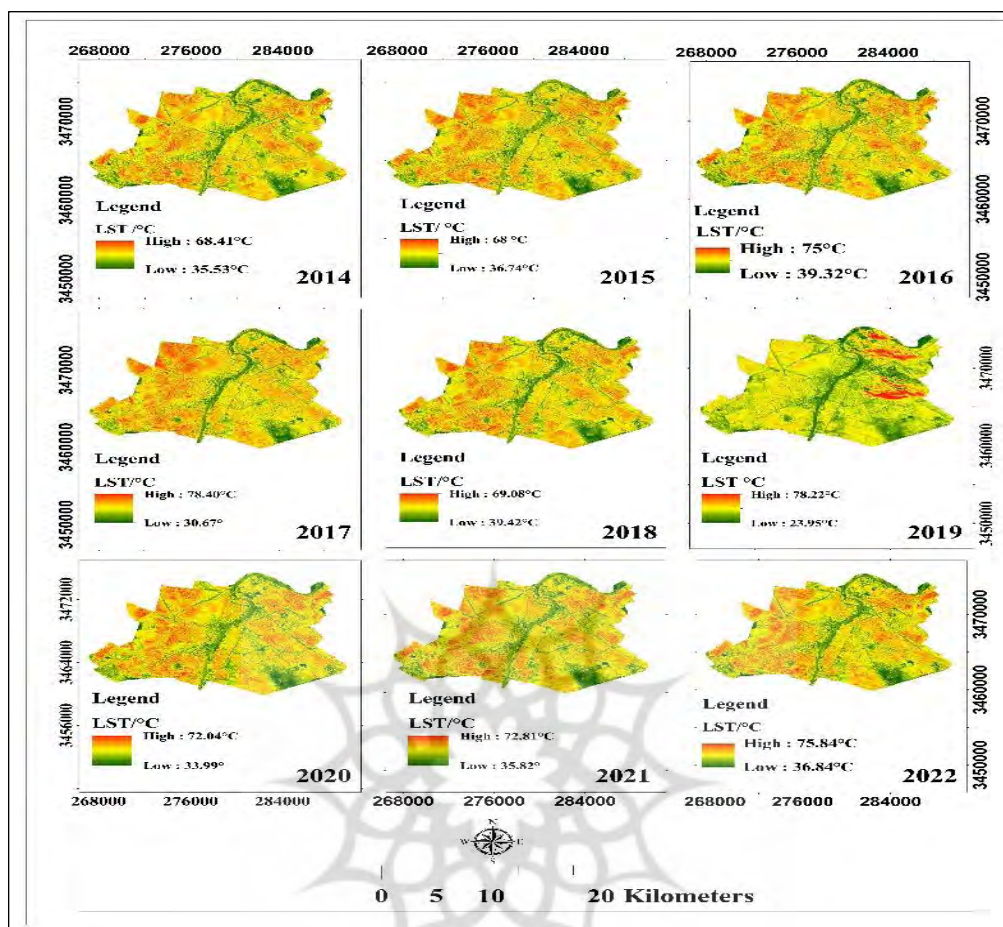
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

جدول ۳: محاسبات آماری دمای سطح زمین از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ در شهر اهواز

| سال  | حداقل | حداکثر | میانگین | انحراف معیار |
|------|-------|--------|---------|--------------|
| ۲۰۱۴ | ۳۵/۵۳ | ۶۸/۴۱  | ۵۲/۳۷   | ۱۲/۵         |
| ۲۰۱۵ | ۳۶/۴۱ | ۹۱/۰۳  | ۵۲/۹۱   | ۵/۰۱         |
| ۲۰۱۶ | ۳۹/۳۲ | ۷۵     | ۵۸/۵۱   | ۶/۲۲         |
| ۲۰۱۷ | ۳۰/۶۷ | ۷۸/۴   | ۵۱/۲۶   | ۵/۸۴         |
| ۲۰۱۸ | ۳۹/۴۲ | ۶۹/۰۸  | ۵۴/۶۹   | ۴/۷۹         |
| ۲۰۱۹ | ۲۳/۹۵ | ۷۸/۲۲  | ۵۱/۵۳   | ۸/۱          |
| ۲۰۲۰ | ۳۳/۹۹ | ۷۲/۰۴  | ۵۳/۳۵   | ۶/۱۹         |
| ۲۰۲۱ | ۳۵/۸۲ | ۷۲/۸۱  | ۵۵      | ۵/۸۰         |
| ۲۰۲۲ | ۳۶/۸۴ | ۷۵/۸۴  | ۵۷/۳۰   | ۶/۴۰         |

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲





شکل ۳: الگوهای دمای استخراج شده از تصاویر ماهواره لندست ۸ از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ در شهر اهواز  
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

## اعتبارسنجی

جهت بررسی دقت دمای محاسبه شده، از روش همبستگی پیرسون استفاده شده است. نتایج نشان داد که میزان همبستگی بین دمای هوای محاسبه شده با دمای ایستگاه زمینی در سطح ۵ درصد برابر با ۰/۷۲ می باشد (جدول ۴).

جدول ۴: همبستگی دمای هوای محاسبه شده با دمای ایستگاه زمینی

| همبستگی پیرسون      | دمای محاسبه شده | دمای سینوپتیک اهواز |
|---------------------|-----------------|---------------------|
| دمای محاسبه شده     | ۱               | ۰/۷۲*               |
| دمای سینوپتیک اهواز |                 | ۱                   |

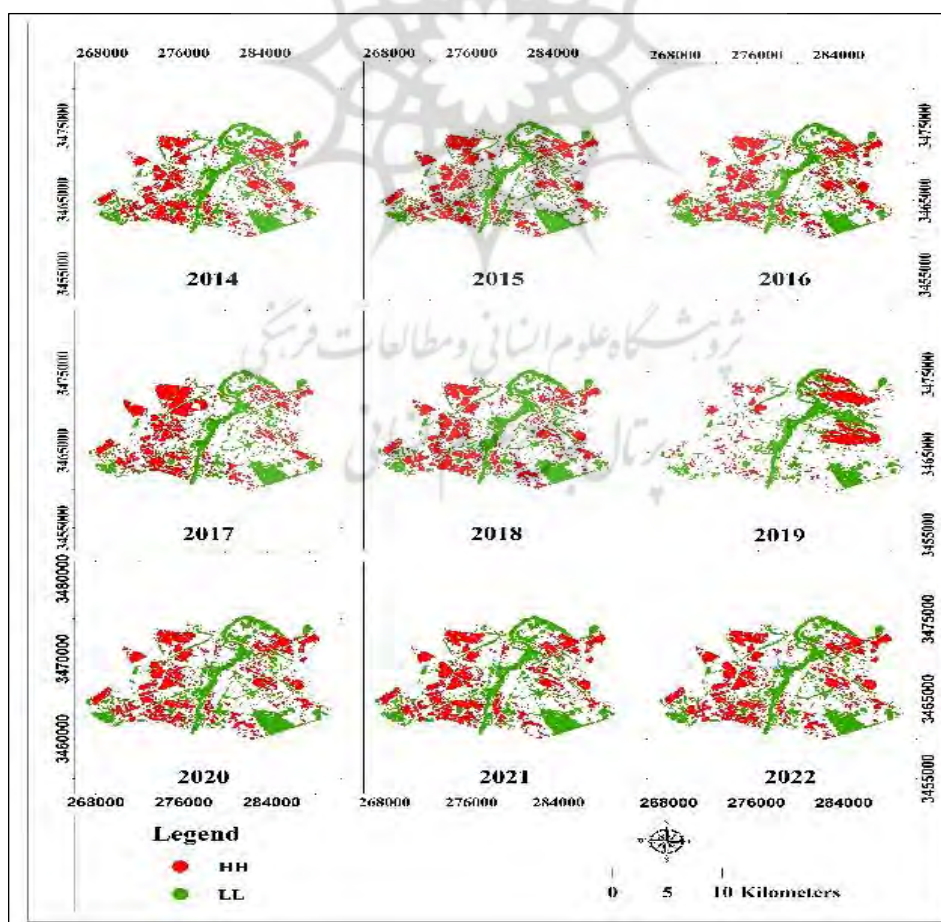
\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

## تحلیل فضایی دمای سطح شهر

در این تحقیق برای آشکارسازی الگوی فضایی دمای شهر اهواز و تفاوت های محلی از آماره خودهمبستگی فضایی موران محلی و جهانی استفاده شده است. به این منظور در محدوده مورد مطالعه ۴۰۰۰ نقطه به صورت تصادفی انتخاب، و اطلاعات از تصاویر LST محاسبه شده در نقاط انتخابی در محیط ArcGIS استخراج شد. نتایج

آزمون موران جهانی در بازه زمانی مورد مطالعه نشان داد تغییرات مکانی در یک متغیر مقادیر شاخص موران جهانی برای سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ بزرگتر از صفر است (میزان عدد شاخص موران بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۹ متغیر می‌باشد) که نشان‌دهنده احتمال وجود یک الگوی خوشه‌ای قوی یا همبستگی مثبت است. مقدار P-VALUE محاسبه شده کمتر از ۰/۰۵ است ( $p \leq 0.05$ ) بررسی مقادیر P-VALUE نیز این مورد را تأیید می‌نماید و فرض اساسی استقلال و تصادفی بودن مقادیر داده را رد می‌کند. این امر نشان‌دهنده یک خوشه‌بندی قوی در بازه زمانی مورد مطالعه می‌باشد. از آنجایی که امتیاز Z به دست آمده نیز بیشتر از ۲/۵۸ ( $z\text{-score} > 2.58$ ) است، کمتر از ۱٪ احتمال دارد که الگوی مشاهده شده نتیجه یک فرآیند تصادفی باشد. نتایج آزمون موران محلی نشان داده است که در بازه زمانی مورد مطالعه، سال ۲۰۲۱ بیشترین جزایر حرارتی و سال ۲۰۱۹ کمترین میزان جزایر حرارتی و حداقل دما در سطح شهر اهواز در بین سال‌های مورد مطالعه را داشته است. کم شدن جزایر حرارتی می‌تواند به افزایش سطح پوشش گیاهی و میزان آب رودخانه کارون نسبت داده شود که هر دوی آن‌ها اثر خنک‌کنندگی بر دمای اطراف شهر دارند. جزایر خنک بیشترین میزان را در سال ۲۰۲۱ و کمترین میزان را در سال ۲۰۱۷، در سطح شهر اهواز به خود اختصاص داده‌اند. در سال ۲۰۱۷ فضاهای سبز اطراف مناطق صنعتی گروه ملی و لشکر ۹۲ زرهی در شهر اهواز کاهش یافته است (جدول ۵).



شکل ۴: تحلیل فضای (آماره مورن محلی) در سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۴ در شهر اهواز

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

جدول ۵: نتایج تحلیل فضایی در دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۲ در شهر اهواز

| تاریخ<br>تصویربرداری | آماره موران عمومی |             |          |              | آماره موران محلی |      |
|----------------------|-------------------|-------------|----------|--------------|------------------|------|
|                      | شاخص موران        | Z-SCORE     | P-VALUE  | نوع پراکندگی | HH               | LL   |
| ۲۰۱۴                 | ۰/۶۷۰۱۷۷          | ۲۳۱/۳۶۳۶۷۶  | ۰/۰۰۰۰۰۰ | خوشه‌ای قوی  | ۹۳۶۳             | ۹۷۰۵ |
| ۲۰۱۵                 | ۰/۶۳۱۸۱۸          | ۲۱۸/۱۲۱۴۸۴  | ۰/۰۰۰۰۰۰ | خوشه‌ای قوی  | ۹۲۳۸             | ۹۴۶۴ |
| ۲۰۱۶                 | ۰/۶۶۶۴۲۳          | ۲۳۰/۰۶۷۴۲۳  | ۰/۰۰۰۰۰۰ | خوشه‌ای قوی  | ۹۴۶۸             | ۹۷۳۱ |
| ۲۰۱۷                 | ۰/۶۵۴۵۲۶          | ۲۲۵/۹۶۰۸۶   | ۰/۰۰۰۰۰۰ | خوشه‌ای قوی  | ۹۱۶۲             | ۸۹۳۱ |
| ۲۰۱۸                 | ۰/۶۷۰۴۸۳          | ۲۳۱/۴۶۹۱۲۸  | ۰/۰۰۰۰۰۰ | خوشه‌ای قوی  | ۹۴۶۴             | ۹۶۰۶ |
| ۲۰۱۹                 | ۰/۷۹۱۹۷۶          | ۲۷۳/۴۱۴۹۲۴  | ۰/۰۰۰۰۰۰ | خوشه‌ای قوی  | ۶۰۵۳             | ۹۳۷۸ |
| ۲۰۲۰                 | ۰/۶۶۰۲۶۵          | ۲۲۷/۵۰۵۲۶۲۵ | ۰/۰۰۰۰۰۰ | خوشه‌ای قوی  | ۹۵۸۱             | ۹۷۶۹ |
| ۲۰۲۱                 | ۰/۶۸۰۱۴۱          | ۲۳۴/۸۰۳۳۶۹  | ۰/۰۰۰۰۰۰ | خوشه‌ای قوی  | ۹۸۳۳             | ۹۹۶۲ |
| ۲۰۲۲                 | ۰/۶۶۲۸۷۲          | ۲۲۸/۸۴۱۵۷۳  | ۰/۰۰۰۰۰۰ | خوشه‌ای قوی  | ۹۶۵۶             | ۹۶۹۷ |

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

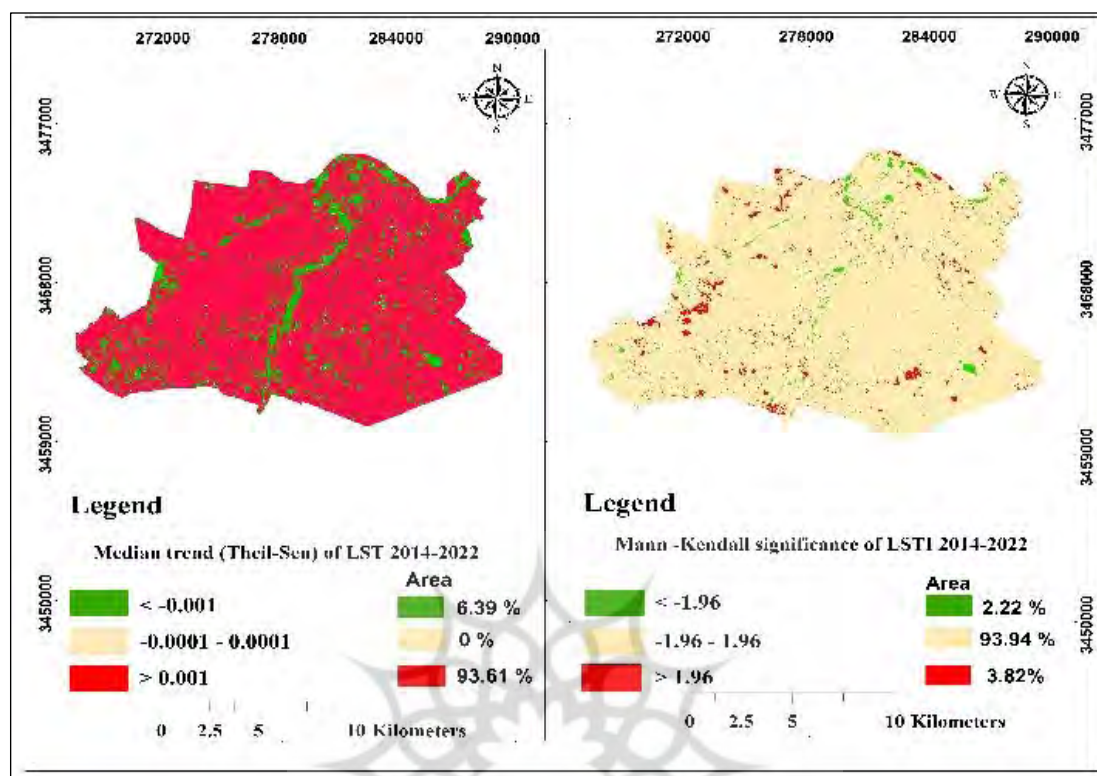
### روند «سن» و «من-کندال»

به منظور شناسایی و تعیین روند از آزمون ناپارامتری «من-کندال» و از روش تخمین گر «تیل-سن» برای برآورد میزان شیب روند استفاده شد. نتایج تحلیل روند با استفاده از دو آزمون فوق نشان داد که در بازه زمانی مورد مطالعه، دمای سطح شهر اهواز با وجود نوسانات زیاد، تغییرات معنی‌داری به لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد وجود دارد. براساس نتایج آزمون معنی‌داری «من-کندال» ۲/۲۲ درصد مساحت اهواز دارای روند افزایش دایم و ۳/۸۲ درصد دارای روند کاهش دایم می‌باشد، دیگر بخش‌ها فاقد روند معنی‌داری می‌باشند. نتایج تحلیل روند «تیل-سن» در بازه زمانی مورد مطالعه نشان داد که ۹۳/۶۱ درصد منطقه دارای روند افزایشی قابل توجه و ۶/۳۹ درصد دارای روند کاهشی قابل توجهی در دمای سطح زمین می‌باشند. همچنین ۹۳/۹۴ درصد از منطقه دارای روند پایدار می‌باشد (جدول ۶ و شکل ۵).

جدول ۶: نتایج روند «سن» و آزمون «من-کندال»

| من-کندال |          |                |                  | تیل سن |          |                    |                  |
|----------|----------|----------------|------------------|--------|----------|--------------------|------------------|
| درصد     | مساحت    | کلاس           |                  | درصد   | مساحت    | کلاس               |                  |
| ۲/۲۲     | ۳۳۱۹۳۵   | $\leq -1/96$   | کاهش قابل توجه   | ۶/۳۹   | ۹۵۲۷۸۵   | $\leq -0.001$      | کاهش قابل توجه   |
| ۹۳/۹۴    | ۱۴۰۰۹۸۸۰ | $-1/96 - 1/96$ | پایدار           | ۰      |          | $-0.0001 - 0.0001$ | پایدار           |
| ۳/۸۲     | ۵۷۰۳۰۰   | $\geq 1/96$    | افزایش قابل توجه | ۹۳/۶۱  | ۱۳۹۵۹۳۳۰ | $\geq 0.001$       | افزایش قابل توجه |

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲



شکل ۵: روند «تیل-سن» و آزمون «من-کندال»

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

### رگرسیون وزنی (GWR) و رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS)

به منظور شناسایی عوامل تأثیرگذار بر روند تغییرات دمای سطح زمین در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۲ از مدل‌های رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) و رگرسیون وزنی (GWR) استفاده گردید. در این تحقیق کاربری‌های شهری شامل: فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از فضای سبز، فاصله از رودخانه، فاصله از صنایع و فاصله از جاده به عنوان متغیر مستقل و روند تغییرات دمای سطح زمین به عنوان متغیر وابسته در مدل‌های رگرسیون، در نظر گرفته شده است. از مدل رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) برای بررسی چندخطی بودن بین متغیرها استفاده می‌شود. نتایج نشان داد که تمامی متغیرهای مستقل معنی‌دار بودند. به منظور اجتناب از چندخطی، عامل تورم واریانس<sup>۱</sup> (VIF) برای حذف متغیرهای بسیار همبسته این مدل مورد استفاده قرار گرفته است. به طور کلی،  $VIF < 7.5$  معمولاً برای تخمین چندخطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج به دست آمده همه متغیرهای مستقل ورودی دارای VIF کمتر از ۷/۵ هستند از نظر Probability نیز هر سه متغیر مستقل، معنی‌دار (ستاره‌دار) می‌باشند و پارامترهای مستقل مورد مطالعه به عنوان عوامل مؤثر بر دمای سطح زمین در شهر اهواز محسوب می‌شوند (جداول ۷ و ۸). مدل‌های رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) و مدل‌های خطی جهانی (OLS) باید به طور همزمان در نظر گرفته شوند. ضریب تعیین  $R^2$  و  $AICc^2$  (آکائیکه تصحیح‌شده) برای مقایسه مدل‌ها استفاده شد. ضریب تعیین  $R^2$ ، مقدار عددی این ضریب از صفر به یک تغییر می‌کند. مقدار بالاتر به این معنی است که استفاده از مستقل (متغیرها) نقش بیشتری در

1. Variance Inflation Factor  
2. Akaike Information Criterion



تخمین متغیر وابسته دارد. معیار اطلاعات AICc معیاری برای سنجش کارایی نسبی است و نشان می‌دهد که استفاده از یک مدل آماری تا چه اندازه باعث از بین رفتن اطلاعات می‌شود. به عبارت دیگر، این معیار بین دقت مدل و پیچیدگی آن تعادل برقرار می‌کند. براساس تحقیقات فودی (Foody, 2004: 5)، مقدار کم این معیار نشان می‌دهد که مقدار برآورد شده توسط مدل به مقدار مشاهده شده یا واقعیت زمینی نزدیک‌تر می‌باشد. اگر اختلاف AICc بین دو مدل کمتر از ۳ باشد (به عنوان حد آستانه)، می‌توان نتیجه گرفت که دو مدل تقریباً از وضعیت یکسانی برخوردارند (Fotheringham et al, 2002:16). ذکر این نکته ضروری است که هیچ روش استاندارد برای انتخاب حد آستانه AICc وجود ندارد. طبق نتایج ارائه شده در (جدول ۹)  $R^2$  از ۰/۱۰۹ به ۰/۳۵۷ افزایش یابد، میزان AICc از ۱۰۲۵۳۳/۶۲۲۸۵۱ به ۱۰۱۳۱۳/۵۹۱۴۵۷ به ترتیب در OLS و GWR کاهش یافته است. بنا به دلایل ذکر شده GWR قدرت توضیحی قابل توجهی برای ارتباط بین LST و کاربری شهری دارد و دقت پیش‌بینی LST بالاتری را در مقایسه با OLS ارائه می‌دهد.

جدول ۷: پارامترهای آماری متغیرهای مستقل

| Variable              | Mean   | Max     | Min | Sd      |
|-----------------------|--------|---------|-----|---------|
| فاصله از مناطق مسکونی | ۳۱۳/۴۱ | ۳۲۱۸/۸۵ | ۰   | ۴۶۲/۲۷۵ |
| فاصله از فضای سبز     | ۴۵۹/۴۶ | ۳۸۲۵    | ۰   | ۵۸۴/۲۰۸ |
| فاصله از رودخانه      |        | ۱۰۳۴۷/۷ | ۰   | ۲۳۸۱/۸۹ |
| فاصله از صنایع        | ۶۳۸/۴۸ | ۳۳۳۶/۱۱ | ۰   | ۶۳۸/۴۸  |
| فاصله از جاده         | ۹۷/۷۳  | ۱۱۹۷/۱۸ | ۰   | ۱۵۵/۹۸  |

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

جدول ۸: بررسی تأثیرگذاری و معنی‌دار بودن پارامترهای متغیرهای مستقل

| Variable  | Dominant factors      | Coefficient | Std Error | t-Statistic | Probability | VIF  |
|-----------|-----------------------|-------------|-----------|-------------|-------------|------|
| Intercept | Constant term         | -۱۴۹۸۵۴/۱۲  |           | -۵۶/۴۵      | *./۰۰۰۰۰۰   |      |
| X1        | فاصله از مناطق مسکونی | -۴۰/۲۶      | ۴/۴۲      | -۹/۰۹       | *./۰۰۰۰۰۰   | ۲/۵۷ |
| X2        | فاصله از فضای سبز     | ۵۷/۸۱       | ۳/۲۱      | ۱۷/۹۵       | *./۰۰۰۰۰۰   | ۲/۱۷ |
| X3        | فاصله از رودخانه      | ۳/۸۷        | ۰/۵۶      | ۶/۸۱        | *./۰۰۰۰۰۰   | ۱/۱۳ |
| X4        | فاصله از صنایع        | ۷/۴۸        | ۲/۲۷      | ۳/۲۸        | *./۰۰۱۶۲۸   | ۱/۳۰ |
| X5        | فاصله از جاده         | -۲۵/۷۲      | ۱۰/۴۳     | -۲/۴۶       | *./۰۱۶۹۸۲   | ۱/۶۳ |

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

جدول ۹: مقایسه مقادیر رگرسیون حداقل مربعات و رگرسیون وزنی

| Model parameters | AICc          | R2    | Adjusted R2 |
|------------------|---------------|-------|-------------|
| OLS              | ۱۰۲۵۳۳/۶۲۲۸۵۱ | ۰/۱۰۹ | ۰/۱۰۸       |
| GWR              | ۱۰۱۳۱۳/۵۹۱۴۵۷ | ۰/۳۵۷ | ۰/۳۴۶       |

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲



## نتیجه‌گیری

امروزه جهان در حال تجربه یک جریان بی‌سابقه شهرنشینی است. ویژگی‌های کاربری و پوشش زمین در شهر اهواز به دلیل روند صنعتی‌شدن، رشد جمعیت و شهرنشینی مداوم، تغییرات زیادی را تجربه کرده است. این تغییرات را می‌توان مستقیماً به اعمال انسان نسبت داد. میانگین دمای سطح زمین از  $33/92$  درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۴ به  $36/86$  درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته است که منجر به افزایش جزایر گرمایی شده است. در تمام مقیاس‌های فضایی، خودهمبستگی فضایی مشخصه اکثر پارامترهای اکولوژیکی است. خوشه‌بندی فضایی «LST» در یک اکوسیستم می‌تواند نقش مهمی در تعیین پویایی کاربری و پوشش زمین داشته باشد. نتایج شاخص موران نشان‌داد که سطح قابل توجهی از خودهمبستگی فضایی در مقادیر «LST» و الگوی خوشه‌ای بسیار قوی در تمام سال‌ها وجود دارد. تابش خورشیدی با ویژگی‌های کاربری و پوشش زمین، واکنش نشان می‌دهد و با الگوهای خوشه‌ای یک همبستگی فضایی مثبت ایجاد می‌کند. از خودهمبستگی فضایی «LST» در یک اکوسیستم می‌توان برای ارزیابی پویایی کاربری و پوشش زمین استفاده کرد (Kumari et al, 2019:1). نتایج شاخص موران I در این تحقیق نشان‌داد که مقادیر «LST» در مناطق ساخته‌شده بسیار خوشه‌ای می‌باشد و درجه بالایی از همبستگی فضایی مثبت را نشان می‌دهد و این نتیجه با نتایج مطالعات کومار و همکاران مطابقت دارد. مطالعه‌ای دیگر که زندی و همکاران در سال ۱۴۰۱ انجام دادند نیز نشان‌داد که مناطق دارای پوشش گیاهی و پهنه‌های آبی، اثر جزایر گرمایی را تضعیف می‌نماید و کاربری‌های مناطق ساخته‌شده، اثر جزایر گرمایی را بهبود می‌بخشد.

بررسی روند تغییرات دمای سطح زمین با استفاده از تحلیل «تیل-سن» در بازه زمانی مورد مطالعه نشان‌داد که  $93/61$  درصد منطقه دارای روند افزایشی قابل توجه،  $6/39$  درصد دارای روند کاهشی قابل توجه در دمای سطح زمین و فاقد روند پایدار در دمای سطح شهر اهواز می‌باشند که علت این میزان افزایش دما در طول زمان را می‌توان ناشی از شهرنشینی و سایر فعالیت‌های ناشی از انسان دانست. براساس نتایج آزمون معنی‌داری «من-کندال»  $2/22$  درصد مساحت شهر اهواز دارای روند افزایش دایم و  $3/82$  درصد دارای روند کاهش دایم است و بخش قابل توجهی از مساحت شهر اهواز فاقد روند معنی‌داری می‌باشد. به‌منظور شناسایی عوامل تأثیرگذار بر روند تغییرات دما، از روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی «OLS» استفاده گردید. با توجه به مقادیر «VIF» و «Probability»، تمامی متغیرهای مستقل (فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از فضای سبز، فاصله از رودخانه، فاصله از صنایع و فاصله از جاده) معنی‌دار بودند. این امر نشان‌دهنده این است که «LST» احتمالاً تحت تأثیر نوع کاربری زمین است. نزدیکی به ساختمان‌های مسکونی و جاده‌ها با «LST» رابطه هم‌افزایی مثبت و با فاصله از پوشش گیاهی و پهنه آبی، همبستگی معکوس دارد.

نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش محمودزاده و همکاران (۱۳۹۸) است. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بین شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین رابطه وجود دارد و مشخص شد که مناطق شهری دارای بالاترین درجه حرارت، دارای کمترین فضای سبز هستند و در مناطقی که کمترین دما را دارند بیشترین فضای سبز وجود دارد، هماهنگ است. مطالعات خسروی و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان‌داد که دما با تغییر کاربری زمین تغییر می‌کند. همچنین نتایج این تحقیق با مطالعه هاشمی‌دره‌بادامی و همکاران (۱۳۹۴) همخوانی دارد. آن‌ها توسعه جزیره حرارتی و ارتباط آن با کاربری اراضی شهر رشت را با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. مطالعه معروف‌نژاد (۱۳۹۰) در زمینه تأثیر کاربری اراضی بر تشکیل جزایر گرمایی نیز نشان‌داد که کاربری صنعتی، بیشترین دما و کاربری فضای سبز کمترین دما را دارند که با نتایج این تحقیق

همخوانی دارد. نتایج رگرسیون وزنی «GWR» و رگرسیون حداقل مربعات معمولی «OLS» نشان داد که میزان  $R^2$  اصلاح شده در روش «GWR» به ترتیب برابر با ۰/۳۵۷ و ۰/۳۴۶ نسبت به روش «OLS» دارای دقت بالاتری می باشد و همچنین میزان AICc (۵۹۱۴۵۷/۱۰۱۳۱۳) از روش رگرسیون حداقل مربعات کمتر می باشد، این امر نشان دهنده عملکرد بهتر رگرسیون وزنی نسبت به رگرسیون حداقل مربعات است. نتایج این مقایسه با مطالعه بحری و همکاران (۱۳۹۸)، در تخمین میزان دمای سطح دریای عمان «SST» مطابقت دارد. نتایج تحلیل روند «تیل-سن» در بازه زمانی مورد مطالعه نشان داد ۹۳/۹۴ درصد از منطقه دارای روند پایدار می باشد و همچنین میزان  $R^2$  اصلاح شده در نتایج رگرسیون کمتر از ۰/۵ بوده، نتایج تحلیل فضایی که توزیع فضایی جزایر سرد و گرم را مورد بررسی قرار داده است، همگی بیانگر این است که در بازه زمانی مورد مطالعه تغییرات کاربری در مناطق کمی رخ داده است. این کاربری ها شامل تغییرات پهنه های آبی کاربری فضای سبز و جایگزینی مناطق شهری با فضای سبز می باشند. با توجه به نتایج این پژوهش برای کاهش اثرات دمای سطح زمین در سطح شهر اهواز پیشنهاد می شود که در مناطق بایر و اطراف رودخانه کارون، پوشش گیاهی سازگار با منطقه کشت گردد. همچنین فضاهای سبز بیشتری در داخل شهر و باغات و پارک های جنگلی در اطراف شهر احداث شود و صنایع نفتی که تولید آلودگی و دمای زیادی می کنند به خارج از شهر انتقال داده شوند. از طرفی شهر باید به گونه ای رشد نماید که کمترین تأثیر را بر وسعت پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی اطراف داشته باشد.

## منابع

بحری، علی؛ یونس خسروی؛ آزاده توکلی (۱۳۹۸). مقایسه عملکرد روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی و روش حداقل مربعات برای مدل سازی روابط فضایی دمای سطح دریای عمان، مهندسی فناوری اطلاعات مکانی. دوره ۷. شماره ۳. صفحات ۱۵۹-۱۷۲.

<http://jgit.kntu.ac.ir/article-۱-۷۴۷-fa.html>

خسروی، یونس؛ محمدعلی حیدری؛ آزاده توکلی؛ عباسعلی زمانی (۱۳۹۶). تحلیل تغییرات تغییرات زمانی سطح زمین و الگوی فضایی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهر زنجان)، برنامه ریزی وایش آمیز فضا (مدرس علوم انسانی). دوره ۲۱. شماره ۳. صفحات ۱۴۴-۱۱۹.

<https://ensani.ir/file/download/article/۱۹۶-۹۵۶۴-۲۰۱۸۰۴۰۷۱۴۱۷۳۱.pdf>

رنگزن، کاظم؛ سعید ملکی؛ ایوب تقی زاده؛ پیمان حیدریان (۱۳۹۲). مدل سازی توسعه فضایی شهری با استفاده از تکنولوژی سامانه های اطلاعات جغرافیایی و رگرسیون وزن دار مکانی (GWR): نمونه موردی کلان شهر تهران، پایان نامه ارشد سنجش از دور GIS. دانشکده علوم زمین.

سعیدی، سمانه؛ مهدی منتظرالحجه؛ مجتبی شریف نژاد (۱۳۹۸). تحلیلی بر میزان همبستگی عوامل کمی درجه محصوریت با اختلاف دمایی در گذرهای تاریخی؛ پژوهش موردی شهر میبد، فصلنامه علمی پژوهش های بوم شناسی شهری. دوره ۲. شماره ۴۳. صفحات ۴۴-۴.

<https://doi.org/10.30473/grup.2021.48156.2416>

زند، رحمان؛ محمد سلمانی مقدم؛ زهره روکی (۱۴۰۱). ارزیابی میزان خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین با کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهر اصفهان)، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. دوره ۳۴. شماره ۱. صفحات ۷۶-۶۱.

<https://doi.org/10.22108/GEP.2022.132524.1488>

زند، رحمان؛ زینب ظاهری عبدهوند؛ صدیقه امامی (۱۴۰۳). سنجش دمای سطح زمین و ارتباط آن با شاخص‌های طیفی (مطالعه موردی: استان خوزستان)، نشریه جغرافیا و توسعه. دوره ۲۲. شماره ۷۶. صفحات ۶۴-۳۳.

<https://doi.org/10.22111/gdij.2024.46176.3554>

معروف‌نژاد، عباس (۱۳۹۰). تاثیر کاربری های شهری در ایجاد جزایر حرارتی تاثیر کاربری های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر اهواز)، آمایش محیط. دوره ۴. شماره ۱۴. صفحات ۹۰-۶۵.

<https://sid.ir/paper/130725/fa>

محمودزاده، حسن؛ سلطانه‌نم نصیری؛ ترکان قاسمی (۱۳۹۸). جزایر حرارتی، پنجمین کنفرانس بین المللی مهندسی محیط زیست و منابع طبیعی. ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۸. تهران

<https://civilica.com/doc/934024/>

مصطفی‌زاده، رئوف؛ وحیده مرادزاده؛ نازیلا علائی؛ زینب حزبای (۱۴۰۰). کاربرد شاخص هرست در تعیین حافظه طولانی مدت سری‌های زمانی بارش و دبی ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل، حفاظت منابع آب و خاک. دوره ۱۱. شماره ۲. صفحات ۱۳۱-۱۱۳.

<https://sid.ir/paper/416028/fa>

هاشمی‌دره‌بادامی، سیروس؛ ایثار نورایی‌صفت؛ سعید کریمی؛ سجاد نظری (۱۳۹۴). تحلیل روند توسعه جزیره حرارتی شهری در رابطه با تغییر کاربری اراضی/پوشش با استفاده از سری زمانی تصاویر لندست، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. دوره ۶. شماره ۳. صفحات ۲۸-۱۵.

<https://sid.ir/paper/189596/fa>

## References

- Anselin, L (2013). *Spatial Econometrics: Methods and Models*; Springer Science & Business Media: Berlin, Germany.
- Bala , Ruchi., Prasad, Rajendra.,& Pratap Yadav, Vijay (2022). A comparative analysis of day and night land surface temperature in two semi-arid cities using satellite images sampled in different seasons, *Adv. Space Res.* 66(2) (2022) 412e.425.
- <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2020.04.009>.
- Bala, Ruchi., Prasad, Rajendra., Yadav, Vijay Pratap (2021). Quantification of urban heat intensity with land use/land cover changes using Landsat satellite data over urban landscapes, *Theor. Appl. Climatol.* 145 (2021) 1e.12.
- <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-243576/v1>
- Emami, Sedighe & emami, Esmail (2018). Investigation of Urban Biophysical Compounds in the Formation of Thermal Islands Using RS and GIS (Case Study: Yazd 2018). *Journal of Radar and Optic Remote Sensing*” (JRORS), 2018. Vol 1(Issue 1.2).15-35.
- [https://jrors.yazd.iau.ir/article\\_542418.html](https://jrors.yazd.iau.ir/article_542418.html).
- Fotheringham, A.S, Brunsdon., C. and Charlton., M (2002). *Geographically Weighted Regression: the analysis of spatially varying relationships*, Chichester: Wiley.
- <https://www.researchgate.net/publication/27246972>
- Footy, G.M (2004). Spatial non stationarity and scale dependency in the relationship between species richness and environmental determinants for the sub-Saharan endemic avifauna. *Global Ecology and Biogeography*, 13:315-320.
- <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2004.00097.x>
- Jiang, Peikun.,Fu, Weijun. J., Zhou, Guomo., and Zhao, Keli (2014). Using Moran's I and GIS to study the spatial pattern of forest litter carbon density in a subtropical region of southeastern China, *Biogeosciences*, 11, 2401-2409.
- <https://doi.org/10.5194/bg-11-2401-2014>

- Jung, H.-S.; Park, S.-W (2014). Multi-Sensor Fusion of Landsat 8 Thermal Infrared (TIR) and Panchromatic (PAN) Images. *Sensors*. 2014, 14, 24425-24440.  
<https://doi.org/10.3390/s141224425>
- Gupta, Neha., Mathew, Aneesh., & Khandelwal, Sumit (2020). Spatio-temporal impact assessment of land use/land cover (LU-LC) change on land surface temperatures over Jaipur city in India, *Int. J. Urban Sustain. Dev.* 12(3) (2020) 283 e.299.  
<http://dx.doi.org/10.1080/19463138.2020.1727908>.
- Ibrahim , Siti Halipah., Ibrahim , Nurul Izzati Ahmat., Wahid, Julaihi., Goh, Nurakmal Abdullah., Koesmeri , Dona Rose Amer., & Nawi , Mohd Nasrun Mohd (2018). The impact of road pavement on urban heat island (UHI) phenomenon, *Civ. Eng.* 9.2018(8).  
<https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i8.2755>.
- Ren, Jiayi., Yang, Jun., Zhang ,Yuqing., Xiao, Xiangming., Xia Jianhong Cecilia., Li, Xueming., Wang, Shaohua (2022). Exploring thermal comfort of urban buildings based on local climate zones, *J. Clean. Prod.* 340 (2022) ,130744.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130744>.
- Kumari, Maya ., Sarma, Kiranmay ., & Sharma, Richa (2019). Using Moran's I and GIS to study the spatial pattern of land surface temperature in relation to land use/cover around a thermal power plant in Singrauli district, Madhya Pradesh, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15, 100239.  
[doi:10.1016/j.rsase.2019.100239](https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100239)
- Levermore, GJ., & Cheung, HKW (2012). A low-order canyon model to estimate the influence of canyon shape on the maximum urban heat island effect, *Build. Serv. Eng. Technol.* 33 (4) (2012) 371e 385.  
<http://dx.doi.org/10.1177/0143624411417899>.
- Li, Shuangcheng ., Zhao, Zhiqiang ., Miaomiao, Xie ., & Wang, Yanglin (2010). Investigating spatial non-stationary and scale-dependent relationships between urban surface temperature and environmental factors using geographically weighted regression. *Environ. Model. Softw.* 2010, 25, 1789–1800.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.06.011>.
- Liu, Xue., Ming, Yujia., Liu, Yong., Yue, Wenze and Han, Guifeng (2022). Influences of landform and urban form factors on urban heat island: comparative case study between Chengdu and Chongqing, *Sci. Total Environ.* 820 (2022), 153395.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153395>
- Lillesand, Thomas., Kiefer, Ralph W., & Chipman, Jonathan (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
- Mann, Henry. B (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica* 1945,13,245. [CrossRef] 40.  
<http://dx.doi.org/10.2307/1907187>.
- Diksha, Kumari, & Kumari, Rina (2023). Spatiotemporal Characterization of Land Surface Temperature in Relation Landuse/Cover: a Spatial Autocorrelation Approach, *Journal of Landscape Ecology* (2023), Vol: 16 / No. 1.  
<https://doi.org/10.2478/jlecol-2023-0001>.
- Nakata-Osaki, Camila Mayumi ., Souza, Léa Cristina Lucas ., & Rodrigues, Daniel Souto (2018). THIS-Tool for Heat Island Simulation: a GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry, *Comput. Environ. Urban Syst.* 67(2018)157 e.168.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.09.007>.
- Peng, Jian., Jia, Jinglei., Liu, Yanxu., Li, Huilei., & Wu, Jiansheng (2018). Seasonal contrast of the dominant factors for spatial distribution of land surface temperature in urban areas, *Remote Sens. Environ.* 215(2018), 255-267.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.010>.
- Santamouris, Mattheos., Ding, Lan., & Osmond, Paul (2018). Urban heat island mitigation, in: *Decarbonising the Built Environment*, Palgrave Macmillan, Singapore, 2018, 337 e.335.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-13-7940-6\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7940-6_18)

- Santamouris, M (2015). Regulating the damaged thermostat of cities status, impacts and mitigation challenges, *Energy Build.* 91 (2015) 43e.56.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.027>.
- Sharma, Richa., Pradhan, Lolita., Kumari, Maya and Bhattacharya, Prodyut (2021). Bhattacharya, Assessing urban heat islands and thermal comfort in Noida City using geospatial technology, *Urban Clim.* (2021), 100751.  
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100751>
- Simmons, Mark T., Gardiner, Brian., Windhager, Steve., Tinsley, Jeannine (2008). Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate, *Urban Ecosyst.* 11(4) (2008) 339e.348.  
<https://doi.org/10.1007/s11252-008-0069-4>
- Siqi, PanelJia., Yuhong, Wang., Ling, Chen., Xiaowen, Bi (2023). A novel approach to estimating urban land surface temperature by the combination of geographically weighted regression and deep neural network models, *Urban Climate*, Volume 47, January 2023, 101390.  
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101390>
- Sen, P.K (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of American Statistical Association*, 63 (324), 1379–1389.  
[doi:10.1080/01621459.1968.10480934](https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934).
- Sen, Pranab Kumar (1968). Asymptotically efficient tests by the method of n rankings. *J. Roy. Statist. Soc. Ser. B.* 30 .  
<https://www.jstor.org/stable/2240259>.
- Tran, Duy X., Pla ,Filiberto., Pedro, Latorre-Carmona., Myint ,Soe W., Mario Caetano, Kieu., Kieu, Hoan V (2017). Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 124, February 2017, 119-132.  
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.001>
- Voogt, J.A. and Oke, T.R (2003). Thermal Remote Sensing of Urban Climates. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370-384.  
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8).
- Yao, Rui., Wang, Lunche., Huang, Xin., Zhang, Wenwen., Li, Junli., & Niu, Zigeng (2018). Interannual variations in surface urban heat island intensity and associated drivers in China, *J. Environ. Manag.* 222 (2018) 86e.94.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.024>
- Yin, Shusheng., Liu, Jiatong., & Han, Zenglin (2022). Relationship between urban morphology and land surface temperature-a case study of Nanjing City, *PLoS One* 17 (2) (2022), e0260205.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260205>.
- Yuan, Fei., & Bauer, Marvin E (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* 2007, 106, 375-386.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.003>
- Zhao, Chunhong, Jennifer Jensen, Qihao Weng, and Russell Weaver (2018). "A Geographically Weighted Regression Analysis of the Underlying Factors Related to the Surface Urban Heat Island Phenomenon" *Remote Sensing* 10, No. 9: 1428.  
<https://doi.org/10.3390/rs10091428>.