University of Sistan and Baluchestan

Geography and Development

Print ISSN: 1735 - 0735 Online ISSN: 2676-7791

Homepage: https://gdij.usb.ac.ir

Evaluation of Earth Surface Temperature and its Relationship with Spectral Indices Case study: Khuzestan province

Rahman Zandi[1]✉, Zeynab Zaheri Abdevand[2], Sedighe Emami[3]

1. Associate Professor of Remote Sensing and GIS, Isfahan University, Isfahan, Iran
   ✉ E-mail: r.zandi@geo.ui.ac.ir
2. Ph. D Student of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran
   E-mail: zaheri.gis@gmail.com
3. Ph. D Student of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran
   E-mail: s.emami061@gmail.com

How to Cite: Zandi, R; Zaheri Abdevand, Z; & Emami, S. (2024). Evaluation of Earth Surface Temperature and its Relationship with Spectral Indices (Case study: Khuzestan province). *Geography and Development*, 22 (76), 33-64.

DOI: http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2024.46176.3554

Received:
17 July 2023
Received in revised form:
9 January 2024
Accepted:
27 February 2024
Published online:
24 August 2024

Keywords:
Earth surface temperature,
Vegetation cover index,
Built-up area index,
Barren land index.

ABSTRACT

In order to achieve this goal, the OLI sensor images of Landsat-8 satellite were used in July 2022. After calculating the land surface temperature (LST) using the split window method, three indices of vegetation cover, the index of built-up areas or impervious surfaces and the index of barren lands were calculated and using Pearson's correlation at the confidence level of 0.01 were investigated with the temperature of the earth's surface, the results of the correlation of temperature with the mentioned indices showed that the barren areas index (NDBaI) has a positive correlation with the temperature of the earth's surface and its R2 value is equal to 0.488. The built-up area index (NDBI) has a negative correlation with the temperature of the earth's surface, and its R2 value is equal to -0.642, and the vegetation cover index has a non-linear positive correlation with the temperature of the earth's surface, the non-linear reason The existence of vegetation cover is scattered and limited in different parts of Khuzestan province. The significance and effectiveness of the three mentioned indicators were investigated using the least square regression method. The results of the investigation of heat islands in Khuzestan province using the local Moran index showed that the heat islands are concentrated outside the urban area and in barren areas, and the temperature of urban areas is lower than the areas outside the city. And cool islands are concentrated on water areas and vegetation and have a much smaller area than thermal islands in Khuzestan province.

© the Author(s). **Publisher:** University of Sistan and Baluchestan

1. Introduction

With the development of urbanization, large areas of agricultural areas have been replaced by residential and industrial areas and other infrastructures, which are known as the centers of human production, life and the achievement of civilization (Sharma et al, 2016). As the artificial landscape replaces the natural landscape, changing the constituent materials of the earth's surface causes a series of changes in surface reflection, heat retention and heat transfer, or in other words, significant effects on the local climate. (Zhang et al, 2012). Land surface temperature (LST) is an essential parameter in the analysis of geochemical biological functions of land surface features (Hao et al, 2016), vegetation, wetlands and water areas produce low temperatures, while built-up areas and barren areas produce high temperatures (Chen et al, 2006). Therefore, ground surface temperature and studies related to normalized difference spectral indices are very important in the ecological planning of urban and provincial densities (Guha et al, 2020). The main goal of this research is to use remote sensing

technology to retrieve the earth's surface temperature and investigate the relationship between three spectral indices NDBI (built-up areas), NDVI (vegetation cover) and NDBaI (barren areas) with the earth's surface temperature (LST) and study The relationship between temperature patterns and these three indicators is at the level of Khuzestan province. Investigating the spatial autocorrelation of heat islands can be a good solution for providing an optimal model for environmental planning.

2. Methods and Material

Two types of data have been used in this research, remote sensing data and meteorological station data, the remote sensing data used in this research is related to Landsat- ۸satellite images, and the meteorological data is related to It is to the synoptic stations of Khuzestan province. In order to increase the spatial accuracy of the thermal infrared band, the Gram-Schmidt algorithm has been used in this research. Split-window algorithm was used to calculate the land surface temperature (LST). In order to check the accuracy of the prepared map, the air temperature recorded in the weather station has been used, for this purpose, the ground surface temperature map was first converted to air temperature so that it can be compared with the temperature recorded in the weather station. Statistical criteria including root mean square error (RMSE), mean absolute value of error (MAE) and mean skewness of error (MEB) were used to evaluate the surface temperature map (Xu & Ehlers, 2017). To show the spatial distribution of the pattern governing the thermal islands of Khuzestan province and its clustering, Moran's local index of spatial correlation has been used. Three normalized difference indices of vegetation cover (NDVI), built-up areas (NDBI) and barren land (NDBaI) were calculated and using Pearson's correlation at the confidence level of 0,01, their relationship with the earth's surface temperature was investigated. In order to analyze the relationship between land surface temperature (LST) and the three mentioned indicators, multivariable regression, ordinary least square (OLS) has been used.

3. Results and Discussion

The Normalized Vegetation Index (NDVI) has a non-linear positive correlation with the temperature of the earth's surface, the reason for the non-linearity of the vegetation is its dispersion and limitation in different parts of Khuzestan province. The low temperature of the earth's surface coincides with the maximum and minimum values of the NDVI index. Positive values close to zero in NDVI have the highest temperature. The results of the temperature correlation with the mentioned indices showed that the barren areas index (NDBaI) has a positive correlation with the surface temperature of the earth. Accordingly, the surface temperature of the Earth is directly related to the NDBaI. Thus, the higher values of the NDBaI index are related to the barren land, which has the highest temperature. The built-up area index (NDBI) has a negative correlation with the temperature of the earth's surface. Built-up areas show an inverse and relatively strong relationship with the temperature of the earth's surface. Thus, the highest values of NDBI index are related to the built-up areas that have the lowest temperature. All three spectral indices have a significant and effective relationship with changes in the temperature of the earth's surface. And they are considered to be effective on the temperature changes of Khuzestan province. The results of the local Moran index showed that the built lands in Khuzestan province were placed in the class without any special correlation. Due to the small area in Khuzestan province, they do not have a cluster pattern. One of the main reasons for the low temperature of urban impervious surfaces is the higher heat capacity of concrete and impervious urban surfaces compared to soil and barren lands (Ezimand et al, 2019). Thermal islands are concentrated outside the urban area and in barren areas, and the temperature in urban areas is lower than in the areas outside the city, one of the main reasons for this is the lack of vegetation outside the city and the large extent of barren areas. which is characteristic of hot and dry regions. Cool islands are concentrated on water areas and vegetation and have a much smaller area than thermal islands in Khuzestan province.

4. Conclusion

The temperature range pattern of Khuzestan province in July 2022 shows that the minimum temperature is 25 degrees Celsius and the maximum temperature is 82.73 degrees Celsius. The general Moran's index with a rate of (0.98) and a pvalue of zero and a positive and large Z-SCORE (175.55) indicates a strong cluster pattern in

the surface temperature of Khuzestan province. Hot thermal islands correspond to high temperature areas, which mostly include barren lands and sandy areas in Khuzestan province, and cold thermal islands correspond to water areas and areas with vegetation in the province.

The correlation between barren lands and the temperature of the earth's surface is positive and the amount of R2 = 0.488, the correlation between the built-up areas and the temperature of the earth's surface is negative and relatively high (R2=-0.642). The correlation between land surface temperature and NDVI is very low, R2=0.225, and the reason for this is the low temperature of vegetation, the concentration of vegetation in certain parts of Khuzestan province, and the concentration of low temperatures in addition to vegetation. Water surfaces are like rivers, where the NDVI values are less than zero and negative. According to the results obtained from multivariable regression, the ordinary least squares (OLS) of all three studied indicators are considered as effective factors on the surface temperature of the earth in Khuzestan province. The results of this research showed that a large part of high temperatures occurred in barren lands without vegetation. Therefore, areas with high temperature, including barren areas, can be used in agriculture, natural resources, and the environment of Khuzestan province. Vegetation helps to prevent the increase in the temperature of the earth's surface.

Keywords: Earth surface temperature, Vegetation cover index, Built-up area index, Barren land index.

5. References

Asghari Saraskanroud, Sayad, Hadi Emami (2018). Earth surface temperature monitoring and investigation of land use relationship with a case study: Ardabil city, ETM and OLI + surface temperature publication using sensor images, applied research of geographical sciences, 215-159. (in Persian)
https://sid.ir/paper/102206/fa

Azimand, K., H. agate d. Ashurlo and A. Shahi Aghbalaghi (2019). Analyzing the effects of the physical and morphological characteristics of the constructed lands on the changes in the surface temperature of the land in semi-arid regions. Environmental Science Quarterly. Volume 18, No. 2, 1-18. (in Persian)
https://envs.sbu.ac.ir/article_98133.html

Alexander C (2020). Normalised difference spectral indices and urban land cover as indicators of land surface temperature (LST). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 86, 102013.
https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.102013

Aliabadi, K. and A. Dadashi-roudbari (2019). Investigation of changes in spatial autocorrelation patterns of Iran's maximum temperature. Geographical Studies of Arid Areas, 6 (21): 86-104. (In Persian).
http://journals.hsu.ac.ir jarhs article-1-718-en

Alibakhshi Z, Ahmadi M& Farajzadeh ASL M (2020). Modeling Biophysical Variables and Land Surface Temperature Using the GWR Model: Case Study-Tehran and Its Satellite Cities. Journal of Indian Society of Remote Sensing,48, 59-70.

Adegoke, C. and A. Sojobi (2015). "Climate change impact on infrastructure in Osogbo metropolis, south-west Nigeria." Journal of Emerging Trends in Engineering and AppliedSciences.167-156, (3) 6.
https://doi.org/10.22059/jne.2018.253756.1491

Akbari, H., Menon, S and Rosenfeld, A (2007). Global cooling: effect of urban albedo on global temperature algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. Int J Remote Sens.17. 2114-2089, (11).
https://heatisland.lbl.gov/publications/global-cooling-effect-urban-albedo

Alhawiti ،RH, Mitsova (2016). using Landsat-8 data to investigate the correlation between urban heat island and urban land uses. International Journal of Research in Engineering and Technology, 5,457-466.
https://doi.org/10.15623/ijret.2016.050 .

Azhdari, A., Soltani, A. and Alidadi, M (2018). Urban morphology and landscape structure effect on land surface temperature: evidence from Shiraz, a semi-arid city. Sustainable Cities and Society. 41, 853-864.
https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.06.034

Balew A, Korme T (2020). Monitoring land surfacetemperature in Bahir Dar city and its surrounding using Landsat images. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science.
https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.02.001.

Bari, E, Nipa. N.J & Roy B (2021). Association of vegetation indices with atmospheric & biological factors using MODIS time series products, Environ. Challeng., 5 (2021), 100376.
https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100376

Chen, X.L. Zhao, H.M. Li, P.X. & Yin, Z.Y (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes, Remote Sensing of Environment.146-133,104.
http://dx.doi.org/10.13005/bbra/3111
Darvishi, Shadman; Karim Soleimani, Mustafa Rashidpour (2018). The effect of vegetation indices and urban characteristics on changes in ground surface temperature, a case study (Sanandaj city). Remote Sensing and Geographical Information System in Natural Resources (10th year, first issue). (in Persian)
https://www.sid.ir/paper/189453/fa
Deilami K. Kamruzzaman M (2017). Modelling the urban heat island effect of smart growth policy scenarios in Brisbane, Land Use Pol., 64 (2017), 38-55.
Deng, C. & Wu, C (2013). Examining the Impacts of Urban Biophysical Compositions on Surface Urban Heat Island: A Spectral Unmixing and Thermal Mixing Approach. Remote Sensing of Environment, 131, 262-274.
https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.020.
Emami& emami (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), 2018.04.13. Environment, Vol.127, 210-222.
https://jrors.yazd.iau.ir/article_542418
Enteziri, Alireza, Zandi, Rahman, Khosrovian, Maryam (2018). Evaluation of spatial changes of vegetation and surface temperature using Landsat and MADIS images, case study: Fars province 1986-2017. Watershed engineering and management. Volume 11, Number 4. 940-929. (in Persian)
https://jwem.areeo.ac.ir/article_120254.html
Ezimand, K., Kakroodi, A. A and Kiavarz, M (2019). The development of spectral indices for detecting builtup from LANDSAT TM:5.Remote Sensing of Environment.90.440-434,(4).
https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1488282
Feyisa G.L. Meilby H, Darrel G. Jenerette, S (2016). Pauliet, locally optimized separability enhancement indices for urban land cover mapping: exploring thermal environmental consequences of rapid urbanization in Addis Ababa, Ethiopia, Remote Sens. Environ, 175, 14-31.
Gohain, K.J. P. Mohammad & Goswami A (2021). Assessing the impact of land use land cover changes on land surface temperature over Pune city, India, Quat. Int., 575-576 (2021), 259-269.
https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.052.
Guanglei H. Hongyan Z, Yeqiao W, Zhihe Q, Zhengxiang Z (2010). Retrieval and spatial distribution of land surface temperature in the middle part of jilin province based on MODIS data, Sci. Geogr. Sin., 30 (3) (2010), 421-427. Accessed: Aug. 16, 2021.
https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10668
Guha, S. Govil. H (2021). An assessment on the relationship between land surface temperature and normalized difference vegetation index Environ. Dev. Sustain., 23 (2) (2021), 1944-1963.
https://doi.org/10.1007/s10668-020-00657-6
Guha S. Govil H, Dey A Gill N (2017). Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy, Eur. J. Remote Sens., 51 (1) (2018), 667-678.
https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494
Guha S. Govil H, Mukherjee S (2017). Dynamic analysis and ecological evaluation of urban heat islands in Raipur city, India, J. Appl. Remote Sens., 11 (3) (2017), 1.
https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.036020
Guo G, Wu Z, Xiao R, Chen Y, Liu X& Zhang X (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. Landscape and Urban Planning, 135, 1-10.
https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.007
Hashemi Dere Badami, Siros; Ali Darvishi Balorani; Kazem Alavipanah; Mohammad Maleki; Reza Bayat (2018). Analysis of heat island changes of urban surfaces during the day and night using Madis multi-time sensor products. (in Persian)
https://www.sid.ir/paper/102377/fa
Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E., & Bounoua, L (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. Remote sensing of environment,114(3): 504-513.
https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.008.

Imran, ESE (2012). Detection of land use and surface temperature change in different resolutions. Geographic Information System Journal, 4,189-203.
https://doi.10.4236/jgis.2012.43024.
Jain S, Sannigrahi S, Sen S, Bhatt S, Chakraborti S& Rahmat S (2020). Urban heat island intensity and its mitigation strategies in the fast-growing urban area. Journal of Urban Management, 9(1), 54-66.
https://doi.org/10.1016/j.jum.2019.09.004.
Jiménez-Muñoz JC, Sobrino JA (2008). Split-window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared sensors. IEEE Geosci Remote Sens Lett 5: 806-809.
https://doi.org/10.1109/LGRS.2008.2001636.
Lazzarini, M., Marpu, P.R. and Ghedira, H (2013). Temperature-land cover interactions: the inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. Remote Sensing of Environment. 130, 136-152.
https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.11.007
Lee PS-H, Park J (2020). An Effect of Urban Forest on Urban Thermal Environment in Seoul, South Korea, Based on Landsat Imagery Analysis.Forests, 11(6): 630.
https://doi.org/10.3390/f11060630.
Lei Wang, Yao Lu and Yunlong Yao (2019). Comparison of Three Algorithms for the Retrieval of Land Surface Temperature from Landsat 8 Images, 19 November 2019.
https://doi.org/10.3390/s19225049.
Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J (2015). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons.
ISBN: 978-1-118-34328-9.
Nie Q. Man W, Li Z, Y (2016). Huang, Spatiotemporal impact of urban impervious surface on land surface temperature in Shanghai, China,Can. J. Rem. Sens., 42 (6) (2016), 680-689.
https://doi.org/10.1080/07038992.2016.1217484
Pearsall H (2017). Staying cool in the compact city: vacant land and urban heating in Philadelphia, Pennsylvania,Appl. Geogr., 79 (2017), 84-92.
https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.010
Police station, Khalil (2012). Data processing and analysis in socio-economic research, Tehran, Farhang Saba Publications, fifth edition. (in Persian)
https://www.gisoom.com/book/11157179
Rasul, A., Balzter, H., Smith, C., Remedios, J., Adamu, B., Sobrino, J., Srivanit, M. and Weng, Q (2017). A reviewon remote sensing of urban heat and cool islands. Land. 6, 1-10.
https://doi.org/10.3390/land6020038
Rodriguez Lopez J.M, Heider K, Scheffran J (2017). Frontiers of urbanization: identifying and explaining urbanization hot spots in the south of Mexico City using human and remote sensing,Appl. Geogr., 79 (2017), 1-10.
https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.001
Rangzan, Kazem; Saeed Maleki, Ayub Taghizadeh; Peyman Heydarian (2012). Urban spatial development modeling using geographic information systems technology and spatially weighted regression (GWR): a case study of Tehran metropolis, GIS remote sensing master's thesis, Faculty of Earth Sciences. (in Persian)
https://elmnet.ir/doc/10651141-42011
Rongali G, Keshari AK, Gosain AK, Khosa R (2018). A mono-window algorithm for land surface temperature estimation from Landsat 8, thermal infrared sensor data: a case study of the Beas River Basin, India. Pertanika J Sci Technol 26: 829-840.
https://www.researchgate.net/publication/324982810.
Rongali, Gopinadh & Keshari, Ashok K. & Gosain, Ashwani K. & Rakesh Khosa (2018). Split-Window Algorithm for Retrieval of Land SurfaceTemperature Using Landsat 8 Thermal Infrared Data, Journal of Geovisualization and Spatial Analysis (2018). 2: 14.
https://doi.org/10.1007/s41651-018-0021.
Roy B. Bari E., N.J. Nipa, S.A (2021).Ani, Comparison of temporal changes in urban settlements and land surface temperature in Rangpur and Gazipur Sadar, Bangladesh after the establishment of city corporation, Remote Sens. Appl. Soc. Environ., 23 (2021), 100587.
https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100587

Sharma, A. Conry, P. Fernando, H. Hamlet, A.F. Hellmann, J. & Chen, F (2016). Green and cool roofs to mitigate urban heat island effects in the Chicago metropolitan area: Evaluation with a regional climate model. Environmental Research Letters ,(6)11064004(6).
https://doi 10.1088/1748-9326/11/6/064004
Sobrino JA, El Kharraz J, Li ZL (2003). Surface temperature and water vapor retrieval from MOODIS data. Int J Remote Sens 24:5161–5182.
https://doi.org/10.1080/0143116031000102502
Sobrino JA, Li Z, Stoll MP, Becker F (1996). Multi-channel and multiangle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. Int J Remote Sens 17:2089–2114.
https://doi.org/10.1080/01431169608948760
Sobrino JA, Romaguera M (2008). Land surface temperature retrieval from MSG1-SEVIRI data. Remote Sens Environ 92:247–254.
https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.06.009
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.
Wan Mohd Jaafar WS, Abdul Maulud KN, Muhmad Kamarulzaman AM, Raihan A, Md Sah S, Ahmad A, Saad SNM, Mohd Azmi AT, Jusoh Syukri NKA, Razzaq Khan W (2020). The Influence of Deforestation on Land Surface Temperature-A Case Study of Perak and Kedah, Malaysia. Forests, 11(6): 670.
https://doi.org/10.3390/f11060670.
Weng, Q., Liu, H. and Lu, D (2007). Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using landscape metrics in city of Indianapolis, United States. Urban Ecosystems. 10, 203-219.
https://doi.org 10.1007/s11252-007-0020-0.
Weng, Q., Lu, D.& Schubring, J (2006). Estimation of Land Surface Temperature Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies, Remote Sensing of Environment, 89(4), 467-483.
https://doi.org10.1016/j.rse.2003.11.005.
Xu, S., Ehlers, M (2017). Hyperspectral image sharpening based on Ehlers fusion.International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W7: 941-947.
https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W7-941-2017.
Xu, H., Yunhao, C., Shangming, D., & Wenxia, Q (2011). Dynamical Monitoring and Evaluation Methods to Urban Heat Island Effects Based on RS & GIS. Procedia Environmental Sciences.Volume 10, 1228-1237.
https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.197.
Zareie S, Khosravi H, Nasiri A, Dastorani M (2016). Using Landsat Thematic Mapper (TM) sensor to detect change in land surface temperature in relation to land use change in Yazd, Iran. Solid Earth, 7(6): 1551.:
https://doi.org/10.5194/se-7-1551-2016.
Zhang, C., Luo, L., Xu, W., & Ledwith, V (2008). Use of local Moran's I and GIS toidentify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland. Science of theTotal Environment, 398(1), 212-221
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.03.011.
Zhang, Y. Yiyun, C. Qing, D. & Jiang, P (2012). Study on Urban Heat Island Effect Based on Normalized Difference Vegetated Index: A Case Study of Wuhan City, the 18th Biennial Conference of International Society for Ecological Modeling, Procedia Environmental Sciences 13.
https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.048
Zandi, Rahman, Salmani Moghadam, Mohammad, & Roki, Zohra (2023). Measuring the degree of spatial autocorrelation of land surface temperature with land use, study sample: Isfahan city. Geography and Environmental Planning, 34(1), 61-76. (in Persian)
https://gep.ui.ac.ir/article_26770.html

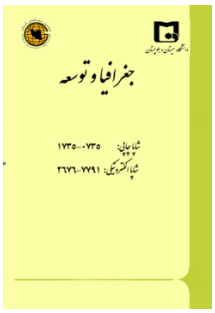
جغرافیا و توسعه
شاپا چاپی: ۰۷۳۵-۱۷۳۵ شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۱-۲۶۷۶
https://gdij.usb.ac.ir

سنجش دمای سطح زمین و ارتباط آن با شاخص‌های طیفی
مطالعهٔ موردی: استان خوزستان

دکتر رحمان زندی[1*]، زینب ظاهری‌عبده‌وند[2]، صدیقه امامی[3]

مقالهٔ پژوهشی

جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۷۶، پاییز ۱۴۰۳
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۶
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۲/۱۰/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸
صفحات: ۶۴-۳۳



واژه‌های کلیدی:
دمای سطح زمین، شاخص پوشش گیاهی، شاخص مناطق ساخته، شاخص زمین‌های بایر.

چکیده

دمای سطح زمین، تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به‌مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلندگی سطح، رطوبت و جریان هوای اتمسفر بستگی دارد. در این تحقیق دمای سطح زمین (LST)، در استان خوزستان با استفاده از الگوریتم پنجره‌تقسیم محاسبه گردید. همچنین به‌منظور شناخت دقیق‌تر رفتار دمای سطح زمین در منطقهٔ مورد نظر، از روش کدنویسی در سامانهٔ «گوگل ارث انجین» استفاده شده‌است. صحت‌سنجی نقشه‌دمای تهیه-شده نیز با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان صورت‌گرفت. هدف از این تحقیق، بررسی ارتباط سه شاخص طیفی NDVI، NDBI و NDBaI با دمای سطح زمین (LST) است و به‌منظور دستیابی به این هدف، از تصاویر سنجندهٔ OLI ماهوارهٔ لندست-۸ در تیرماه سال ۲۰۲۲ استفاده گردیده است. پس از محاسبهٔ دمای سطح زمین (LST) با استفاده از روش پنجره‌تقسیم، سه شاخص پوشش گیاهی، شاخص مناطق ساخته‌شده یا سطوح نفوذناپذیر و شاخص زمین‌های بایر محاسبه‌شد و با استفاده از همبستگی پیرسون در سطح اطمینان ۰/۰۱ درصد ارتباط آن‌ها با دمای سطح زمین مورد بررسی قرار گرفت، نتایج همبستگی دما با شاخص‌های ذکرشده نشان‌داد که شاخص مناطق بایر (NDBaI)، هم‌بستگی مثبتی با دمای سطح زمین دارد و میزان R2 آن معادل با ۰/۴۸۸ می‌باشد. شاخص مناطق ساخته‌شده (NDBI) از هم‌بستگی منفی با دمای سطح زمین برخوردار است و میزان R^2 آن معادل با ۰/۶۴۲- است و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) دارای هم‌بستگی مثبت غیر خطی با دمای سطح زمین می‌باشد، دلیل غیر خطی بودن پوشش گیاهی، پراکندگی و محدود بودن آن در بخش‌های مختلف سطح استان خوزستان است. همچنین معنی‌دار بودن و مؤثر بودن سه شاخص مذکور، با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات (OLS) بررسی شد. نتایج بررسی جزایر حرارتی در سطح استان خوزستان با استفاده از شاخص موران محلی نشان‌داد که جزایر حرارتی در خارج از محدودهٔ شهری و در مناطق بایر متمرکز شده‌اند و دمای مناطق شهری نسبت به مناطق بیرون از شهر پایین‌تر است. جزایر خنک نیز در پهنه‌های آبی و پوشش‌های گیاهی متمرکز شده و دارای مساحت خیلی-کمتری نسبت به جزایر حرارتی در سطح استان خوزستان می‌باشند.

مقدمه

جهان امروز جریان بی‌سابقه‌ای از صنعتی‌شدن و شهری‌شدن را تجربه می‌نماید. با توسعهٔ شهرنشینی، وسعت زیادی از مناطق کشاورزی جای خود را به مناطق مسکونی، صنعتی و دیگر زیرساخت‌هایی داده‌اند که به‌عنوان مراکز تولید انسانی، حیات و دستیابی به تمدن شناخته می‌شوند *(Sharm a et al, 2016:3)*.

دمای سطح زمین (LST)، یکی از مهم‌ترین جنبه‌های انرژی سطحی و تعادل آب در مقیاس محلی تا جهانی است و در هنگام تجزیه‌وتحلیل تبادل مواد تشکیل‌شده، تعادل انرژی و فرآیندهای بیوفیزیکی و شیمیایی سطح زمین به‌عنوان یک معیار کلیدی درنظر گرفته می‌شود *(Guha & Govil, 2021: 1944-1963)*. شرایط حرارتی شهرها و محیط اطراف آن‌ها، به‌شدّت تحت تأثیر توسعهٔ انسان‌محور و تبدیل کاربری زمین‌های مربوط به چشم‌انداز طبیعی به سطوح غیر قابل نفوذ است *(Bari et al, 2021: 100376)*. هم‌چنان‌که چشم‌انداز مصنوعی جایگزین چشم‌انداز طبیعی می‌شود، تغییر

۱. دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسئول) r.zandi@geo.ui.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران zaheri.gis@gmail.com
۳. دانشجوی دکتری گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران s.emami061@gmail.com

مواد تشکیل‌دهندۀ سطح زمین سبب یک‌سری از تغییرات بازتاب سطح، نگهداشت گرما و انتقال گرما می‌گردد (*Zhang et al, 2012:574*). با توجه به بازتاب سطح و زبری انواع مختلف LULC، LST، سطوح مختلف بسیار متفاوت است (*Guanglei et al, 2010: 421-427*). توزیع و تغییر پوشش‌گیاهی، زمین‌های‌بایر و سطوح نفوذناپذیر مناطق ساخته‌شده، نقش مهمی در اکوسیستم ایفا می‌کنند و معمولاً تأثیرات فیزیوگرافیکی و انسانی بر محیط اکولوژیکی دارند. توزیع LST تا حد زیادی تحت تأثیر حضور پوشش گیاهی طبیعی است (*Roy, 2021: 100582*). پوشش‌های گیاهی، تالاب‌ها و پهنه‌های آبی، دمای کم تولید می‌کنند (*Chen et al, 2006: 133-146*)، درحالی‌که افزایش دمای سطح زمین[1] (LST) به‌دلیل ایجاد سطوح غیر قابل نفوذ و وجود مناطق بایر رخ می‌دهد (*Gohain& Goswami, 2021:259-269*). بنابراین، دمای سطح زمین و مطالعات مربوط به شاخص‌های طیفی تفاوت نرمال‌شده، در برنامه‌ریزی اکولوژیکی تراکم‌های شهری و استانی اهمیت بسیار زیادی دارند (*Guha et al, 2021:7*).

تصاویر سنجش از دور برای نظارت و تشخیص تغییرات پوشش زمین استفاده می‌شود. برای مطالعۀ تغییرات LST در مناطق مختلف، اغلب از شاخص گیاهی تفاوت نرمال‌شده(NDVI)[2] استفاده می‌شود (*Deng, 2013:641*). محققان مختلف، هم‌بستگی خطی بین LST و سایر ویژگی‌های بیوفیزیک شهری را با استفاده از شاخص‌های طیفی برای مناطق تحقیقاتی متفاوت، از جمله آدیس آبابا (*Feyisa et al, 2016:14-31*)، بریزبن (*Deilami, 2017:38-55*)، فلورانس و ناپل (*Guha et al, 2017:667-678*). مکزیک (*Rodriguez Lopez et al, 2017:1-10*)، فیلادلفیا (*Pearsall, 2017: 84-92*)،رایپور (*Guha, 2017:1*) و شانگ‌های (*Nie et al, 2016: 680-689*) مورد مطالعه قرار داده‌اند.

تجزیه‌وتحلیل تغییرپذیری مکانی شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI)، درجۀ حرارت سطح زمین (LST) و رابطۀ بین این دو پارامتر، در مطالعات محیطی ضروری‌است. تغییر پوشش گیاهی، عامل اصلی ایجاد تغییرات دمای سطح است. تغییر در کاربری اراضی و پوشش زمین را می‌توان با استفاده از تجزیه‌وتحلیل پوشش گیاهی و روند سری زمانی شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده ارزیابی کرد. تغییرات کاربری اراضی، پوشش گیاهی و رطوبت خاک، تأثیر زیادی بر دمای سطح زمین دارند (*Zarei et al, 2016:1557*).

لی و پارک (۲۰۲۰)، در مطالعات خود با استفاده از داده‌های لندست-۸ به این نتیجه رسیده‌اند که مقدار شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI)، در نواحی با دمای سطح زمین (LST) پایین، بالاتر از مناطقی است که دمای سطح زمین (LST) بالا را تجربه می‌کنند. در تحقیقات دیگر بالو و کروما (۲۰۲۰)، به بررسی نوسانات دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر لندست-۸ پرداختند. نتایج حاکی از رابطۀ منفی معنی‌دار بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده بود. ون‌مد (۲۰۲۰)، در مطالعۀ خود به این نتیجه رسید که رابطه‌ای قوی بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده وجود دارد، به‌طوری که کاهش پوشش گیاهی به افزایش دمای سطح زمین منجر می‌شود. توسعۀ شهرها و به‌دنبال آن افزایش سطوح نفوذناپذیر علاوه بر افزایش دما، ساختار شهری را نیز تحت تأثیر خود قرار می‌دهد، چنان‌چه با افزایش اندازۀ شهر، دامنۀ گرمادهی آن افزایش پیدا می‌کند (*Imhof et al, 2010:504-513*).

نتایج پژوهش‌های مرتبط نشان می‌دهد که مناطق صنعتی، کاربری‌های خدماتی و حمل و نقل در شهرها گرم‌ترین و فضاهای سبز و نواحی مجاور رودخانه‌ها و پهنه‌های آبی، خنک‌ترین مناطق داخل شهر به‌شمار می‌روند (*اصغری‌سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۱*). نتایج تحقیقات، وجود ارتباط مستقیم و معنادار بین دمای سطح زمین و

1. Land SurfaceTemperature
2. Normalized Difference Vegetation Index

سطوح نفوذناپذیر را نشان می‌دهد *(دره بادامی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۳)*. شاخص زمین‌های بایر (NDBaI)[1] یکی از محبوب‌ترین شاخص‌ها برای استخراج زمین‌های بایر و فاقد پوشش گیاهی است که اغلب در مطالعات مربوط به LULC و LST استفاده می‌شود *(Guo et al, 2015:1-10)*. چندین مقالهٔ تحقیقاتی رابطهٔ LST-NDBaI را در سال‌های اخیر بررسی کرده‌اند. علی‌بخشی و همکاران (۲۰۲۰) رابطهٔ بین NDBaI و LST را از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ در تهران با استفاده از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی بررسی کردند. الکساندر (۲۰۲۰) رابطهٔ LST-NDBaI را در شهر آرهوس دانمارک با استفاده از داده‌های لندست-۸ ارزیابی کرد. جین و همکاران (۲۰۲۰)، رابطهٔ LST-NDBaI را در شهر ناگپور هند از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ با استفاده از داده‌های لندست-۸ بررسی نمودند. خودهم‌بستگی فضایی نیز ازجمله روش‌های آماری است که برای بررسی الگوی پراکنش فضایی دما در نواحی مختلف، مورد استفادهٔ بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته‌است *(Aliabadi & Dadashi, 2019: 86-104)*. توسعهٔ مناطق شهری موجب تغییر در چشم‌انداز، ساختمان‌ها، جاده‌ها و دیگر زیرساخت‌ها، جایگزینی زمین‌های باز و پوشش گیاهی شده است. تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی به شکل‌گیری جزایر حرارتی شهر منجر می‌شود *(Xu et al, 2011: 1228-1231)*. NDBI[2]، شاخص تفاضلی نرمال شده است که برای بارزسازی و تشخیص مناطق شهری و مسکونی استفاده می‌شود. از این شاخص می‌توان برای بررسی رشد و گسترش یک منطقهٔ مسکونی و یا به‌عبارت دیگر بررسی ساخت‌وسازهای انجام-شده در یک بازهٔ زمانی استفاده نمود. توسعهٔ شهری برنامه‌ریزی نشده در دراز مدت، اثرات منفی فراوانی بر پایداری فضای شهری و کیفیت زندگی در طیف وسیعی از مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای، ملی و حتی به‌طور بالقوه بین کشورها خواهد گذاشت. این اثرات شامل پیامدهای منفی اقتصادی مانند کاهش بهره‌وری بخش‌های کلیدی اقتصاد، اثرات محیطی مانند: کاهش کیفیت هوا، افزایش دمای سطح شهر و روان‌آب‌های سطحی، اثرات منفی اجتماعی مانند: افزایش مرگ‌ومیر، کاهش کیفیت زندگی، تکه‌تکه شدن و جدایی محله‌ها و جوامع مرتبط می‌شود. مجموعهٔ این اثرات منفی، زمینهٔ توجه جدی مدیران، برنامه‌ریزان شهری و همچنین سیاستمداران به بحث روند توسعهٔ شهری و درنتیجه کیفیت زندگی در فضای شهری را فراهم نموده است. در مناطق با آب‌وهوای معتدل، نواحی داخلی شهر همواره دمای بیشتری نسبت به نواحی خارج از شهر دارند. در مناطق با آب‌وهوای گرم و نیمه‌خشک شرایط متفاوت است به‌طوری که مراکز شهری دارای دمای کمتری نسبت به نواحی خارج از شهر هستند *(Azhdari et al, 2018: 27)* این پدیده در منابع علمی به‌عنوان جزایر سرد شهری تعریف می‌شود *(Lazzarini et al, 2013: 352)*. ازجمله دلایل اصلی وقوع این پدیده می‌توان به کم بودن پوشش گیاهی در خارج از مناطق شهری اشاره کرد که باعث افزایش بازتاب زمین‌های بایر و پوشش سطح خاک می‌شود *(Lazzarini et al, 2013: 412)*. افزایش پوشش‌های خاکی در نواحی شهری نیز موجب تشدید این پدیده می‌گردد *(Rasul et al, 2017: 59)*.

در این تحقیق، دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره‌تقسیم (SW-Algorithm) و داده‌های لندست-۸ در تیرماه سال ۲۰۲۲ (در بازهٔ زمانی 2022-6-21 تا 2022-6-30) استان خوزستان محاسبه شده و از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی برای صحت‌سنجی و ارزیابی دقت استفاده شده است. استان خوزستان از یک‌سو به‌عنوان قلب اقتصادی ایران و از سوی دیگر ازنظر توزیع جمعیت و میزان بالای محصولات کشاورزی، سبب شده تا به‌عنوان منطقهٔ مورد مطالعه در این پژوهش، مورد ارزیابی قرار گیرد. دورهٔ آماری بر اساس تصاویر ماهواره‌ای موجود و در دوره‌ای که بیشترین میزان سبزینگی گیاه وجود دارد، انتخاب گردیده و از روش‌های آماری متداول در پژوهش‌های دورسنجی و

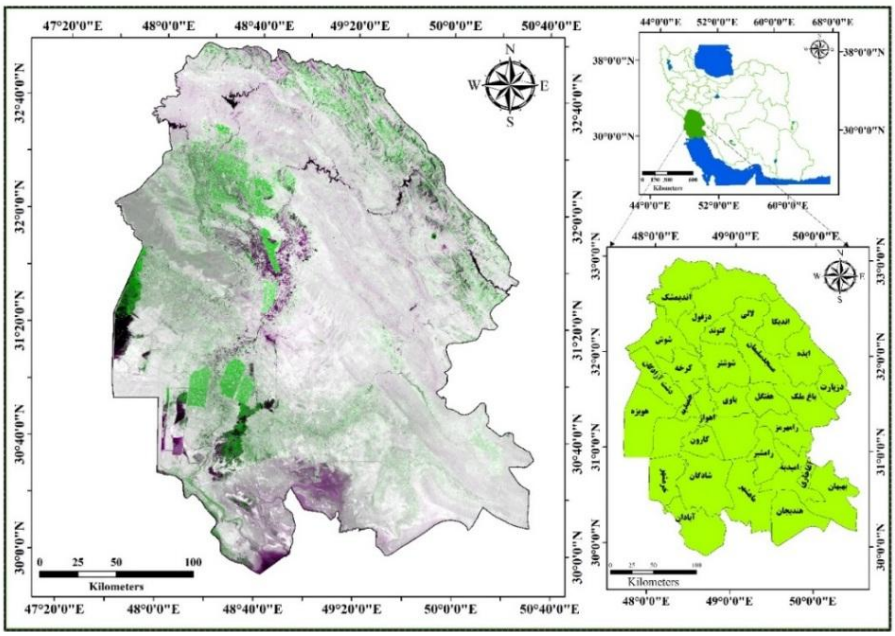
1. Normalized Difference Bareness Index
2. Normalized Difference Built-up Index

آماری استفاده گردیده است. هدف اصلی این پژوهش، به‌کارگیری فناوری سنجش از دور در بازیابی دمای سطح زمین و بررسی ارتباط سه شاخص طیفی NDBI (مناطق ساخته‌شده)، NDVI (پوشش گیاهی) و NDBaI (مناطق بایر) با دمای سطح زمین (LST) و همچنین مطالعهٔ ارتباط الگوهای دمایی با این سه شاخص، در سطح استان خوزستان می‌باشد. بررسی خودهم‌بستگی فضایی جزایر حرارتی می‌تواند راهکاری به‌هنجار برای الگویی بهینه جهت برنامه‌ریزی‌های محیطی ارائه‌دهد.

داده‌ها و روش تحقیق

- منطقهٔ مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحت کل ۶۴۰۵۷ کیلومتر مربع و جمعیت ۴۵۳۱۷۳۰ و با داشتن منابع سرشار آب و خاک همچنین دارا بودن ۲/۲ میلیون هکتار اراضی مستعد و جریان پنج رودخانهٔ بزرگ به‌همراه چندین رودخانهٔ کوچک و با برخورداری از حجم جریان بیش از ۳۱ میلیارد متر مکعب در سال به‌عنوان یک قطب کشاورزی و صنعتی محسوب می‌شود. این استان، بین ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و صفر دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ در جنوب غربی ایران قرار دارد. این استان از شمال با استان لرستان، از شمال شرقی و شرق با استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهکیلویه و بویراحمد، از جنوب شرقی با استان بوشهر، از جنوب با خلیج‌فارس و از مغرب با کشور عراق هم‌مرز است. شمال و شمال شرق استان خوزستان را سلسله جبال زاگرس فراگرفته است که با حرکت به سمت جنوب غربی از ارتفاع آن کاسته شده و تا نواحی جنوبی‌تر به‌صورت تپّه‌ماهوری نمایان می‌گردد. اقلیم در استان خوزستان گرم و خشک است و متوسط بارش سالانه در این استان در حدود ۳۴۴ میلیمتر می‌باشد. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی استان خوزستان را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان خوزستان

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

روش‌ها

در این تحقیق از دو نوع داده استفاده شده است داده‌های سنجش از دور و داده‌های ایستگاه هواشناسی، داده‌های سنجش از دور مورد استفاده در این تحقیق، مربوط به تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ است و داده‌های هواشناسی، مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک استان خوزستان می‌باشد. با توجه به وسعت بسیار بالای استان خوزستان (پوشش موزائیک شده از ۸ تصویر لندست-۸) و به‌دلیل قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزۀ تصاویر لندست -۸، امکان دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای هم‌زمان وجود ندارد. تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸، به‌صورت رایگان و تصحیح هندسی‌شده از سایت USGS (https://earthexplorer.usgs.gov/) دانلود شد و تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریک بر روی باندهای تصویر در محیط نرم‌افزار انوی اعمال گردید (جدول ۱). جهت بررسی دقیق‌تر رفتار دمای سطح زمین از تمامی داده‌های لندست در بازۀ زمانی ده سال اخیر با استفاده از روش کد نویسی در سامانۀ گوگل ارتث انجین، برای چهار شهر: دزفول در شمال، اهواز در مرکز، آبادان در جنوب و ایذه در شرق منطقۀ مورد مطالعه استفاده گردید. از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های زمینی در استان خوزستان به‌منظور صحت‌سنجی نقشه‌دمای محاسبه‌شده استفاده گردید. با توجه به استفاده از ۸ فرم تصویر ماهواره‌ای با فاصلۀ زمانی چندروزه، دمای ایستگاه‌های هواشناسی واقع در هر فرم تصویر ماهواره‌ای، هم‌زمان با اخذ تصویر موررد استفاده قرار گرفت (جدول ۲). فلوچارت مراحل تحقیق در شکل۲ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای سنجندۀ OLI لندست-۸

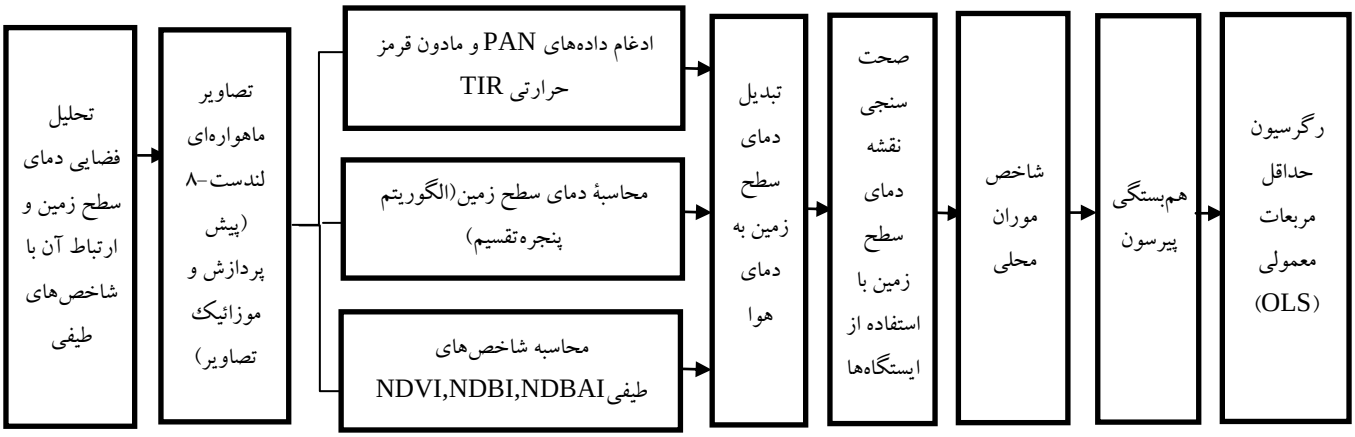
شماره	تاریخ	Path	Row
۱	۲۰۲۲/۶/۲۱	۱۶۴	۳۸
۲	۲۰۲۲/۶/۲۱	۱۶۴	۳۹
۳	۲۰۲۲/۶/۲۸	۱۶۵	۳۷
۴	۲۰۲۲/۶/۲۸	۱۶۵	۳۸
۵	۲۰۲۲/۶/۲۸	۱۶۵	۳۹
۶	۲۰۲۲/۶/۳۰	۱۶۶	۳۷
۷	۲۰۲۲/۶/۳۰	۱۶۶	۳۸
۸	۲۰۲۲/۶/۳۰	۱۶۶	۳۹

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

جدول۲: داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی

ردیف	نام ایستگاه	Path	Row	تاریخ تصویر	دمای ایستگاه
۱	بستان	۳۸	۱۶۶	۲۰۲۲/۶/۳۰	۳۹/۳
۲	اهواز	۳۸	۱۶۵	۲۰۲۲/۶/۲۸	۳۹/۳
۳	حسینیه	۳۷	۱۶۶	۲۰۲۲/۶/۳۰	۳۶/۲
۴	صفی آباد دزفول	۳۸	۱۶۵	۲۰۲۲/۶/۲۸	۳۸/۴
۵	شوش	۳۸	۱۶۶	۲۰۲۲/۶/۳۰	۳۸/۳
۶	شوشتر	۳۸	۱۶۵	۲۰۲۲/۶/۲۸	۳۸/۶
۷	گتوند	۳۸	۱۶۶	۲۰۲۲/۶/۳۰	۳۸/۴۸
۸	لالی	۳۷	۱۶۵	۲۰۲۲/۶/۲۸	۳۶/۷
۹	مسجدسلیمان	۳۸	۱۶۵	۲۰۲۲/۶/۲۸	۳۸/۸
۱۰	رامهرمز	۳۸	۱۶۵	۲۰۲۲/۶/۲۸	۳۸/۶
۱۱	بهبهان	۳۹	۱۶۴	۲۰۲۲/۶/۲۱	۴۰/۳
۱۲	دهدز	۳۸	۱۶۴	۲۰۲۲/۶/۲۱	۳۶/۱
۱۳	ایذه	۳۸	۱۶۴	۲۰۲۲/۶/۲۱	۳۷/۹
۱۴	ماهشهر	۳۹	۱۶۵	۲۰۲۲/۶/۲۸	۴۱/۸
۱۵	امیدیه	۳۹	۱۶۴	۲۰۲۲/۶/۲۱	۴۱
۱۶	شادگان	۳۹	۱۶۵	۲۰۲۲/۶/۲۸	۴۰/۳
۱۷	آغاجاری	۳۹	۱۶۴	۲۰۲۲/۶/۲۱	۳۹/۶
۱۸	آبادان	۳۹	۱۶۵	۲۰۲۲/۶/۲۸	۳۸/۸
۱۹	هندیجان	۳۹	۱۶۴	۲۰۲۲/۶/۲۱	۴۰/۳

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲



شکل۲: فلوچارت تحقیق

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

-ادغام داده‌های PAN و تصاویر مادون قرمز حرارتی (TIR)

ادغام داده‌ها به‌عنوان ترکیبی از داده‌های چندین حسگر تعریف می‌شود، به‌طوری که اطلاعات حاصل، بهتر از زمانی است که حسگرها به‌صورت جداگانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌منظور افزایش دقت مکانی باند مادون قرمز حرارتی، در این تحقیق از الگوریتم Gram-Schmidt استفاده شده است. الگوریتم Gram-Schmidt با هدف بارزسازی جزئیات مکانی تصاویر چندطیفی با استفاده از تصویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا توسعه یافته است. در این تبدیل به‌واسطهٔ میانگین‌گیری باندهای تصویر چندطیفی، تصویر پانکروماتیک بازسازی شده تولید می‌گردد. در ادامه، الگوریتم Gram-Schmidt بر باندهای تصویر چندطیفی و تصویر پانکروماتیک بازسازی شده اعمال می‌گردد. باند پانکروماتیک اصلی جایگزین اولین باند Gram-Schmidt شده و از طریق اعمال تبدیل معکوس Gram-Schmidt تصویر تلفیق‌شده در فضای اصلی تولید می‌گردد *(Lillesand et al, 2015:501-517)*. تصویر پانکروماتیک در لندست-۸ از قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر و دو باند مادون قرمز حرارتی از قدرت تفکیک حدود ۱۰۰ متر برخوردار است؛ بنابراین، ادغام تصاویر لندست باند پانکروماتیک و حرارتی برای بهبود تشخیص اشیا تصاویر باندهای حرارتی و افزودن اطلاعات حرارتی اشیا به باند پانکروماتیک در مطالعات شهری ضروری می‌باشد *(Lillesand et al, 2015: 501-517)*. در این تحقیق فرآیند تلفیق در دو مرحله انجام گرفته است: در مرحلهٔ اول باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک با استفاده از الگوریتم Gram-Schmidt با باند پانکروماتیک تلفیق شده و جهت محاسبهٔ شاخص نرمال‌شده پوشش-گیاهی (NDVI) مورد استفاده قرار گرفته است. در مرحلهٔ دوم باندهای مادون قرمز حرارتی۱۰و۱۱ (در محدودهٔ ۱۰/۶۰و۱۲/۵۱) میکرومتر با باند پانکروماتیک جهت محاسبه LST تلفیق شده است.

-الگوریتم Split-Window برای محاسبهٔ دمای سطح زمین (LST)

SW- Algorithm از پنجره‌اتمسفر در محدودهٔ طول موج ۱۰ میکرومتر تا ۱۲ میکرومتر برای باندهای (TIRS۱۰ و ۱۱) استفاده می‌کند. مبنای الگوریتم SW- Algorithm تضعیف تشعشع برای جذب اتمسفر است که متناسب با اختلاف تابش اندازه‌گیری‌های هم‌زمان در دو طول موج مختلف است و هر یک از آن‌ها در معرض مقادیر متفاوتی از جذب اتمسفر هستند. رابطهٔ ۱، برای محاسبهٔ دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر لندست-۸ مورد استفاده قرار می‌گیرد *(Rongali et al, 2018,125)*.

رابطهٔ۱:

$$LST = \mathrm{TB}_{10} + C_1(\mathrm{TB}_{10} - \mathrm{TB}_{11}) + C_2(\mathrm{TB}_{10} - \mathrm{TB}_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4 W)(1 - m) + +(C_5 + C_6 W)\Delta m$$

در رابطهٔ ۱، LST دمای سطح زمین بر حسب کلوین (K)، C0 تا C6 مقادیر ضریب SW، TB10 و TB11 دمای روشنایی باندهای ۱۰ و ۱۱ بر حسب کلوین (K)، m میانگین LSE باندهای TIRS، W محتوای بخار آب اتمسفر است، و Δm تفاوت در LSE است. مقادیر ضرایب SW در جدول ۳ آورده شده است *(Sobrino et al, 2003: 5161-5182)*.

جدول ۳: ضرایب متغیر الگوریتم پنجره مجزا

مقدار ثابت	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
مقدار متغیر	-/۲۶۸	۱/۳۷۸	۰/۱۸۳	۵۴/۳	۲/۲۳۸	۱۲۹/۲	۱۶/۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

مراحل انجام کار جهت محاسبهٔ LST را می‌توان براساس تحقیقات *(Sobrino et al, 1996: 2089–2114; Sobrino,2008: 247–254; Jimenez-munoz, 2008:806-809)*. به شرح ذیل بیان نمود:

مرحلهٔ ۱: محاسبهٔ رادیانس

در واقع این تصویر انعکاس حرارتی پدیده‌ها را به‌صورت یک جسم سیاه نمایان می‌کند. جهت استخراج دمای سطح زمین، ابتدا باید دمای مؤثر ماهواره و یا دمای جسم سیاه محاسبه شود و سپس با روش ذکرشده می‌توان دمای سطح زمین را محاسبه کرد. برای محاسبهٔ دمای مؤثر ماهواره: ابتدا اعداد دیجیتال به تابش طیفی سنجنده (رادیانس) برحسب $(watts / m^2 \times srad \times \mu m)$ برای باند ۱۰ و ۱۱ به‌صورت جداگانه محاسبه می‌شود (رابطه ۲) *(Rongali et al, 2018,248)*.

رابطهٔ۲:
$$L_\lambda = \frac{(Lmax - Lmin) \times DN}{2 \times 5} + offset$$

مقادیر Lmax، Lmin و offset با استفاده از متادیتای تصاویر برای باندهای ۱۰ و ۱۱ استخراج می‌شود.

مرحلهٔ ۲: محاسبهٔ دمای درخشندگی (TB) برای باندهای ۱۰ و ۱۱.

رابطهٔ۳:
$$TB = \frac{k_2}{\log\left(\frac{K_1}{L_\lambda + 1}\right)}$$

در این معادله TB دمای مؤثر ماهواره و یا دمای درخشندگی سنجنده است. K1 و K2 ضریب تصحیح هستند که به‌ترتیب دارای مقادیر ۶۶۶/۰۹ و ۱۲۸۷/۷۱ (در تصاویر لندست-۸) می‌باشند. دمای حاصل از این مرحله به‌عنوان دمای جسم سیاه نیز معرفی و در نظر گرفته می‌شود *(Rongali et al, 2018,249)*.

مرحلهٔ ۳: محاسبهٔ بخارآب (w_i)،

به‌منظور محاسبهٔ بخار آب، از دمای ثبت‌شده در ایستگاه‌های اصلی هواشناسی استفاده می‌شود، بر همین اساس، داده‌های میانگین رطوبت (RH) و میانگین دما متناسب با تاریخ تصویربرداری لندست-۸ ، از سایت Oimet.ir اخذ گردید. و در رابطهٔ ۴. قرار داده شد *(Rongali et al, 2018,249)*. و بخار آب (W_i) محاسبه گردید (جدول ۳)

رابطهٔ۴:

$$w_i = 0.0981 \times \left\{10 \times 0.6108 \times \exp\left[\frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)}\right] \times \mathrm{RH}\right\} + 0.1697$$

به‌منظور محاسبهٔ میانگین رطوبت و دما از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های زمینی در استان خوزستان استفاده شده است با توجه به این‌که استان خوزستان در پوشش موزائیک‌شده از ۸ فرم تصویر لندست -۸ قرار گرفته است، دمای هر کدام از ایستگاه‌های هواشناسی متناسب با زمان اخذ فرم تصویر مربوطه استخراج گردید. میانگین رطوبت و دمای تمامی ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان در جدول ۴، ارائه شده است.

الگوریتم پنجره‌تقسیم SWA، کمترین حساسیت را نسبت به خطای پارامترهای اقلیمی ورودی (رطوبت و دما دارد و خطا در پارامترها تأثیر کمتری بر نتایج در محیط‌های مختلف خواهد داشت *(Lei et al, 2019,129)*.

جدول۴: میانگین رطوبت و دما در تاریخ اخذ تصویر

سال	T_0	RH	w_i
۲۰۲۲	۴۰/۴	۰/۱۸۴	۱/۱۲۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

مرحلهٔ ۴: محاسبهٔ اختلاف گسیل‌مندی

پس از محاسبهٔ دمای درخشندگی و بخار آب، اختلاف Emisivity (Δm) محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۵). در این مرحله، نیاز به محاسبهٔ LSE برای باندهای ۱۰ و ۱۱ می‌باشد (رابطه ۶) *(Rongali et al, 2018,249)*.

میزان دمای تابشی باندهای ۱۰و۱۱ در جدول ۵ ارائه شده است.

رابطهٔ ۵:

$$\text{Difference of the LSE} = \Delta m = \mathrm{LSE}_{10} - \mathrm{LSE}_{11}$$

رابطهٔ ۶:

$$\mathrm{LSE} = \varepsilon_s \times (1 - \mathrm{FVC}) + \varepsilon_v \times \mathrm{FVC}$$

جدول ۵: متغیّرهای دمای تابش باند ۱۰ و ۱۱

باند ۱۱	باند ۱۰	دمای تابش
۰/۹۷۷	۰/۹۷۱	
۰/۹۸۹	۰/۹۸۷	

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

بنابراین برای محاسبهٔ LSE باید FVC را محاسبه کرد و برای محاسبه FVC نیاز به محاسبهٔ شاخص پوشش گیاهی(NDVI) وجود دارد. NDVI با استفاده از رابطهٔ ۷ به‌دست می‌آید *(Rongali et al, 2018,249)*.

رابطهٔ ۷:

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{Band}_5 - \mathrm{Band}_4}{\mathrm{Band}_5 + \mathrm{Band}_4} = \frac{\mathrm{NIR\text{-}RED}}{\mathrm{NIR} + \mathrm{RED}}$$
$$\text{It ranges from } -1 < NDVI < +1$$

FVC با استفاده از روابط ۸ و ۹ محاسبه می‌شود *(Rongali et al, 2018:829-840)*.

رابطهٔ ۸:

$$\mathrm{VC} = \frac{\mathrm{NDVI} - \mathrm{NDVI(soil)}}{\mathrm{NDVI(vegetation)} - \mathrm{NDVI(soil)}}$$

رابطهٔ ۹:

$$\mathrm{FVC} = \frac{\mathrm{NDVI} - 0.15}{0.48 - 0.15}$$

مرحلهٔ ۵ : محاسبهٔ m : میانگین LSE

همان‌طور که در مراحل قبل بیان شد، به‌منظور محاسبهٔ Emisivity (LSE) باندهای ۱۰ و ۱۱ از رابطه ۷ و سپس از رابطهٔ ۶ برای محاسبهٔ Δm استفاده گردید و جهت محاسبهٔ m که حاصل میانگین Emisivity باند ۱۰ و ۱۱ می‌باشد از رابطهٔ ۱۰ استفاده شده است *(Rongali et al, 2018,250)*.

رابطهٔ ۱۰:

$$\text{Mean of the LSE} = m = \frac{\mathrm{LSE}_{10} + \mathrm{LSE}_{11}}{2}$$

مرحلهٔ ۶: محاسبهٔ LST

بدین‌ترتیب مقادیر به‌دست آمده از مراحل ۱ تا ۵ در رابطهٔ ۱ قرار داده شد و بر این اساس دمای سطح زمین (LST) برحسب کلوین محاسبه گردید (رابطه ۱۱)، *(Rongali et al, 2018,248)*.

رابطهٔ ۱۱:

$$LST = \mathrm{TB}_{10} + 1.378\,(\mathrm{TB}_{10} - \mathrm{TB}_{11}) + 0.183(\mathrm{TB}_{10} - \mathrm{TB}_{11})^2 - 0.268 + (54.300 - 2.238 * w_i)(1 - m) + (-129.200 + 16.400 * w_i)\Delta m$$

مرحلهٔ ۷: محاسبهٔ دمای سطح زمین بر حسب درجهٔ سانتی‌گراد

رابطهٔ ۱۲:

$$T_C = T - 273$$

مرحلهٔ ۸: بررسی دقت الگوریتم پنجره مجزا:

به‌منظور بررسی صحت نقشهٔ تهیه‌شده، از دمای هوای ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی استفاده شده است، بدین منظور ابتدا نقشه دمای سطح زمین به دمای هوا تبدیل گردید تا از این طریق بتوان آن‌را با دمای ثبت شده در ایستگاه هواشناسی مقایسه کرد.(رابطهٔ ۱۳) *(Rongali et al, 2018,250)*.

رابطهٔ ۱۳:

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

از معیارهای آماری شامل: خطای جذر میانگین مربعات (RMSE[1])، میانگین قدر مطلق خطا (MAE[2]) و میانگین اریبی خطا[3](MEB) جهت ارزیابی نقشه دمای سطح زمین استفاده گردید*(Xu & Ehlers, 2017: 941-947)*. این معیارها، مقادیر خطا را نسبت به مقدار مطلوب صفر نشان می‌دهند و مشخص می‌کنند که مقادیر خطا در نقشه دمای سطح زمین در الگوریتم پنجره‌تقسیم چه میزان بوده‌است. معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، قدر مطلق متوسط خطای بین مقادیر ایستگاه زمینی و مقادیر محاسبه‌شدهٔ دما را نشان می‌دهد و همواره مقادیر آن مثبت است، اما معیار میانگین اریبی خطا (MEB)، متوسط خطای بین مقادیر ایستگاه زمینی و مقادیر محاسبه‌شدهٔ دما را نشان می‌دهد و دارای مقادیر مثبت و منفی است. مقادیر مثبت آن، به این معنی می‌باشد که نقشهٔ تهیه‌شده تخمین بیش‌تر و مقادیر منفی هم حاکی از آن‌است که تخمین کمتری نسبت به مقادیر ایستگاه‌های زمینی وجود داشته است (روابط ۱۴ تا ۱۶)، *(Xu & Ehlers, 2017: 941-947)*.

رابطهٔ ۱۴:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \widehat{x_i})}$$

رابطهٔ ۱۵:

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}|\widehat{x_i} - x_i|$$

رابطهٔ ۱۶:

$$MBE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(\widehat{x_i} - x_i)$$

در این روابط x_i، مقادیر تخمین‌زده شده، $\widehat{x_i}$ مقادیر مشاهده شده و N تعداد داده‌هاست.

1. Root Mean Square Error
2. Mean Absolute Error
3. Mean Bias Error

- محاسبهٔ شاخص‌های پوشش‌گیاهی، مناطق ساخته‌شده و زمین‌های بایر

از سه شاخص پوشش‌گیاهی (NDVI)، مناطق ساخته‌شده (NDBI) و زمین بایر (NDBaI)، جهت طبقه‌بندی اراضی شهری استفاده می‌شود *(Weng et al, 2007: 203-219)*. سه شاخص NDBaI، NDVI و NDBI برای توصیف کلاس‌های LULC و ارزیابی رابطهٔ بین این کلاس‌ها و LST در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. NDVI رایج‌ترین شاخص مورد استفاده برای بیان اطلاعات در مورد تراکم پوشش گیاهی، پیش‌بینی تولید محصول، نظارت بر خشکسالی و اندازه‌گیری دمای تابشی سطح *(Imran, 2012:189-203)* است. رابطهٔ بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین یک رابطهٔ غیر مستقیم است، زیرا پوشش گیاهی با انجام فرآیند جذب انرژی خورشید و تعرّق آب از طریق برگ‌های خود، سبب کاهش شدت جزایر حرارتی می‌شود *(Weng et al, 2007: 203-219)*. NDBI اولین‌بار بررسی میزان نفوذناپذیری، مناطق ساخته‌شده و نقشه‌برداری از این مناطق توسعه یافت، زیرا می‌توانند توزیع شهری را با انعکاس معمولاً بالاتر در باند مادون قرمز موج‌کوتاه، نسبت به مادون قرمز نزدیک نشان‌دهند *(Alhawiti & Mitsova, 2016: 457-466)*.

شاخص NDBaI برای استخراج زمین‌های بایر و مناطق فاقد پوشش گیاهی مورد استفاده قرارمی‌گیرد و نقش مهمی در تغییرات اکوسیستم‌های محیطی دارد *(Guo et al, 2015,79)*. جدول ۶، فرمول‌های محاسبهٔ سه شاخص مذکور از طول موج مختلف تصویر ماهواره‌ای لندست-۸ را نشان می‌دهد. در روابط زیر SWIR معرّف باند طول موج-کوتاه مادون قرمز، NIR معرف باند قرمز و TIRS معرّف باند حرارتی است.

جدول۶: محاسبهٔ شاخص‌های NDBaI، NDBI و NDVI

شاخص‌های طیفی	فرمول محاسبه
NDVI(Normalized difference Vegetation index)	NDVI= (NIR-RED) / (NIR+RED)
NDBI (Normalized Difference Built-up Index)	NDBI =(SWIRI-NIR) / (SWIRI+NIR)
NDBaI (Normalized difference bareness index)	NDBaI =(SWIRI -TIRSI) / (SWIRI + TIRSI)

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

- تحلیل خودهم‌بستگی فضایی LST (شاخص موران محلی)

در این تحقیق، برای آشکارسازی الگوی فضایی دمای استان خوزستان و تفاوت‌های محلی، از آمار خودهم‌بستگی فضایی موران محلی استفاده شد. میزان عدد شاخص موران، نشان‌دهندهٔ درجهٔ پراکنده بودن یا متمرکز بودن عوارض یا داده‌های فضایی در فضای اندازه‌گیری است *(Zhang, 2008:212-221)*. این شاخص، مقادیر دمایی سطح زمین را در مکان‌هایی که نزدیک یکدیگر واقع شده و بیش‌ترین شباهت را دارند، به‌صورت یک خوشهٔ گرم و سرد طبقه‌بندی می‌کند. برای پیکسل i ، مقدار موران محلی از طریق رابطهٔ ۱۷ *(Emami et al, 2018: 14-15)* محاسبه می‌شود.

رابطهٔ ۱۷:

$$I_{i=} n \times \frac{(x_i-\overline{x})}{\sum_j (x_i-\overline{x})2} \times \sum_j w_{ij}(x_i - \overline{x}) = \frac{z_i}{m_0} \times \sum_j w_{ij} \times z_j, \quad with: m_0 = \sum_i \frac{z_i}{n}$$

به‌طوری‌که N: تعداد سلول‌ها (مشاهدات فضایی) است، xi و xj به‌ترتیب مقادیر مشاهده‌شدهٔ استاندارد سلول i و سلول j می‌باشند.

این ابزار همچنین ناخوشه‌های فضایی را نیز شناسایی می‌کند. برای انجام این مسأله، این ابزار به محاسبهٔ مقدار موران محلی، امتیاز z، pvalue و یک کد که نشان‌گر نوع خوشه برای هر عارضه است می‌پردازد. امتیازهای z و pvalue بیان‌گر معناداری مقدار شاخص محاسبه‌شده می‌باشند *(Emami et al, 2018: 14-15)*. نقاطی که از این آماره ضمن معناداری موران محلی ایجاد می‌شود، از چهاردسته توزیع پراکندگی تولید می‌کنند که کاربر و محقق علمی می‌توانند با استفاده از آن، نوع خودهم‌بستگی فضایی داده‌های خود را مورد ارزیابی قرار دهند.

این چهاردستهٔ اطلاعات شامل: جزایر حرارتی گرم (HH)، جزایر حرارتی سرد (LL)، جزایر حرارتی گرم در کنار سرد (HL) و جزایر حرارتی سرد در کنار گرم (LH) است. افزون بر چهارنوع جزایر حرارتی یادشده، خروجی این تابع، ممکن‌است شکل پنجمی نیز داشته باشد که به شکل اختصاری NS (فاقد معناداری) نمایش‌داده می‌شود. درواقع؛ مناطقی با چنین مقداری نشان‌می‌دهند که هیچ ارتباط مکانی محلّی چشم‌گیری در دمای سطح زمین آن پهنه، وجود نداشته است *(Emami et al, 2018: 14-15)* در این تحقیق جهت استخراج دمای سطح زمین (LST)، ابتدا از الگوریتم پنجره‌تقسیم استفاده گردید، سپس در محدودهٔ مورد مطالعه، ۱۰۰۰۰ نقطه به‌صورت تصادفی انتخاب و اطلاعات از تصویر LST محاسبه‌شده در نقاط انتخابی در محیط ArcGIS استخراج شد. در پایان، دمای سطح زمین با استفاده از نقاط استخراج‌شده و شاخص موران محلی خوشه‌بندی گردید.

- هم‌بستگی پیرسون

هم‌بستگی پیرسون از روش‌های پرکاربرد جهت تعیین میزان رابطه بین دو متغیّر محسوب می‌شود. به‌طور کلی ضرایب همبستگی بین ۱ تا ۱- در نوسان است. رابطهٔ بین دو متغیر می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد. اگر میزان هم‌بستگی مثبت باشد به این معناست که تغییرات در دو متغیر هم‌جهت است (با افزایش مقدار یک متغیر مقدار متغیر دیگر نیز افزایش می‌یابد)، اگر منفی باشد، بدین معناست که دو متغیر در جهت عکس یکدیگر حرکت می‌کنند. اگر صفر باشد به این معناست که هیچ‌گونه ارتباطی بین دو متغیر وجود ندارد، اگر مقدار آن ۱+ باشد بیانگر هم‌بستگی مثبت و کامل و اگر ۱- باشد نشان‌دهندهٔ هم‌بستگی کامل منفی بین دو متغیر است *(کلانتری، ۱۳۹۱:۱۰۸)*.

- مدل رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS)

مدل رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) یک روش رگرسیون کلی یا مدل رگرسیون خطی چند متغیّره است که با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۱۸) *(رنگزن و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۱-۴۸)*.

رابطهٔ ۱۸:

$$Y = B0 + B1X1 + B2X2 + \ldots + BnXn + E$$

در رابطهٔ 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 این‌که متغیر وابسته (دمای سطح زمین LST)، y باشد. NDVI، NDBI و NDBaI به‌ترتیب X1، X2، X3، متغیرهای مستقل می‌باشند.

نتایج و بحث

- محاسبهٔ دمای سطح زمین

الگوهای دمایی استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست استان خوزستان، در شکل۳ ارائه شده‌است. الگوی دامنهٔ دمایی استان خوزستان در تیرماه سال ۱۴۰۱ نشان می‌دهد که کمترین دما برابر با ۲۵ درجهٔ سانتیگراد و دمای بیشینه برابر با ۸۲/۷۳ درجهٔ سانتیگراد می‌باشد.(شکل ۳ و جدول ۷).

جدول۷: پارامترهای آماری دمای استخراج‌شده از تصاویر ماهوارهٔ لندست -۸ استان خوزستان

Variable	Max	Min	Std. Deviation	Mean
LST	۸۲/۷۳	۲۵	۶/۸۳	۵۵/۶۵

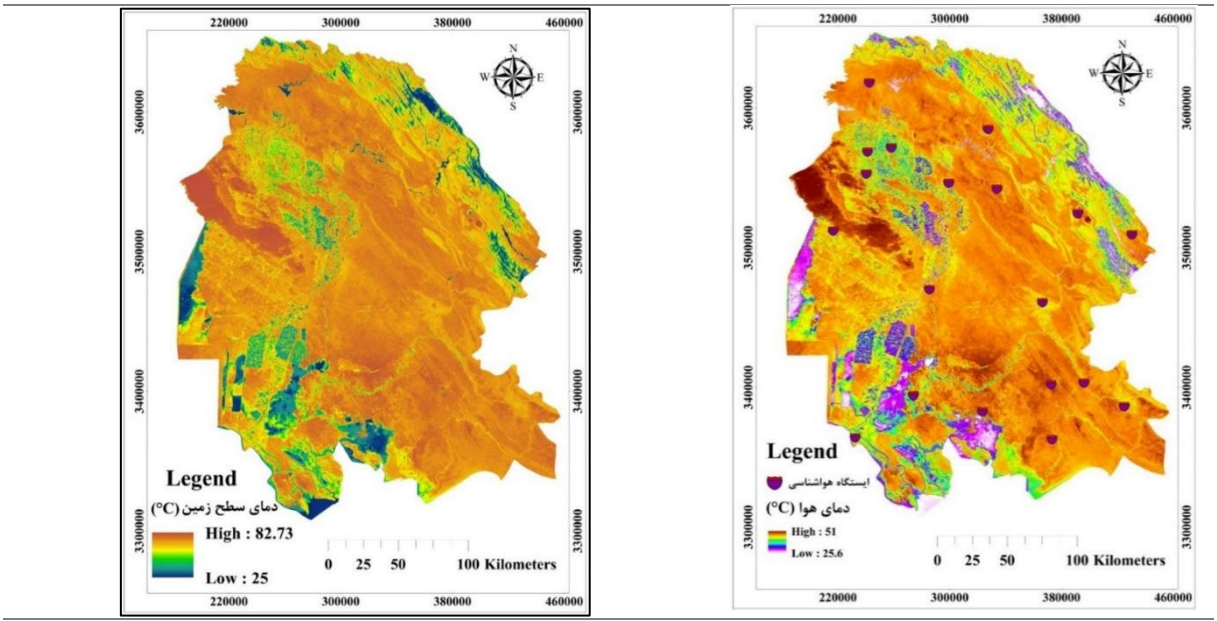
مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

به‌منظور ارزیابی دقت و صحت نقشه‌دمای تهیه‌شده، از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های زمینی در استان خوزستان استفاده شد (جدول ۲). بدین‌صورت که ابتدا نقشه‌دمای سطح زمین به نقشه‌دمای هوا براساس رابطهٔ۱۴ تبدیل شد. سپس مختصّات ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان بر روی نقشه‌دمای هوای استان جانمایی شد و مقادیر دمای هر کدام از نقاط ایستگاه براساس نقشه‌دمای هوا استخراج گردید و با مقادیر واقعی داده‌های زمینی ایستگاه‌های هواشناسی مقایسه شد (شکل ۳). در جدول ۸ مقادیر خطای آماری RMSE، MAE و MBE نقشه‌دمای سطح زمین نسبت به دمای ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان نشان داده شده است.

جدول۸: ارزیابی دقت نقشه‌دمای سطح زمین

لندست-۸	RMSE	MAE	MBE
۲۰۲۲	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۱۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

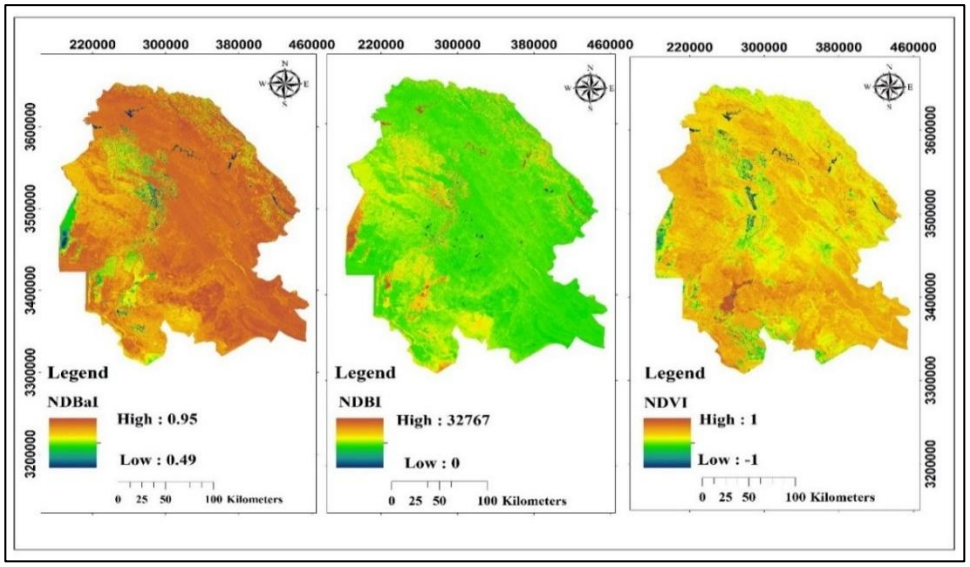


شکل۳: الگوهای دمایی استخراج‌شده از تصاویر ماهوارهٔ لندست –و نقشه‌دمای هوا و جانمایی موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

- محاسبهٔ شاخص‌های پوشش‌گیاهی، مناطق ساخته‌شده و زمین‌های بایر

شاخص‌های طیفی، مجموعه‌ای از فرمول‌های ریاضی هستند که با هدف بارزسازی یک پدیدهٔ سطح زمین، بر روی دو یا بیش از دو باند یک تصویر چندطیفی یا فراطیفی اعمال می‌شود. اصول استفاده از شاخص‌های طیفی بر مبنای جذب طیفی بنا نهاده شده است. سه شاخص پوشش‌گیاهی، مناطق ساخته‌شده و زمین‌های بایر با استفاده از تصویر لندست-۸ استان خوزستان و فرمول‌های جدول ۶، محاسبه گردید (شکل۴).

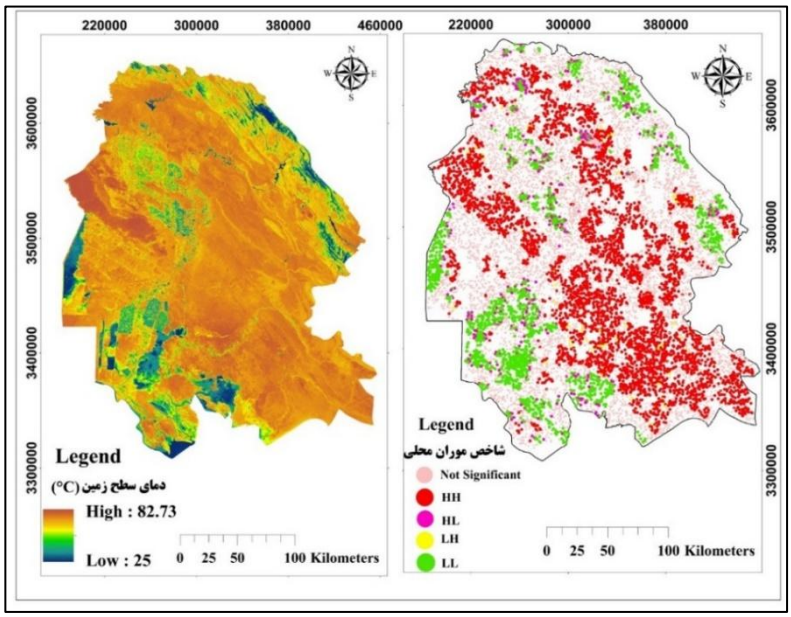


شکل ۴: شاخص‌های پوشش‌گیاهی(NDVI)، سطوح نفوذناپذیر سطح زمین(NDBI) و زمین بایر(NDBaI)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

- شاخص موران محلی

برای نشان‌دادن توزیع فضایی الگوی حاکم بر جزایر حرارتی استان خوزستان و خوشه‌بندی آن، از شاخص محلی هم-بستگی مکانی موران استفاده شده‌است. شاخص موران عمومی با میزان (۰/۹۸) و مقدار pvalue صفر و Z-SCORE مثبت و بزرگ (۱۷۵/۵۵) نشان‌دهندهٔ الگوی خوشه‌ای قوی در دمای سطح استان خوزستان می‌باشد. آماره موران محلی، HH بیانگر خوشه‌های مقادیر دمای زیاد سطح زمین (خودهم‌بستگی فضایی مثبت در سطح اطمینان ۹۹٪)، LL بیانگر خوشه‌های مقادیر دمای پایین سطح زمین (خودهم‌بستگی فضایی منفی در سطح اطمینان ۹۹٪) است. LH، بیانگر خوشه‌های مقادیر دمای پایین سطح زمین است در حالی‌که دمای مناطق مجاور آن از حد میانگین کل پهنه کم‌تر است. HL بیانگر خوشه‌های مقادیر دمای بالای سطح زمین است، در حالی‌که دمای مناطق مجاور آن از حد میانگین کل پهنه بیش‌تر است. و Not Significant، (فاقد معناداری) نمایش داده می‌شود. مناطقی با چنین مقداری، درحقیقت نشان می‌دهند که هیچ ارتباط مکانی محلی چشم‌گیری در دمای سطح زمین آن پهنه وجود نداشته است (شکل ۵ و جدول ۸). همان‌طورکه در شکل ۶ مشاهده می‌شود، جزایر حرارتی گرم به روی مناطق دمای بالا منطبق است و بیشتر شامل اراضی بایر و پهنه‌های شن‌زار در استان خوزستان می‌باشد. جزایر حرارتی سرد نیز بیشتر منطبق بر پهنه‌های آبی و مناطق دارای پوشش‌گیاهی استان است؛ بنابراین فقر پوشش‌گیاهی، یکی از دلایل دمای بالا در این استان می‌باشد، عدم وجود پوشش گیاهی موجب می‌شود که فرآیند تعدیل دما صورت نگیرد و اکثر انرژی رسیده از خورشید جذب شده و همین مسأله افزایش دما را موجب می‌شود. این نتایج با مطالعات درویشی و همکاران (۱۳۹۸)، مطابقت دارد.



شکل۵: شاخص موران محلی و مقایسهٔ آن با دمای سطح زمین

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

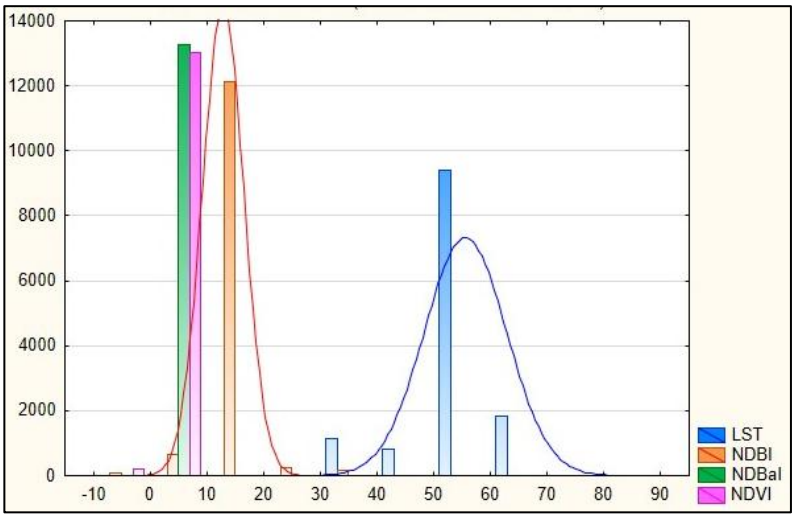
جدول ۸: آماره موران محلی دمای سطح زمین استان خوزستان-۲۰۲۲

تعداد آماره موران محلی					آماره موران عمومی			
LL	LH	HL	HH	NS	نوع پراکندگی	P-VALUE	Z-SCORE	شاخص موران
۱۹۱۷	۶۰	۳۸۳	۴۴۹۵	۶۳۹۴	خوشه‌ای قوی	۰	۱۷۵/۵۵	۰/۹۸

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

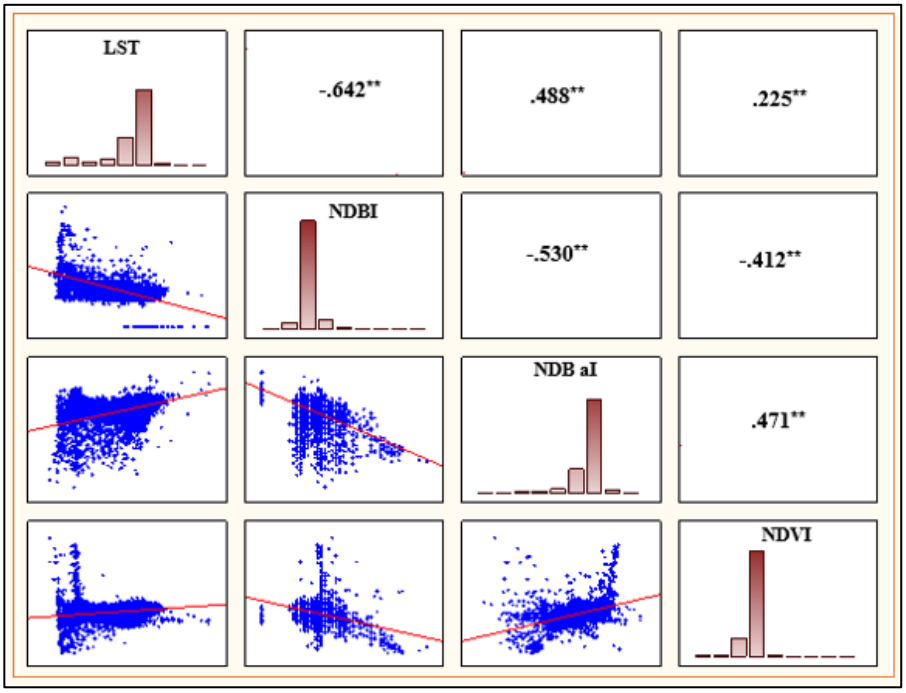
- هم‌بستگی پیرسون:

تغییرات دمای سطح زمین، تابعی از نوع پوشش‌های مختلفی است که در سطح زمین وجود دارد. در این تحقیق، تاثیر سه نوع پوشش زمین‌های ساخته‌شده، بایر و پوشش‌گیاهی در تغییرات دمای سطح زمین مورد بررسی قرارگرفته است (شکل ۶). نمودار پراکندگی بین NDVI و دمای سطح زمین در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، میزان هم‌بستگی بین دمای سطح زمین و NDVI بسیار پایین $R^2 = 0.225$ بوده که دلیل آن افزون بر پایین بودن دمای پوشش‌های گیاهی، تمرکز پوشش‌های گیاهی در بخش‌های خاصی از استان خوزستان و همچنین تمرکز دماهای پایین علاوه بر پوشش گیاهی، بر سطوح آبی مثل رودخانه‌ها می‌باشد که در این سطوح، مقادیر NDVI کمتر از صفر و منفی است؛ بنابراین برخلاف مطالعات دیگران که بیان کرده‌اند که NDVI رابطه‌ای منفی و قوی با دما دارد *(Weng et al, 2006: 467-483)*. در این پژوهش چنین اثر قوی‌ای مشاهده نمی‌شود. شکل ۷، نتایج هم‌بستگی پیرسون بین زمین‌های بایر (NDBaI) و مناطق ساخته‌شده (NDBI) با دمای سطح زمین در سطح معناداری ۰/۰۱ را نشان می‌دهد. رابطهٔ هم‌بستگی بین زمین‌های بایر و دمای سطح زمین، یک رابطهٔ مثبت است و میزان $R^2= 0.488$ است، میزان هم‌بستگی بین مناطق ساخته‌شده با دمای سطح زمین، منفی و نسبتا بالا بوده است ($R^2 =-0.642$).



شکل ۶: هیستوگرام متغیّرهای تحقیق

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲



شکل ۷: هم‌بستگی NDBI, NDBaI , NDVI و LST استان خوزستان در سال ۲۰۲۲

(**هم‌بستگی معناداری در سطح ۰,۰۱ درصد)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

- تجزیه‌وتحلیل رگرسیون چند متغیره

به‌منظور تجزیه‌وتحلیل رابطهٔ دمای سطح زمین (LST) و سه شاخص پوشش‌گیاهی(NDVI)، مناطق ساخته‌شده (NDBI) و زمین‌های بایر(NDBaI)، از رگرسیون چند متغیره، حداقل مربعات معمولی (OLS) استفاده شده است.

- رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS)

تجزیه‌وتحلیل هم‌بستگی دمای سطح زمین و سه شاخص پوشش‌گیاهی، مناطق ساخته‌شده و زمین‌های بایر با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) در محیط ArcGIS انجام گرفته‌است. بدین‌منظور به‌صورت تصادفی ۱۰۰۰۰ نقطه در منطقهٔ مورد مطالعه ایجاد گردید، سپس مقادیر هر نقطه از داده‌های سه شاخص مورد مطالعه، به‌عنوان پارامترهای مستقل و مقادیر مربوط به دمای سطح زمین به‌عنوان متغیر وابسته استخراج شد. پارامترهای آماری متغیرهای مستقل و وابسته در جدول (۹) ارائه شده‌است. از مدل رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) برای بررسی چندخطی بودن بین متغیرها استفاده می‌شود. به‌منظور اجتناب از چندخطی شدن، عامل تورم واریانس (VIF) برای حذف متغیرهای بسیار هم‌بستهٔ این مدل، مورد استفاده قرار گرفته است. به‌طور کلی، VIF<7.5 معمولاً برای تخمین چندخطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، همهٔ متغیرهای مستقل ورودی دارای VIF کمتر از ۷/۵ هستند. از نظر Probability نیز هر سه متغیر مستقل، معنی‌دار (ستاره‌دار) می‌باشند و هر سه شاخص مورد مطالعه، به‌عنوان عوامل مؤثر بر دمای سطح زمین در استان خوزستان محسوب می‌شوند (جدول۱۰). جدول ۱۱ میزان دقت روش حداقل مربعات را در متغیرهای مستقل پارامترهای دمایی استان خوزستان نشان می‌دهد.

جدول ۹: پارامترهای آماری متغیرهای وابسته و مستقل

Variable	Max	Min	Std. Deviation	Mean
LST	79.38	28.86	7.22	55.22
NDBI	47.00	0.00	3.66	12.74
NDBaI	0.99	0.97	0.00	0.99
NDVI	0.55	-0.14	0.04	0.11

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

جدول ۱۰. بررسی تأثیرگذاری و معنادار بودن پارامترهای متغیرهای مستقل

Variable	Dominant factors	Coefficient	Std Error	t-Statistic	Probability	VIF
Intercept	Constant term	-980.641361	33.964538	- 28.872507	0.000000*	
X1	NDBI	-1.106503	0.015288	- 72.379235	0.000000*	1.458174
X2	NDBaI	1065.608940	34.356890	31.015873	0.000000*	1.556591
X3	NDVI	- 21.212913	1.290471	-16.438117	0.000000*	1.348403

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

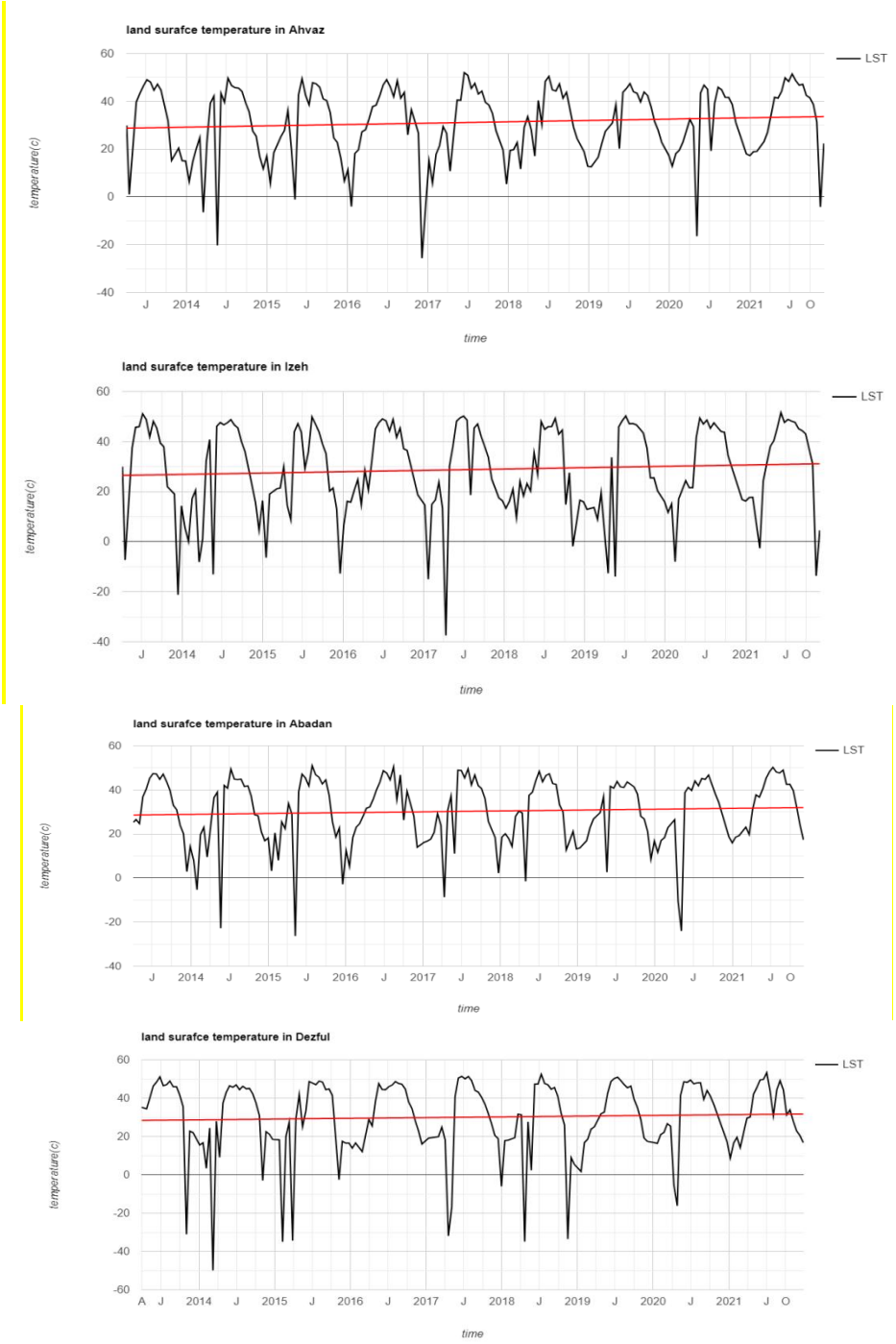
جدول ۱۱: ارزیابی دقت روش حداقل مربعات پارامترهای مستقل

Variable	Dominant factors	AICc	R2	Adjusted R2
OLS		81957.416277	0.454017	0.453893

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

-روند تغییرات دمای سطح زمین

جهت ارزیابی روند تغییرات دمای سطح، از تمامی تصاویر لندست موجود در بازۀ زمانی ده سال اخیر، برای چهار شهر آبادان، اهواز، دزفول و ایذه؛ با استفاده از کدنویسی در سامانۀ گوگل ارتث انجنین استفاده شد. نتایج رفتاری دمای سطح زمین در هر چهارشهر مورد بررسی، نشان از افزایش دمای سطح زمین در بازۀ مورد بررسی دارد (شکل شماره ۸).



شکل ۸: روند تغییرات دمای سطح زمین در منطقۀ مورد بررسی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

نتیجه

دما به‌عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی منتج از توازن انرژی در سطح، نمایانگر خرداقلیم‌های شکل‌گرفته در سطح زمین بوده و هرگونه تغییر در توازن انرژی و درجهٔ حرارت سطح زمین، تغییر در خرداقلیم‌ها را به‌دنبال خواهد داشت. در این تحقیق، دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره‌تقسیم (SW-Algorithm) و داده‌های لندست-۸ در تیرماه سال ۲۰۲۲ استان خوزستان محاسبه شده‌است. با توجه به وسعت بسیار بالای استان خوزستان، از پوشش موزائیک‌شده از ۸ تصویر لندست-۸ در بازهٔ زمانی 2022-6-21 تا 2022-6-30 استفاده شد. داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان خوزستان برای صحت‌سنجی و ارزیابی دقت نقشه‌دمای محاسبه‌شده مورد استفاده قرار گرفت. به‌دلیل قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزهٔ تصاویر لندست-۸، امکان دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای هم‌زمان وجود ندارد. با توجه به استفاده از ۸ فرم تصویر ماهواره‌ای با فاصلهٔ زمانی چند روزه، دمای ایستگاه‌های هواشناسی واقع در هر فرم تصویر ماهواره‌ای هم‌زمان با أخذ تصویر، موررد استفاده قرار گرفته است. بر مبنای تحقیقات انجام‌گرفته، الگوریتم پنجره‌تقسیم نسبت به الگوریتم‌های دیگر محاسبهٔ دمای سطح زمین، حساسیت کمتری به پارامترهای اقلیمی ورودی دارد و خطا در این پارامترها تأثیر کمتری بر نتایج در محیط‌های مختلف خواهد داشت *(Wang et al, 2019,138)*. هدف این تحقیق، به‌کارگیری فناوری سنجش از دور در محاسبهٔ دمای سطح زمین و بررسی ارتباط سه شاخص طیفی NDBI (مناطق ساخته‌شده)، NDVI (پوشش‌گیاهی) و NDBaI (مناطق بایر) با دمای سطح زمین(LST) و مطالعهٔ ارتباط الگوهای دمایی با این سه شاخص، در سطح استان خوزستان می‌باشد. به‌منظور بررسی ارتباط بین شاخص‌ها و دمای سطح زمین، از ضریب هم‌بستگی پیرسون در سطح اطمینان ۰/۰۱ استفاده شده است. شاخص پوشش گیاهی (NDVI) دارای هم‌بستگی مثبت غیر خطی با دمای سطح زمین است، دلیل غیر خطی بودن پوشش گیاهی، پراکندگی و محدود بودن آن در بخش‌های مختلف سطح استان خوزستان می‌باشد. دمای پایین سطح زمین با مقادیر بیشینه و کمینهٔ شاخص NDVI منطبق است. مقادیر مثبت نزدیک به صفر در NDVI از بیشترین میزان دما برخوردار بوده است. رابطهٔ بین NDVI و دمای سطح زمین در مطالعهٔ عزی‌مند و همکاران (۱۳۹۹)، حاکی از هم‌بستگی منفی و ضعیف این پارامتر با دمای سطح زمین بوده است که با نتایج این مطالعه نیز مغایرت دارد. نتایج هم‌بستگی دما با شاخص‌های ذکرشده نشان‌داد که شاخص مناطق بایر (NDBaI)، هم‌بستگی مثبت با دمای سطح زمین دارد و میزان R^2 آن معادل با ۰/۴۸۸ می‌باشد. بر این‌اساس دمای سطح زمین به‌طور مستقیم با NDBaI در ارتباط است. بدین‌صورت که مقادیر بیشتر شاخص NDBaI مربوط به زمین بایر است که از بیشترین دما برخوردار بوده است. شاخص مناطق ساخته‌شده (NDBI) از هم‌بستگی منفی با دمای سطح زمین برخوردار است و میزان R^2 آن معادل با ۰/۶۴۲- می‌باشد. مناطق ساخته‌شده با دمای سطح زمین یک رابطهٔ برعکس و نسبتا قوی را نشان می‌دهد، بدین‌صورت که مقادیر بیشترین شاخص NDBI مربوط به مناطق ساخته‌شده است که از کمترین دما برخوردار می‌باشد. این نتایج با مطالعات عزی‌مند و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. نتایج مطالعات آن‌ها نیز نشان‌داد که ارتباط بین پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین، یک رابطهٔ خطی غیر مستقیم است و مناطق ساخته‌شده (NDBI)، بیشترین هم‌بستگی منفی را با دمای سطح زمین (LST) داشته است (R=0.7). از رگرسیون حداقل مربعات برای تعیین ارتباط معنی‌داری پارامترهای

مستقل (شاخص پوشش گیاهی، شاخص مناطق ساخته‌شده و شاخص زمین‌های بایر) و پارامتر وابسته (دمای سطح زمین) استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل هم‌بستگی دمای سطح زمین و سه شاخص پوشش‌گیاهی، مناطق ساخته‌شده و زمین‌های بایر، با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS)، نشان داده‌است که هر سه شاخص طیفی دارای ارتباط معنی‌دار و مؤثر بر تغییرات دمای سطح زمین هستند و به‌عنوان عوامل مؤثر بر تغییرات دمایی استان خوزستان محسوب می‌شوند. با توجه به نتایج شاخص موران محلی، جزایر حرارتی در خارج از محدودهٔ شهری در سطح استان متمرکز شده‌اند؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گرفت که زمین‌های ساخته‌شده در استان خوزستان، درکلاس بدون هم‌بستگی خاصی قرار دارند و به‌دلیل وسعت کم در سطح استان خوزستان از الگوی خوشه‌ای برخوردار نمی‌باشند. از دلایل اصلی دمای پایین سطوح نفوذناپذیر شهری، می‌توان به ظرفیت گرمایی بالاتر سطوح بتنی و نفوذناپذیر نسبت به خاک و زمین‌های بایر اشاره کرد *(Ezimand et al, 2019 434)*. همچنین، سطوح سفید و موادی که توان بازتابی بالایی دارند، موجب می‌شوند که انرژی خورشید دوباره منعکس‌شده، در نتیجه مقدار جذب و گسیل‌مندی این سطوح کاهش یابد *(Akbari et al, 2007: 2114)*. نتایج بررسی جزایر حرارتی در سطح استان خوزستان نشان‌داد که جزایر حرارتی در خارج از محدودهٔ شهری و در مناطق بایر متمرکز شده‌اند و دمای مناطق شهری نسبت به مناطق بیرون شهر پایین‌تر است. همچنین، جزایر خنک بر پهنه‌های آبی و پوشش‌های گیاهی متمرکز شده‌اند و دارای مساحت خیلی‌کمتری نسبت به جزایر حرارتی در سطح استان خوزستان می‌باشند. نتایج این تحقیق با مطالعهٔ اژدری و همکاران (۲۰۱۸)، مطابقت دارد *(Azhdari et al,2018: 853)*. همچنین نتایج این مطالعه با تحقیقات رسول و همکاران (۲۰۱۶)، مبنی بر این‌که در فصل تابستان، مناطق ساخته‌شده و پوشش گیاهی از کمترین میانگین دمایی و زمین‌های بایر از بیشترین میانگین دمایی برخوردار هستند، مطابقت دارد.

از نتایج دیگر این پژوهش آن‌است که بخش وسیعی از افزایش دما، در اراضی بایر و فاقد پوشش گیاهی مشاهده می‌شود؛ بنابراین مناطقی که افزایش دمای سطح زمین را نشان می‌دهند، می‌توانند جهت کاربرد در بخش کشاورزی، منابع طبیعی و نیز محیط زیست استان خوزستان (به‌منظور شناخت جزایر حرارتی و تصمیم‌گیری در رابطه با بهبود شرایط پوشش گیاهی و جلوگیری از افزایش دمای سطح زمین)، مورد استفاده قرار گیرند. روند تغییرات دمای سطح زمین در بازهٔ ده سالهٔ اخیر نیز حاکی از افزایش دما در همهٔ ایستگاه‌های مورد ارزیابی است. بررسی و ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر و پژوهش‌های زندی و همکاران (۱۴۰۲،۷۴)؛ کاشکی و همکاران (۲۰۲۱،۳۷) و انتظاری و همکاران (۱۳۹۸،۹۳۸)، گویای آن‌است که روند دمای سطح زمین در منطقهٔ مورد مطالعه، شیب شدید افزایشی داشته‌است، این مهم نشان از تغییرات سریع کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی در منطقهٔ مورد نظر می‌باشد، تفاوت این پژوهش با پژوهش‌های ذکرشده در آن‌است که برخلاف موارد مشابه، در این تحقیق از تغییرات کاربری استفاده نشده و تأکید بر شاخص‌های طیفی بوده‌است. همچنین در بُعد روش‌شناسی و روش تحقیق نیز نسبت به پژوهش‌های مشابه، مبسوط‌تر و تکامل یافته‌تر است.

منابع

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ هادی امامی (۱۳۹۸). پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و ETM+ مطالعه موردی: (شهرستان اردبیل)، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی). دوره ۱۹. شماره ۵۳. صفحات ۲۱۵-۱۹۵.

https://sid.ir/paper/102206/fa

انتظاری، علیرضا؛ رحمان زندی؛ مریم خسرویان (۱۳۹۸). ارزیابی تغییرات فضایی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر لندست و مادیس، مطالعه موردی: استان فارس ۲۰۱۷-۱۹۸۶، مهندسی و مدیریت آبخیز. دوره ۱۱. شماره ۴. ۹۲۹-۹۴۰.

https://jwem.areeo.ac.ir/article_۱۲۰۲۵۴.html

درویشی، شادمان؛ کریم سلیمانی؛ مصطفی رشیدپور (۱۳۹۸). تأثیر شاخص های گیاهی و خصوصیات سطح شهری بر تغییرات دمای سطح زمین مطالعه موردی (شهرستان سنندج)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. سال دهم. شماره اول.

https://www.sid.ir/paper/۱۸۹۴۵۳/fa

رنگزن، کاظم؛ سعید ملکی؛ ایوب تقی‌زاده؛ پیمان حیدریان (۱۳۹۲). مدل‌سازی توسعه فضایی شهری با استفاده از تکنولوژی سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و رگرسیون وزندار مکانی (GWR): نمونه موردی کلانشهر تهران، پایان نامه ارشد سنجش از دور GIS. دانشکده علوم زمین.

https://elmnet.ir/doc/10651141-42011

زندی، رحمان؛ محمد سلمانی‌مقدم؛ زهره روکی (۱۴۰۲). سنجش میزان خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین با کاربری اراضی نمونهٔ مطالعه: شهر اصفهان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. دوره ۳۴. شماره ۱. صفحات ۷۶-۶۷.

https://gep.ui.ac.ir/article_26770.html

عزی‌مند، کیوان؛ حسین عقیقی؛ داوود عاشورلو؛ عارف شاهی‌آقبلاغی (۱۳۹۹). تجزیه وتحلیل اثرهای ویژگی‌های کالبدی و مورفولوژیکی زمین‌های ساخته شده بر تغییرات دمای سطح زمین در مناطق نیمه‌خشک، فصلنامه علوم محیطی. دوره ۱۸. شماره ۲. صفحات ۱۸-۱.

https://envs.sbu.ac.ir/article_۹۸۱۳۳.html

کلانتری، خلیل (۱۳۹۱). پردازش و تحلیل داده ها در تحقیقات اجتماعی- اقتصادی، تهران. انتشارات فرهنگ صبا. چاپ پنجم.

https://www.gisoom.com/book/11157179

هاشمی‌دره‌بادامی، سیروس؛ علی درویشی بلورانی؛ کاظم علوی‌پناه؛ محمد ملکی؛ رضا بیات (۱۳۹۸). تحلیل تغییرات جزیره حرارتی سطوح شهری در روز و شب با استفاده از محصولات چند زمانه سنجنده مادیس.

https://www.sid.ir/paper/102377/fa

References

Alexander C (2020). Normalised difference spectral indices and urban land cover as indicators of land surface temperature (LST). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 86, 102013. https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.102013

Aliabadi, K. and A. Dadashi-roudbari (2019). Investigation of changes in spatial autocorrelation patterns of Iran's maximum temperature. Geographical Studies of Arid Areas, 6 (21): 86-104. (In Persian). https://jargs.hsu.ac.ir/article_161397_9d56569aa9c61455ffbb9eb4731adb91.pdf

Alibakhshi Z, Ahmadi M& Farajzadeh ASL M (2020). Modeling Biophysical Variables and Land Surface Temperature Using the GWR Model: Case Study-Tehran and Its Satellite Cities. Journal of Indian Society of Remote Sensing,48, 59-70.

Adegoke, C. and A. Sojobi (2015). "Climate change impact on infrastructure in Osogbo metropolis, south-west Nigeria." Journal of Emerging Trends in Engineering and AppliedSciences.167-156, (3) 6.
https://doi.org/10.22059/jne.2018.253756.1491

Akbari, H., Menon, S and Rosenfeld, A (2007). Global cooling: effect of urban albedo on global temperature algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. Int J Remote Sens.17. 2114-2089, (11).
https://heatisland.lbl.gov/publications/global-cooling-effect-urban-albedo

Alhawiti ،RH, Mitsova (2016). Using Landsat-8 data to investigate the correlation between urban heat island and urban land uses. International Journal of Research in Engineering and Technology, 5,457-466.
https://doi.org/10.15623/ijret.2016.050 .

Azhdari, A., Soltani, A. and Alidadi, M (2018). Urban morphology and landscape structure effect on land surface temperature: evidence from Shiraz, a semi-arid city. Sustainable Cities and Society. 41, 853-864.
https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.06.034

Balew A, Korme T (2020). Monitoring land surfacetemperature in Bahir Dar city and its surrounding using Landsat images. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science.
https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.02.001.

Bari, E, Nipa. N.J & Roy B (2021). Association of vegetation indices with atmospheric & biological factors using MODIS time series products, Environ. Challeng., 5 (2021), 100376.
https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100376

Chen, X.L. Zhao, H.M. Li, P.X. & Yin, Z.Y (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes, Remote Sensing of Environment.146-133,104.
http://dx.doi.org/10.13005/bbra/3111

Deilami K. Kamruzzaman M (2017). Modelling the urban heat island effect of smart growth policy scenarios in Brisbane, Land Use Pol., 64 (2017), 38-55.
https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.027

Deng, C. & Wu, C (**2013)**. Examining the Impacts of Urban Biophysical Compositions on Surface Urban Heat Island: A Spectral Unmixing and Thermal Mixing Approach. Remote Sensing of Environment, 131, 262-274. https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.020.

Emami& Emami (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)), 2018.04.13. Environment, Vol.127, 210-222.
https://jrors.yazd.iau.ir/article_542418

Ezimand, K., Kakroodi, A. A and Kiavarz, M (2019). The development of spectral indices for detecting builtup from LANDSAT TM:5.Remote Sensing of Environment.90.440-434,(4).
https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1488282

Feyisa G.L. Meilby H, Darrel G. Jenerette, S. Pauliet (2016). Locally optimized separability enhancement indices for urban land cover mapping: exploring thermal environmental consequences of rapid urbanization in Addis Ababa, Ethiopia, Remote Sens. Environ., 175, 14-31.
https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.026

Gohain, K.J. P. Mohammad & Goswami A (2021). Assessing the impact of land use land cover changes on land surface temperature over Pune city, India, Quat. Int., 575–576 (2021), 259-269.
https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.052.

Guanglei H. Hongyan Z, Yeqiao W, Zhihe Q, Zhengxiang Z (2010). Retrieval and spatial distribution of land surface temperature in the middle part of jilin province based on MODIS data, Sci. Geogr. Sin., 30 (3) (2010), 421-427. Accessed: Aug. 16, 2021.
https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10668

Guha, S. Govil. H (2021). An assessment on the relationship between land surface temperature and normalized difference vegetation index Environ. Dev. Sustain., 23 (2) (2021), 1944-1963.
https://doi.org/10.1007/s10668-020-00657-6

Guha S. Govil H, Dey A Gill N (2017). Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy, Eur. J. Remote Sens., 51 (1) (2018), 667-678.
https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494

Guha S. Govil H, Mukherjee S (2017). Dynamic analysis and ecological evaluation of urban heat islands in Raipur city, India,J. Appl. Remote Sens., 11 (3) (2017),1.
https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.036020

Guo G, Wu Z, Xiao R, Chen Y, Liu X& Zhang X (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. Landscape and Urban Planning, 135, 1-10.
https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.007

Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E., & Bounoua, L (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. Remote sensing of environment,114(3): 504-513.
https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.008.

Imran, ESE (2012). Detection of land use and surface temperature change in different resolutions. Geographic Information System Journal, 4,189-203.
https://doi.10.4236/jgis.2012.43024.

Jain S, Sannigrahi S, Sen S, Bhatt S, Chakraborti S& Rahmat S (2020). Urban heat island intensity and its mitigation strategies in the fast-growing urban area. Journal of Urban Management, 9(1), 54-66.
https://doi.org/10.1016/j.jum.2019.09.004.

Jiménez-Muñoz JC, Sobrino JA (2008). Split-window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared sensors. IEEE Geosci Remote Sens Lett 5:806-809.
https://doi.org/10.1109/LGRS.2008.2001636.

Lazzarini, M., Marpu, P.R. and Ghedira, H (2013). Temperature-land cover interactions: the inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. Remote Sensing of Environment. 130, 136-152.
https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.11.007

Lee PS-H, Park J (2020). An Effect of Urban Forest on Urban Thermal Environment in Seoul, South Korea, Based on Landsat Imagery Analysis.Forests, 11(6): 630.
https://doi.org/10.3390/f11060630.

Lei Wang, Yao Lu and Yunlong Yao (2019). Comparison of Three Algorithms for the Retrieval of Land Surface Temperature from Landsat 8 Images, 19 November 2019.
https://doi.org/10.3390/s19225049.

Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J (2015). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons.
ISBN: 978-1-118-34328-9.
Nie Q. Man W, Li Z, Y (2016). Huang, Spatiotemporal impact of urban impervious surface on land surface temperature in Shanghai, China,Can. J. Rem. Sens., 42 (6) (2016), 680-689.
https://doi.org/10.1080/07038992.2016.1217484
Pearsall H (2017). Staying cool in the compact city: vacant land and urban heating in Philadelphia, Pennsylvania, Appl. Geogr., 79 (2017), 84-92.
https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.010
Rasul, A., Balzter, H., Smith, C., Remedios, J., Adamu, B., Sobrino, J., Srivanit, M. and Weng, Q (2017). A review on remote sensing of urban heat and cool islands. Land. 6, 1-10.
https://doi.org/10.3390/land6020038
Rodriguez Lopez J.M, Heider K, Scheffran J (2017). Frontiers of urbanization: identifying and explaining urbanization hot spots in the south of Mexico City using human and remote sensing,Appl. Geogr., 79 (2017), 1-10.
https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.001
Rongali G, Keshari AK, Gosain AK, Khosa R (2018). A mono-window algorithm for land surface temperature estimation from Landsat 8, thermal infrared sensor data: a case study of the Beas River Basin, India. Pertanika J Sci Technol 26:829-840.
https://www.researchgate.net/publication/324982810.
Rongali, Gopinadh & Keshari, Ashok K. & Gosain, Ashwani K. & Rakesh Khosa (2018). Split-Window Algorithm for Retrieval of Land SurfaceTemperature Using Landsat 8 Thermal Infrared Data, Journal of Geovisualization and Spatial Analysis (2018). 2: 14.
https://doi.org/10.1007/s41651-018-0021.
Roy B. Bari E., N.J. Nipa, S.A (2021). Ani, Comparison of temporal changes in urban settlements and land surface temperature in Rangpur and Gazipur Sadar, Bangladesh after the establishment of city corporation, Remote Sens. Appl. Soc. Environ., 23 (2021), 100587.
https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100587
Sharma, A. Conry, P. Fernando, H. Hamlet, A.F. Hellmann, J. & Chen, F (2016). Green and cool roofs to mitigate urban heat island effects in the Chicago metropolitan area: Evaluation with a regional climate model. Environmental Research Letters ,(6)11064004(6).
https://doi 10.1088/1748-9326/11/6/064004
Sobrino JA, El Kharraz J, Li ZL (2003). Surface temperature and water vapor retrieval from MOODIS data. Int J Remote Sens 24:5161-5182.
https://doi.org/10.1080/0143116031000102502
Sobrino JA, Li Z, Stoll MP, Becker F (1996). Multi-channel and multiangle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. Int J Remote Sens 17:2089-2114.
https://doi.org/10.1080/01431169608948760
Sobrino JA, Romaguera M (2008). Land surface temperature retrieval from MSG1-SEVIRI data. Remote Sens Environ 92:247-254.
https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.06.009
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.

Wan Mohd Jaafar WS, Abdul Maulud KN, Muhmad Kamarulzaman AM, Raihan A, Md Sah S, Ahmad A, Saad SNM, Mohd Azmi AT, Jusoh Syukri NKA, Razzaq Khan W (2020). The Influence of Deforestation on Land Surface Temperature-A Case Study of Perak and Kedah, Malaysia. Forests, 11(6): 670. https://doi.org/10.3390/f11060670.

Weng, Q., Liu, H. and Lu, D (2007). Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using landscape metrics in city of Indianapolis, United States. Urban Ecosystems. 10, 203-219. https://doi.org 10.1007/s11252-007-0020-0.

Weng, Q., Lu, D.& Schubring, J (2006). Estimation of Land Surface Temperature Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies, Remote Sensing of Environment, 89(4), 467-483. https://doi.org10.1016/j.rse.2003.11.005.

Xu, S., Ehlers, M (2017). Hyperspectral image sharpening based on Ehlers fusion.International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W7: 941-947. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W7-941-2017.

Xu, H., Yunhao, C., Shangming, D., & Wenxia, Q (2011). Dynamical Monitoring and Evaluation Methods to Urban Heat Island Effects Based on RS & GIS. Procedia Environmental Sciences.Volume 10, 1228-1237. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.197.

Zareie S, Khosravi H, Nasiri A, Dastorani M (2016). Using Landsat Thematic Mapper (TM) sensor to detect change in land surface temperature in relation to land use change in Yazd, Iran. Solid Earth, 7(6): 1551. https://doi.org/10.5194/se-7-1551-2016.

Zhang, C., Luo, L., Xu, W., & Ledwith, V (2008). Use of local Moran's I and GIS toidentify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland. Science of theTotal Environment, 398(1), 212-221 https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.03.011.

Zhang, Y. Yiyun, C. Qing, D. & Jiang, P (2012). Study on Urban Heat Island Effect Based on Normalized Difference Vegetated Index: A Case Study of Wuhan City, the 18th Biennial Conference of International Society for Ecological Modeling, Procedia Environmental Sciences 13. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.048.