



## Investigating the relationship between land cover changes and land surface temperature in urban and non-urban areas of Mazandaran province

Sedigheh Lotfi<sup>1</sup>  , Tohid Alizadeh<sup>2</sup>

1. Professor of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. E: [s.lotfi@umz.ac.ir](mailto:s.lotfi@umz.ac.ir) (Corresponding Author)

2. Ph.D. Student of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. E: [t.alizadeh02@umail.umz.ac.ir](mailto:t.alizadeh02@umail.umz.ac.ir)

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Keywords

Land use and land cover (LULC) changes  
Land surface temperature (LST)  
Moran I index, Hot spots analysis  
Remote sensing, GIS

Land use and land cover change includes the conversion of natural land cover into impermeable surfaces as a product of the rapid growth of urban and rural areas. One of the topics that has attracted the attention of researchers in recent years is the impacts of these changes on the temperature of the earth's surface as a vital parameter for the environment and human life. In this study, the relationship between the Land use and land cover changes and the temperature of the earth's surface has been investigated using Remote sensing techniques by Madis sensor satellite images, focusing on Mazandaran province. In order to analyze the data, Moran's index and hot spot analysis have been used from 2012 to 2022. The findings showed that following the changes of the land cover in the studied area, the surface temperature of the province has increased by 1.46 degrees during the studied decade. Also, during the same period, the night temperature of the province has increased by 1.02 degrees Celsius and its daily temperature has increased by 1.89 degrees Celsius. Also, more than 98% of the urban lands, which are considered as the hottest parts of the province, are located in hot clusters. The results of this study can play an important role in better planning the regional development of Mazandaran province and create healthier residential environments and provide very useful information to help manage and plan the development of residential land in order to achieve environmental sustainability.

#### Article History:

Received:

15 AP 2024

Received in revised form:

21 JU 2024

Accepted

26 JU 2024

Available online:

22 AU 2024

**Citation:** Lotfi, S. & Alizadeh, T. (2024). Investigating the relationship between land cover changes and land surface temperature in urban and non-urban areas of Mazandaran province. *Journal of Geography*, 22 (81), 95-111.

 <http://doi.org/10.22034/iga.2024.2025957.1297>



© The Author (s).

Publisher: Iranian Geographical Associati

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## Extended Abstract

### Introduction

Land use and land cover change includes the conversion of natural land cover to impermeable surfaces (concrete and asphalt), a product of the rapid growth of cities and human settlements. One of the topics that has attracted the attention of researchers in recent years is the impacts of these changes on the temperature of the earth's surface as a vital parameter for the environment and human life. The cities and settlements of Mazandaran province in Iran have struggled in recent years due to the significant increase in the arrival of tourists and migrants with the increase in environmental and human heat released due to changes in land use and land cover. The purpose of this study is to investigate the impacts of land use and land cover changes on the land surface temperature in Mazandaran province in a ten-year period. The results of this study can play an important role in better planning the regional development of Mazandaran province and create healthier residential environments and provide very useful information to help manage and plan the development of residential land to achieve environmental sustainability and development.

### Method

Mazandaran province with an area of 23756 square kilometers, located in the southern part of the Caspian Sea. According to the last general census in 2016, the population of the province was 3283582 with 1084798 households. In terms of geomorphological situation, Mazandaran province can be divided into three main units: plains, foothills and mountains. The processed images of the Madis sensor on the Google Earth Engine platform have been used to prepare images related to the land cover and surface temperature of Mazandaran province in a 10-year period (2012-2022). Detection of land use and land cover changes based on the land cover classification scheme by the International Geosphere-Biosphere Program (IGBP) with a resolution of 500 meters and daily and nighttime surface temperature data and by recalling and processing Madis sensor images with a resolution of 1<sub>km</sub> were obtained. In order to analyze the spatial distribution of earth surface temperature data, Moran's statistic index was calculated using Moran's spatial autocorrelation analysis tool in ArcGIS. Also, hot spot analysis tool was used in ArcGIS, which is used to discover spatial cluster arrangements in land surface temperature data.

### Result and discussion

The findings of the land cover classification have shown that the urban lands of Mazandaran province have increased by 1244 hectares during the 10 years, which shows the increase in constructions and the expansion of urban and rural areas. The results of calculation of night and day surface temperature changes show lower temperature at high altitudes and higher temperature at lower altitudes. Urban lands, settlements and peripheral parts of the main communication axes have higher temperatures than other parts of the province. In general, from 2012 to 2022, the night temperature of the province has increased by 1.02 degrees Celsius, the daily temperature by 1.89 degrees Celsius, and the day and night temperature by 1.46 degrees Celsius. In 2022, urban lands with an average temperature of 21.04 degrees Celsius were the hottest parts of the province. The findings of the Moran's statistic index, calculated using the Moran's spatial autocorrelation analysis tool, showed a cluster pattern for the province's night and day land surface temperature data. Also, the findings of analysis of hot spots (Getis-Ord  $G_i^*$ ) based on day and night temperature data showed the accumulation of

hot clusters in urban areas, especially in plains. What is most important is that more than 98% of urban land is in hot clusters and the area of hot clusters of urban land has also had an upward rate during the studied period in terms of land cover area.

### **Conclusion**

The article focused on identifying the changes in land cover and surface temperature of Mazandaran province using remote sensing and GIS techniques, the relationship between them has been investigated using Moran's index and hot spot analysis from 2012 to 2022. According to the findings, in addition to the increase in the day and night temperature of the province by 1.46 degrees Celsius, more than 98% of urban land is located in hot clusters, which confirms the existence of the phenomenon of urban heat islands in the cities of Mazandaran province, and these areas introduced as one of the main factors in increasing the temperature of the earth's surface. The high population density of the province, the influx of migrants which accompanied by construction of seasonal and monsoon houses, have threatened the environment friendly land covers into urban and residential covers that minimized the possibility of surface water infiltration, contributed to increasing the surface temperature of the province. So that the area of hot clusters of urban land has had an upward rate during the studied period in terms of land cover area. Considering this destructive trend, it is necessary for urban planners and decision-makers to direct the development plans of urban and rural areas for the future to minimize the increase in the temperature of the earth's surface and the threats caused by climate change.

### **Funding**

There is no funding support.

### **Authors' Contribution**

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

### **Conflict of Interest**

Authors declared no conflict of interest.

### **Acknowledgments**

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

### **References**

- 1) Carlson, T. N., & Arthur, S. T. (2000). The impact of land use—Land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective. *Global and Planetary Change*, 25, 49–65. [https://doi.org/10.1016/s0921-8181\(00\)00021-7](https://doi.org/10.1016/s0921-8181(00)00021-7)
- 2) 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*, 104, 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>
- 3) ESRI (2021). ArcGIS Desktop Help 10.8.
- 4) Friedl, M., Sulla-Menashe, D. (2022). MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V061 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. Accessed 2023-12-30.
- 5) Grimmond, C. S. B. (2006). Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, 3-22. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0140-5>
- 6) Guha, S., & Govil, H. (2020). An assessment on the relationship between land surface temperature and normalized difference vegetation index. *Environmental Development and Sustainability*, 23, 1944–1963. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00657-6>

- 7) Hejazizadeh, Z., zeyaeen, P., & shirkhani, A. (2013). Comparison of surface temperature estimation using thermal band data. *Geography*, 11(38), 33-50. [Persian] [https://mag.iga.ir/article\\_705201.html?lang=en](https://mag.iga.ir/article_705201.html?lang=en)
- 8) Islam, S., & Ma, M. (2018). Geospatial monitoring of land surface temperature effects on vegetation dynamics in the Southeastern Region of Bangladesh from 2001 to 2016. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7, 486. <https://doi.org/10.3390/ijgi7120486>
- 9) Jamei, Y., Seyedmahmoudian, M., Jamei, E., Horan, B., Mekhilef, S., & Stojcevski, A. (2022). Investigating the Relationship between Land Use/Land Cover Change and Land Surface Temperature Using Google Earth Engine; Case Study: Melbourne, Australia. *Sustainability*, 14(22), 14868. <https://doi.org/10.3390/su142214868>
- 10) Kakeh Mami, A.; Ghorbani, A.; Asghari S., Sayyad; Ghaleh, E.; Ghafari, S. (2020). Investigating the relationship between land use changes and vegetation cover with land surface temperature in Namin County. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources (Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resource Sciences)*, 11(2), 27-48. [Persian] <https://doi.org/10.30495/girs.2020.674652>
- 12) Khaledi, Sh.; Keykhosravi, Gh.; Ahmadi Barati, F. (2022). Investigating the effect of land cover changes on land surface temperature using MODIS satellite imagery - A case study in northeastern Iran. *Geographical Information Journal "Sepehr"*, 31(123), 179-197. [Persian] <https://doi.org/10.22131/sepehr.2022.699921>
- 13) Khosravi, Y.; Heydari, M.; Tavakoli, A.; Zamani, A. (2017). Analyzing of the Relationship Between Land Surface Temperature Temporal Changes and Spatial Pattern of Land Use changes. *MJSP* 2017; 21 (3) :119-144. [Persian] <http://hsmasp.modares.ac.ir/article-21-4560-fa.html>
- 14) Li, X., Wang, Y., Li, J., & Lei, B. (2016). Physical and socioeconomic driving forces of land-use and land-cover changes: A Case Study of Wuhan City, China. *Discrete Dynamics in Nature and Society*. <https://doi.org/10.1155/2016/8061069>
- 15) Liping, C., Yujun, S., & Saeed, S. (2018). Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques—A case study of a hilly area, Jiangle, China. *PloS one*, 13(7), e0200493. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200493>
- 16) Lotfi, S.; Alizadeh, T. (2024). Identification and monitoring of urban growth and expansion using spectral unmixing of remote sensing images and geographic information system techniques at a local level (case study: Amol city). *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*. 16 (3): 147-164. [Persian] <https://doi.org/10.48308/gisj.2023.103727>
- 17) Mansouri, S., Khaledi, S., Borna, R., & Asadian, F. (2020). Effect of Land Use Change and Reduction of Urban Green Space on Intensification of Heat Island and Pollution in Tehran (Case Study: Region One). *Geography*, 17(63), 114-129 [Persian]. [https://mag.iga.ir/article\\_246008.html](https://mag.iga.ir/article_246008.html)
- 18) Mansourmoghaddam, M., Roustai, I., Cabral, P., Ali, A. A., Olafsson, H., Zhang, H., & Krzyszczak, J. (2023). Investigation and Prediction of the Land Use/Land Cover (LU/LC) and Land Surface Temperature (LST) Changes for Mashhad City in Iran during 1990–2030. *Atmosphere*, 14(4), 741. <https://doi.org/10.3390/atmos14040741>
- 19) Mazandarh Consulting Engineers (2009). Studies on the development of Mazandaran province, Organization for Management and Planning of Mazandaran province, National Budget and Planning Organization. [Persian]
- 20) Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical analysis*, 27(4), 286-306. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x>
- 21) Patel, S., Indraganti, M., & Jawarneh, R. N. (2023). A comprehensive systematic review: Impact of Land Use/Land Cover (LULC) on Land Surface Temperatures (LST) and outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 111130. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4565518>
- 22) Piringer, M., Grimmond, C. S. B., Joffre, S. M., Mestayer, P., Middleton, D. R., Rotach, M. W., ... & Tombrou, M. (2002). Investigating the surface energy balance in urban areas—recent advances and future needs. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 2, 1-16. [https://doi.org/10.1007/978-94-010-0312-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0312-4_1)
- 23) Rigi, M., Piri Sahragard, H., Dahmarde, M., & Shahraki, E. (2019). Evaluation of land use changes using remote sensing data (Case study: Nokabad watershed, Khash city). *Geography*, 16(59), 191-202. [Persian] [https://mag.iga.ir/article\\_248654.html?lang=en](https://mag.iga.ir/article_248654.html?lang=en)
- 24) Roustai, I., Olafsson, H., Moniruzzaman, M., Ardö, J., Zhang, H., Mushore, T. D., Shahin, S., & Azim, S. (2020). The 2000–2017 drought risk assessment of the western and southwestern basins in Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 1201–1221. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00751-8>

- 25) Rousta, I., Sarif, M. O., Gupta, R. D., Olafsson, H., Ranagalage, M., Murayama, Y., Zhang, H., & Mushore, T. D. (2018). Spatiotemporal analysis of land use/land cover and its effects on surface urban heat island using Landsat data: A case study of Metropolitan City Tehran (1988–2018). *Sustainability*, 10, 4433.
- 26) Safarrad, T.; Yousefi, Y.; Rezaei Tale'i, A. (2021). Investigating impermeable surface changes and land surface temperature in Qaemshahr. *Applied Research in Geographic Sciences*, 21(62), 183-199. [Persian] <http://dx.doi.org/10.52547/jgs.21.62.183>
- 27) Statistical Yearbook of Mazandaran (2021). Statistical yearbook of Mazandaran province, Statistics and Information Deputy, Organization for Management and Planning of Mazandaran province, National Budget and Planning Organization, Iran. [Persian] <https://mazandaran.mporg.ir/Portal/View/Page.aspx?PageId=fe9be606-e0c1-4d1f-9e9b-6eba993803e8>
- 28) Tran, D. X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S. W., Caetano, M., & Kieu, H. V. (2017). Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.001>
- 29) Wang, P., Yu, P., Lu, J., & Zhang, Y. (2022). The mediation effect of land surface temperature in the relationship between land use-cover change and energy consumption under seasonal variations. *Journal of Cleaner Production*, 340, 130804. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130804>
- 30) Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89, 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- 31) Wu, D., Zhao, X., Liang, S., Zhou, T., Huang, K., Tang, B., & Zhao, W. (2015). Time-lag effects of global vegetation responses to climate change. *Global Change Biology*, 21, 3520–3531. <https://doi.org/10.1111/gcb.12945>
- 32) Yang, J., Fu, L. Y., Zhang, Y., & Han, T. (2022). Temperature-and pressure-dependent pore microstructures using static and dynamic moduli and their correlation. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 55(7), 4073-4092. <https://doi.org/10.1007/s00603-022-02829-4>
- 33) Zeaiean, P.; Rabiei, H. R.; Alimohamadi, A.; (2006). Detection of Land Use/Cover Changes of Isfahan by Agricultural Lands Around Urban Area Using Remote Sensing and GIS Technologies. *MJSP* 2006; 9 (2) :41-54. [Persian] <http://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-6077-fa.html>



## بررسی ارتباط میان تغییرات پوشش زمین و دمای سطح زمین در مناطق شهری و غیر شهری استان مازندران

صدیقه لطفی<sup>۱</sup>، توحید علی زاده<sup>۲</sup>

۱. استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران، (نویسنده مسئول). E: [s.lotfi@umz.ac.ir](mailto:s.lotfi@umz.ac.ir)  
۲. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

تغییر کاربری و پوشش زمین شامل تبدیل پوشش طبیعی زمین (گیاهی و شنی) به سطوح غیرقابل نفوذ (بتنی و آسفالت)، محصول رشد سریع شهرها و سکونتگاه‌های انسانی است. یکی از موضوعاتی که در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است، تأثیر این تغییرات بر دمای سطح زمین به‌عنوان یک پارامتر حیاتی برای محیط‌زیست و زندگی انسان است. در این مطالعه، ارتباط بین روند تغییرات کاربری و پوشش زمین و دمای سطح زمین، با استفاده از فنون سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی مادیس با تمرکز بر استان مازندران مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور تحلیل داده‌ها، شاخص آماره‌ی موران و تحلیل نقاط داغ از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۲ میلادی مورد استفاده قرار گرفته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که به دنبال تغییرات پوشش زمین در منطقه‌ی مورد مطالعه، ۱/۴۶ درجه سانتی‌گراد دمای سطح زمین استان در طول یک دهه‌ی مورد بررسی افزایش یافته است. دمای شبانه‌ی استان در طول این دوره به میزان ۱/۰۲ درجه سانتی‌گراد و دمای روزانه‌ی آن به میزان ۱/۸۹ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. همچنین بیش از ۹۸ درصد از زمین‌های شهری که به‌عنوان گرم‌ترین نقاط استان به شمار می‌آیند، در خوشه‌های داغ قرار گرفته است. نتایج این مطالعه می‌تواند در برنامه‌ریزی بهتر توسعه‌ی منطقه‌ی استان مازندران و ایجاد محیط‌های سکونت‌ی سالم‌تر نقشی مهم ایفا کند و اطلاعات بسیار مفیدی را برای کمک به مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه‌ی زمین‌های مسکونی جهت دستیابی به پایداری محیط‌زیستی و توسعه پایدار فراهم کند.

### واژگان کلیدی:

تغییرات کاربری و پوشش زمین LULC  
دمای سطح زمین LST  
شاخص آماره‌ی موران  
تحلیل نقاط داغ  
سنجش‌ازدور RS

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۱/۲۷

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۵/۰۵

تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۰۶/۰۱

**استناد:** لطفی، صدیقه و علی زاده، توحید (۱۴۰۳). بررسی ارتباط میان تغییرات پوشش زمین و دمای سطح زمین در مناطق شهری و غیر شهری استان مازندران، فصلنامه علمی جغرافیا، (۸۱)، ۲۲، ۱۱۱-۹۵.

doi <http://doi.org/10.22034/iga.2024.2025957.1297>



## مقدمه و پیشینه

تبدیل پوشش طبیعی زمین (گیاهی و شنی) به سطوح غیرقابل نفوذ (بتنی و آسفالت)، محصول رشد سریع شهرها و سکونتگاه‌های انسانی است. تغییرات کاربری و پوشش زمین<sup>۱</sup> (LULC) که نتیجه یک برهم‌کنش چندبعدی میان پویایی‌های نهادی، اجتماعی-اقتصادی و محیطی است، به دلیل ارتباط با شرایط آب‌وهوایی محلی، منطقه‌ای و جهانی، چرخه کربن، پایداری تنوع زیستی، آب پاک، کشاورزی و امنیت غذایی نقش مهمی در ثبات مکانی و زمانی محیط‌زیستی ایفا می‌کند (الطفی و علی‌زاده، ۱۴۰۲: ۲). تغییرات کاربری و پوشش زمین که نشان‌دهنده‌ی چگونگی تعاملات بشر با محیط‌زیست خود است، در هر منطقه‌ای می‌تواند به‌طور گسترده بر کارکردها و فرآیندهای بوم‌شناختی حوزه تحت تأثیرش تأثیرگذار باشد (ریگی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۹۲). در مطالعات گذشته، تغییرات محیط‌زیستی جهانی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای، تغییرات آب و هوایی جهانی، از دست دادن تنوع زیستی و از دست دادن منابع خاک ارتباط نزدیکی با تغییرات کاربری و پوشش زمین داشته است (Li et al., 2018; Liping et al., 2016). جایگزینی سریع پوشش گیاهی و سبز طبیعی توسط سطوح غیرقابل نفوذ (تغییر کاربری زمین/پوشش زمین) بر محیط‌های محلی و منطقه‌ای نیز تأثیر می‌گذارد. تخلیه زمین‌های سبز، غلظت سطوح بتنی و آسفالتی، کاهش منابع آب زیرزمینی و کاهش سطح آب در مناطق شهری نمونه‌هایی از تغییرات کاربری و پوشش زمین هستند. تغییرات کاربری و پوشش زمین به‌طور بالقوه می‌تواند منجر به تغییر دمای سطح زمین<sup>۲</sup> شود (Jamei et al., 2022: 2). دمای سطح زمین در نتیجه‌ی نحوه تداخل سطوح زمین با جو، گرمایی تولید می‌کند که بر افراد تأثیر می‌گذارد. این عامل تحت تأثیر جنبه‌های مختلف هواشناسی مانند تابش خورشیدی، سرعت باد و ویژگی‌های سطحی است (Patel et al., 2023: 1). تغییر در کاربری اراضی علاوه بر تغییر در دمای شهری به دلیل از بین رفتن سطوح سبز و تبدیل آن به سطوح آسفالت و بتنی با قدرت جذب‌کنندگی بالای تشعشعات خورشیدی، باعث افزایش آلودگی هوا نیز می‌گردد (منصوری و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۱۴). بنابراین، لزوم توجه ویژه به اثرات تغییر کاربری و پوشش زمین بر دمای سطح زمین در برنامه‌ریزی‌های شهری و منطقه‌ای بسیار حیاتی به نظر می‌رسد.

در سال‌های اخیر، تصاویر چندطیفی و فناوری سنجش‌ازدور، درک بهتری از ابعاد مختلف محیط زمین فراهم می‌کنند (Mansourmoghaddam et al., 2023: 1). مطالعات مختلفی نیز در رابطه با کاربرد حسگرهای حرارتی در شهرها انجام شده است که از این میان می‌توان به مطالعات مربوط به رابطه بین ساختار فضایی الگوی حرارتی شهرها و اجزای سطح زمین، جریان و تعادل انرژی (Piringer et al., 2002; Grimmond, 2006; Yang et al., 2022) اشاره کرد. رابطه بین شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی<sup>۳</sup> و دمای سطح زمین نیز در مطالعات متعددی برآورد شده است (Weng et al., 2004; Islam and Ma, 2018; Wu et al., 2015; Guha and Govil, 2020; Rousta et al., 2020). همچنین یک همبستگی قوی بین دمای سطح زمین و شاخص تفاوت نرمال شده‌ی ساختمانی<sup>۴</sup> (Rousta et al., 2018) کشف شد. چندین مطالعه دیگر اثر تغییرات کاربری و پوشش زمین بر دمای سطح زمین را مورد بررسی قرار داده‌اند (Xiao & Weng, 2007; Carlson & Arthur, 2000; Chen et al., 2006; Wang et al., 2022) که نشان می‌دهد این ویژگی‌ها به‌طور مثبت همبستگی دارند و منجر به ایجاد جزایر حرارتی شهری<sup>۵</sup> شده است (Jiang & Tian, 2010). از میان پژوهش‌هایی که به ارتباط به میان تغییرات کاربری و

<sup>۱</sup>Land Use and Land Cover (LULC)<sup>۲</sup>Land surface temperature (LST)<sup>۳</sup>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)<sup>۴</sup>Normalized Difference Built-up Index (NDBI)<sup>۵</sup>Urban heat island (UHI)

پوشش زمین و دمای سطح زمین پرداخته‌اند، گوها و همکاران<sup>۱</sup> (2020) به تخمین دمای سطح زمین شهر رایپور در هند با تأکید بر جزیره گرمایی شهری و رابطه آن‌ها با شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال شده، شاخص تفاوت نرمال شده آب، شاخص تفاوت نرمال شده نواحی ساخته‌شده و شاخص چندبنددهی نرمال شده‌ی خشک‌سالی پرداخته‌اند. نتایج، قوی‌ترین همبستگی بین دمای سطح زمین و شاخص‌های کاربری و پوشش زمین را نشان داده است. جامعی و همکاران<sup>۲</sup> (2022) به تعیین و بررسی میزان و نوع تغییر کاربری و پوشش زمین در منطقه شهری ملبورن و شناسایی رابطه بین انواع پوشش زمین و دمای سطح زمین، شاخص تفاوت نرمال شده‌ی ساختمانی و شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۸ پرداخته‌اند. یافته‌ها همبستگی غیرمستقیم بین دمای سطح زمین و شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی و همبستگی مستقیم بین میانگین دمای سطح زمین و شاخص تفاوت نرمال شده‌ی ساختمانی برای هر دو سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. منصورمقدم و همکاران<sup>۳</sup> (2023) نیز با بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری پوشش زمین و دمای سطح زمین برای شهر مشهد در ایران طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۳۰، ارتباط بین مقدار دمای سطح زمین و حضور زمین‌های دارای ساختمان و مناطق بی پوشش و همچنین مناطق دارای پوشش گیاهی پرداخته است. همبستگی دمای سطح زمین با مناطق ساخته‌شده و بی پوشش مثبت و با مناطق دارای پوشش گیاهی منفی بوده است.

از میان مقالاتی که در ایران به روابط بین دمای سطح زمین و تغییرات کاربری و پوشش زمین پرداخته‌اند، خسروی و همکاران (۱۳۹۶)، به تحلیل رابطه بین تغییرات زمانی دمای سطح زمین و الگوی فضایی کاربری اراضی شهر زنجان در چهار دوره زمانی از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ با استفاده از آماره خودهمبستگی موران و تحلیل نقاط داغ پرداخته‌اند که نتایج نشان داده است، توزیع داده‌های دمای سطح زمین شهر زنجان به شکل خوشه‌ای بوده و دمای حداکثر متعلق به زمین‌های بایر بوده است. کاکه ممی و همکاران (۱۳۹۹) جهت بررسی رابطه‌ی بین کاربری و پوشش زمین با دمای سطح زمین در شهرستان نمین در بازه زمانی ۲۸ ساله به طبقه‌بندی کاربری اراضی از طریق نرم‌افزار eCognition و محاسبه دمای سطح زمین از طریق روش‌های چون الگوریتم تک کانال، الگوریتم چند کانال و روش چند زمانه پرداخته‌اند که نتایج کلی، رابطه معکوس بین شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین را نشان داده است. صفراد و همکاران (۱۴۰۰) نیز جهت بررسی تغییرات سطوح نفوذناپذیر و دمای سطح زمین در قائم‌شهر و مقایسه‌ی آن در سه مقطع زمانی سال‌های ۱۹۷۸، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و آزمون تعقیبی توکی (Tukey) بهره گرفته‌اند که مطابق نتایج، با توجه به افزایش چشمگیر سطوح نفوذناپذیر در دوره‌ی مورد مطالعه، دمای سطح زمین شهر حدود ۴ درجه افزایش یافته است. خالدی و همکاران (۱۴۰۱) به منظور بررسی تأثیر تغییرات پوشش زمین بر دمای رویه سطحی زمین در منطقه شمال شرق ایران در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ میلادی از ابزارهای متنوعی از جمله محاسبه همبستگی‌های موران جهانی و محلی، شاخص انسلین موران، ضریب همبستگی پیرسون و بررسی رابطه رگرسیونی بهره گرفته‌اند. یافته‌ها نشان داده است که در طی ۱۹ سال مورد بررسی دمای شبانه‌روزی لایه سکونتگاه‌ها حدود ۱/۱۲ درجه و لایه زمین‌های زراعی ۰/۴۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است.

برخی از شهرها به سرعت، نامنظم و بدون برنامه یا کنترل توسعه چندساله رشد می‌کنند که اغلب باعث اثرات محیط‌زیستی و خطرناک اجتماعی-اقتصادی بر رفاه فردی، اکولوژی شهری، گرمایش شهری، زمین‌های کشاورزی، پارامترهای هیدرولوژیکی و خرد اقلیم سطح، می‌شود (Mansourmoghaddam et al., 2023: 3). شهرها و سکونتگاه‌های استان مازندران در ایران نیز از این قاعده مستثنا نبوده و در سال‌های اخیر به دلیل افزایش قابل‌ملاحظه‌ی ورود گردشگران و مهاجران با افزایش گرمای

<sup>۱</sup>Guha et al.<sup>۲</sup>Jamei et al.<sup>۳</sup>Mansourmoghaddam et al.

محیطی و انسانی منتشر شده ناشی از تغییرات کاربری و پوشش زمین و گسترش سطوح نفوذناپذیر، دست‌وپنجه نرم کرده است. از آنجا که رابطه‌ی بین تغییرات کاربری و پوشش زمین با دمای سطح زمین مناطق شهری و غیر شهری استان مازندران تاکنون در ادبیات مذکور مورد بررسی قرار نگرفته است، هدف از این مطالعه، ارائه تغییرات کاربری و پوشش زمین و دمای سطح زمین در استان مازندران و ارتباط بین روندهای آن‌ها در یک دوره‌ی ده‌ساله است. نتایج این مطالعه می‌تواند در برنامه‌ریزی بهتر توسعه‌ی منطقه‌ای استان مازندران و ایجاد محیط‌های سکوتی سالم‌تر نقشی مهم ایفا کند و اطلاعات بسیار مفیدی را برای کمک به مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه‌ی زمین‌های مسکونی جهت دستیابی به پایداری محیط‌زیستی و توسعه پایدار فراهم کند.

## روش پژوهش

**شناسایی تغییرات کاربری و پوشش زمین:** استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و داده‌های حاصل از سنجش‌ازدور می‌تواند در موقعیت‌هایی که در آن‌ها چشم‌انداز در طول زمان در نتیجه‌ی فرایندهایی از قبیل فرسایش، جنگل‌زدایی، رشد نواحی شهری و ... سریعاً تغییر می‌کند و در یافتن تنوع الگوهای مکانی، تحلیل، ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات مؤثر واقع شود (ضیائی‌ان و همکاران، ۱۳۸۳: ۴۲). از همین رو، داده‌های رصد زمین، مانند تصاویر ماهواره‌ی سنتینل به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای به دست آوردن اطلاعات در مورد ویژگی‌های سطح زمین در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف، به‌طور گسترده‌ای برای مشاهده‌ی تغییرات کاربری و پوشش زمین شهری مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Zhu, 2017; Mohajane et al., 2018; Zhu et al., 2019; لطفی و علی زاده، ۱۴۰۲).

در این مقاله، برای تهیه‌ی تصاویر مربوط با پوشش زمین استان مازندران در یک دوره‌ی ۱۰ ساله، از تصاویر پردازش‌شده‌ی سنجنده‌ی مادیس در پلتفرم گوگل ارث انجین بهره گرفته شده است. تشخیص تغییرات کاربری و پوشش اراضی سطح زمین بر اساس طرح طبقه‌بندی پوشش زمین توسط برنامه بین‌المللی ژئوسفر-زیست کره (IGBP) تعریف شده است و دارای ۱۷ طبقه پوشش زمین که در گروه عمده‌ی سطوح آبی، زمین‌های شهری، زمین‌های زراعی، ساوانا، برفی و یخی، زمین‌های بایر و جنگل‌ها دسته‌بندی شده‌اند. این طبقه‌بندی با استفاده از یک الگوریتم طبقه‌بندی درخت تصمیم نظارت‌شده<sup>۴</sup> بر روی تصاویر ماهواره MODIS ترا و آکوا تصاویری با وضوح ۵۰۰ متری از انواع پوشش زمین ارائه داده است (Friedl & Sulla-Menashe, 2022). پس از استخراج این تصاویر، تحلیل‌های مرتبط در نرم افزار ArcGIS 10.8 انجام شده است.

**شناسایی تغییرات دمای سطح زمین:** دمای سطح زمین را می‌توان به عنوان یک متغیر کلیدی ارزشمند در مطالعات محیطی و اقلیم‌شناسی در نظر گرفت (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۴). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در استخراج دمای سطح زمین، این قابلیت را برای کاربر به وجود می‌آورد که به تناسب میزان رزولوشن تصاویر ماهواره‌ای، برای هر نقطه دلخواه مقدار دما را محاسبه نماید (خسروی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۲۰). دمای سطح زمین مشتق شده از تصاویر سنجش از راه دور، علاوه بر اینکه منبع اطلاعات منحصر به فردی برای تعریف جزایر حرارتی سطح شهری است بلکه برای نشان دادن گرم‌ترین و خنک‌ترین مناطق در ارتباط با تغییرات پوشش زمین نیز می‌تواند بهتر از در دمای جمع‌آوری شده از ایستگاه هواشناسی شهری عمل کند (Tran et al., 2016: 2). بسیاری از مطالعات، مستقیماً تصاویر سنجش‌ازدور را پردازش کرده و از آن به‌عنوان یک مجموعه

<sup>۱</sup>Geographic information systems (GIS)

<sup>۲</sup>Google earth engine

<sup>۳</sup>The International Geosphere-Biosphere Programme

<sup>۴</sup>Supervised decision-tree classification algorithm

داده استفاده می‌کنند. اگرچه محاسبه دمای سطح زمین از داده‌های سنجش از راه دور معادلات مختلفی را اعمال می‌کند و هر حسگر دارای متغیرهای خود است، معادله دمای سطح زمین که معمولاً استفاده می‌شود به صورت رابطه ۱ ارائه می‌شود که در آن LST دمای سطح زمین، TIR دمای تابش،  $T_a T_m$  دمای اتمسفر و  $\varepsilon$  تابش سطحی است (Patel et al., 2023: 4).

$$LST = TIR - (TIR - T_a T_m) / \varepsilon \quad \text{رابطه ۱}$$

در مقاله حاضر، نقشه‌های دمای سطح زمین شبانه و روزانه‌ی سطح زمین استان مازندران در دوره‌ی ۱۰ ساله نیز با پردازش تصاویر سنجنده‌ی مادیس تهیه شده است. داده‌ی دمای سطح زمین روزانه و شبانه‌ی سنجنده‌ی مادیس با رزولوشن ۱ کیلومتر، در پلتفرم گوگل ارث انجین فراخوانی شده و میانگین تصاویر هر سال به عنوان نقشه‌ی دمای سطح زمین روزانه یا شبانه‌ی آن سال ارائه شده است.

**تحلیل توزیع فضایی داده‌های دمای سطح زمین:** یکی از موضوعات مهم در بررسی و پایش دمای سطحی شهرها به کارگیری مدل‌های ارزیابی زمانی و مکانی است. از مهمترین ارزیابی‌ها، تحلیل فضایی است که می‌تواند تغییرات مکانی و زمانی داده‌های مکانی را به خوبی در یک منطقه مورد پایش قرار دهد (خسروی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۲۱). به منظور تحلیل توزیع فضایی داده‌های دمای سطح زمین، شاخص آماره‌ی موران (Moran, 1950) با استفاده از ابزار تحلیل خودهمبستگی فضایی موران<sup>۱</sup> در نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شده است. این ابزار، با اندازه‌گیری موقعیت و مقادیر عارضه‌ها به طور هم‌زمان، ارزیابی می‌کند که آیا الگوی بیان شده خوشه‌ای، پراکنده یا تصادفی است. آماره‌ی موران درجه همبستگی فضایی را در داده‌های ترتیبی و فاصله‌ای اندازه‌گیری می‌کند؛ در واقع خودهمبستگی فضایی کلی مجموعه داده‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. رابطه‌ی رایج آماره‌ی موران به صورت زیر است (Chen, 2013):

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{ij} (x_i - \mu)(x_j - \mu)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن  $v_{ij}$  عناصر یک ماتریس مجاورت فضایی را نشان می‌دهد. مقادیر حاصل، از تقریباً -۱ (پراکندگی کامل) تا +۱ (همبستگی کامل) متغیر است. در این تحلیل Z-score که نشان‌دهنده‌ی تعداد انحراف معیارها از میانگین است نیز محاسبه می‌شود. زمانی که Z-score صفر باشد، مبین الگوی تصادفی است و در صورتی که مقادیر Z-score مثبت و بالا به دست آید، خوشه‌بندی فضایی دارای ارزش بالا است. اگر Z-score منفی و پایین به دست آید، خوشه‌بندی فضایی دارای ارزش پایین است.

**تحلیل نقاط داغ:** از ابزار تجزیه و تحلیل نقاط داغ<sup>۲</sup> (Getis-Ord  $G_i^*$ ) در نرم‌افزار ArcGIS که توسط موسسه تحقیقات سامانه‌های محیطی<sup>۳</sup> برای کشف آرایش‌های خوشه‌ای فضایی در داده‌های دمای سطح زمین، استفاده شده است. این تکنیک جانمایی، نقاط داغ (مقادیر خوشه‌ای بالا) و نقاط سرد (مقادیر خوشه‌ای کم) را در کل یک منطقه با توجه به ویژگی هر نقطه از زمین (مقدار دمای سطح زمین) در کنار نقاط مجاور آن مشخص می‌کند (Ord and Getis, 1995). یک ویژگی با ارزش بالا جالب است اما ممکن است از نظر آماری نقطه داغ مهمی نباشد. برای اینکه یک نقطه از نظر آماری مهم باشد باید یک ویژگی با ارزش بالا باشد و با ویژگی‌های دیگری با مقادیر بالا نیز احاطه می‌شود تا به عنوان خوشه‌های داغ شناسایی شود. آمار محلی  $G_i^*$  Getis-Ord با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود (ESRI, 2021):

<sup>۱</sup>Spatial AutoCorrelation Morans

<sup>۲</sup>Hot Spots Analysis

<sup>۳</sup>Environmental Systems Research Institute (ESRI)

رابطه ۳)

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{i,j}\right)^2}{n-1}}}$$

معادل تعداد کل عارضه‌ها است.  $n$  و  $Z$  و عارضه  $i$  وزن فضایی بین عارضه  $W_{ij}$ ، مقدار توصیفی عارضه  $X_j$  که

رابطه ۴)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

رابطه ۵)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2}$$

خروجی آمار  $G_i^*$  که برای هر ویژگی در مجموعه داده بازگردانده می‌شود یک z-score است. امتیاز  $Z$  مثبت بالاتر، خوشه‌بندی شدیدتری از مقادیر بالا (نقطه داغ) را نشان می‌دهد و یک امتیاز  $Z$  منفی کوچک‌تر نشان‌دهنده خوشه‌های شدیدتر از مقادیر پایین (نقطه سرد) است (Ibid). z-score نشان‌دهنده اهمیت آماری خوشه‌بندی برای یک فاصله مشخص است. تحلیل نقاط داغ در پژوهش حاضر، بر اساس میانگین داده‌های دمای شبانه و دمای روزانه انجام شده است.

### محدوده مورد مطالعه

استان مازندران با وسعت ۲۳۷۵۶ کیلومترمربع، در نیمه‌ی شمالی کشور، بین ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی، از خط استوا و ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی، از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. حد شمالی آن، دریای خزر، حد جنوبی، استان‌های تهران و سمنان، حد غربی، گیلان و حد شرقی، استان گلستان است. بر اساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در آبان ۱۳۹۵، جمعیت استان با تعداد ۱۰۸۴۷۹۸ خانوار، ۳۲۸۳۵۸۲ نفر بوده است (سالنامه آماری مازندران، ۱۴۰۰). از نظر وضعیت ژئومورفولوژیکی، استان مازندران را می‌توان به سه واحد عمده‌ی جلگه‌ای، کوهپایه‌ای و کوهستانی تقسیم‌بندی نمود.

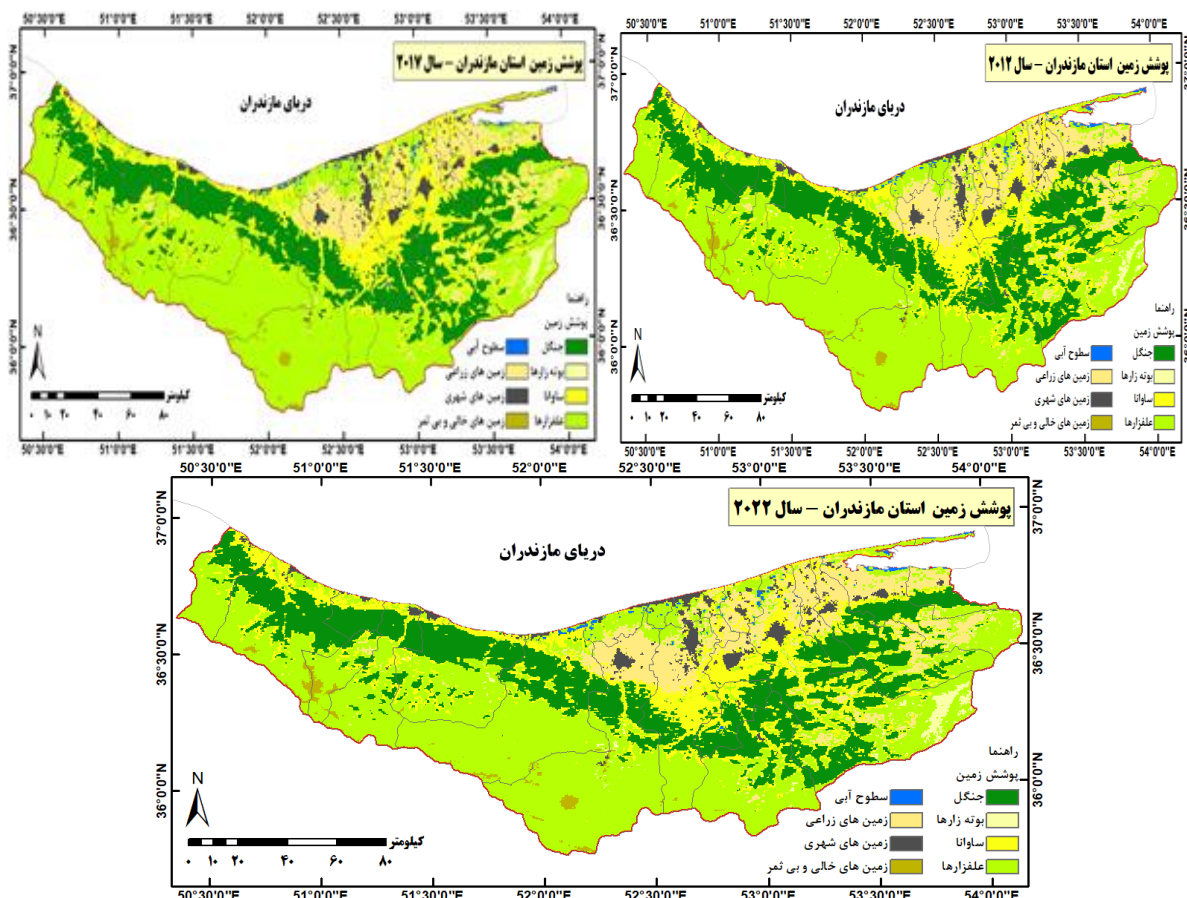
این استان به لحاظ ویژگی‌های دمایی در تیپ معتدل با ویژگی‌های اقلیمی به‌خصوص به خود طبقه‌بندی می‌گردد که از آن به‌عنوان آب‌وهوای معتدل خزری یاد می‌شود، مجاورت به دریا و ارتفاع کم سرزمین‌های جلگه‌ای و همچنین پوشش گیاهی غنی و تبخیر و تعرق حاصل از انبوه جنگل‌های موجود، باعث اعتدال دما و نوسان اندک دمای شبانه‌روزی در طی ماه‌ها و فصول مختلف سال می‌گردد (مهندسین مشاور مازندطرح، ۱۳۸۸). موقعیت استان مازندران و تقسیمات سیاسی آن در (شکل ۱) ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت استان مازندران در تقسیمات سیاسی کشور  
منبع: (نگارندگان بر اساس آخرین تقسیمات سیاسی کشور)

### بحث و یافته‌ها

**تغییرات پوشش سطح زمین:** طبقات پوشش زمین استخراج شده بر اساس طرح طبقه‌بندی پوشش زمین توسط IGBP از سطح استان مازندران به‌عنوان محدوده‌ی مورد مطالعه، در هشت نوع پوشش غالب زمین قرار دارند. بر این اساس، نقشه‌های پوشش زمین استان مازندران طی سال‌های ۲۰۱۲ الی ۲۰۲۲ بر اساس همین طبقه‌بندی استخراج مورد مقایسه قرار گرفته است که به دلیل حجم بالای داده‌ها تنها دو دوره‌ی پنج‌ساله شامل سه مقطع زمانی ۲۰۱۲، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۲ در شکل ۲ و جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۲. نقشه‌های پوشش سطح زمین استان مازندران بر اساس استاندارد IGBP (۲۰۱۲، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۲)  
منبع: (نگارندگان بر اساس تصاویر سنجنش‌ازدور)

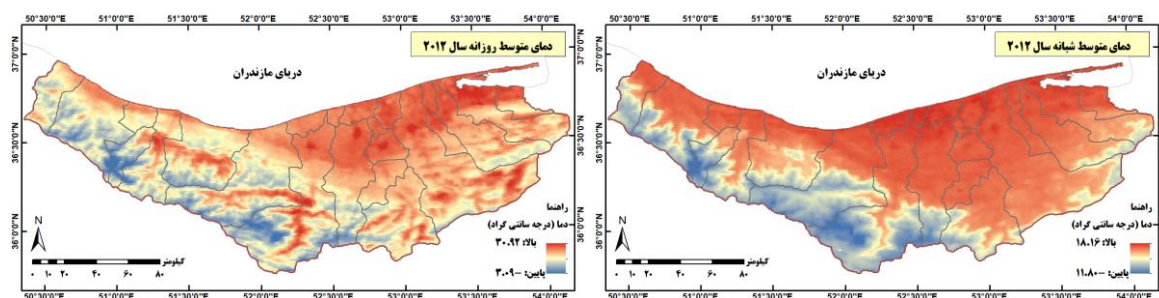
یافته‌ها نشان داده است، مساحت بوته‌زارها، جنگل‌ها و زمین‌های شهری در این دو دوره روندی افزایشی داشته است در حالی که ساوانا روند کاهشی داشته است. زمین‌های خالی و بی‌ثمر، سطوح آبی و علفزارها پس از افزایش نسبی در سال ۲۰۱۷ مجدداً تا سال ۲۰۲۲ کاهش یافته‌اند. بالعکس زمین‌های زراعی پس از کاهش در سال ۲۰۱۷ مجدداً افزایش یافته است. در سال ۲۰۲۲، علفزارها (۴۴/۰ درصد) و جنگل‌ها (۲۴/۵ درصد) بیشترین مساحت استان را به خود اختصاص داده‌اند. سطوح آبی و زمین‌های خالی و بی‌ثمر نیز به ترتیب با پوشش ۰/۵ و ۰/۹ درصد از سطح استان کمترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. زمین‌های شهری استان مازندران در طول ۱۰ سال مورد بررسی به میزان ۱۲۴۴ هکتار افزایش یافته است که نشان از افزایش ساخت‌وسازها و توسعه‌ی شهرها و سکونتگاه‌ها دارد.

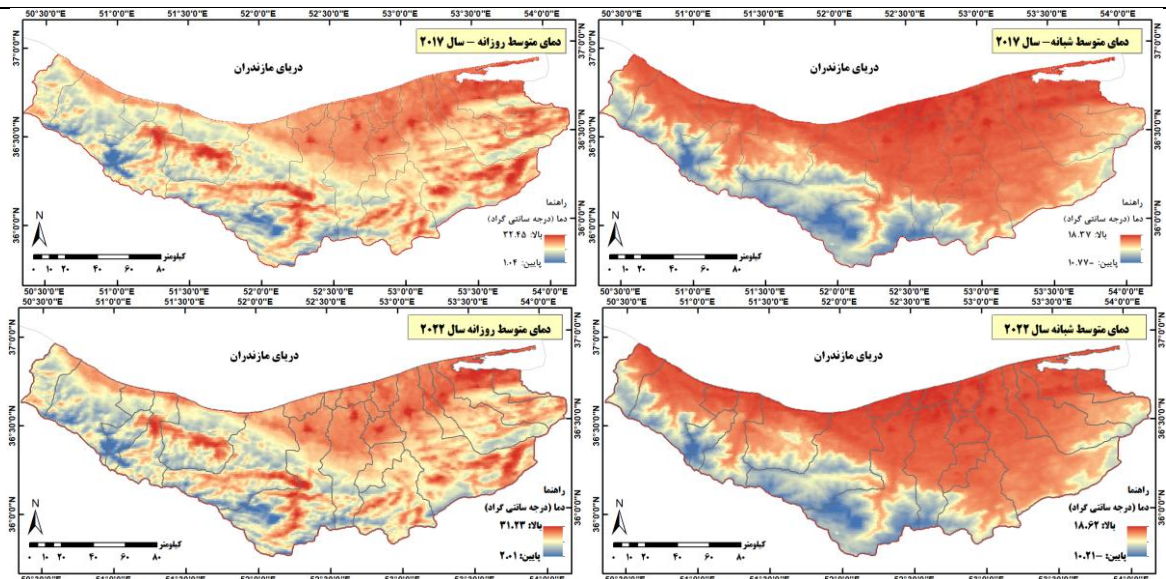
جدول ۱. سطوح تغییرات پوشش زمین استان مازندران بر اساس استاندارد IGBP (۲۰۲۲ و ۲۰۱۷، ۲۰۱۲)

سال	پوشش زمین	بوته‌زارها	جنگل‌ها	زمین‌های خالی و بی‌ثمر	زمین‌های زراعی	زمین‌های شهری	ساوانا	سطوح آبی	علفزارها
۲۰۱۲	مساحت (هکتار)	۱۸۱۱۵	۵۵۴۴۸۲	۲۱۶۶۵	۲۴۶۹۴۰	۶۲۵۲۳	۴۱۵۳۵۹	۱۲۲۸۲	۱۰۴۹۱۹۹
	سهم (درصد)	۰/۸	۲۳/۳	۰/۹	۱۰/۴	۲/۶	۱۷/۴	۰/۵	۴۴/۱
۲۰۱۷	مساحت (هکتار)	۲۵۷۴۷	۵۷۰۵۴۸	۲۲۳۶۵	۲۲۵۰۲۱	۶۳۴۱۰	۴۰۷۶۹۲	۱۳۷۴۸	۱۰۵۲۷۴۴
	سهم (درصد)	۱/۱	۲۴/۰	۰/۹	۹/۴	۲/۷	۱۷/۱	۰/۶	۴۴/۲
۲۰۲۲	مساحت (هکتار)	۲۷۹۴۱	۵۸۲۵۸۵	۲۰۹۷۶	۲۴۷۱۳۸	۶۳۷۷۷	۳۷۹۱۵۵	۱۱۴۳۷	۱۰۴۸۲۶۶
	سهم (درصد)	۱/۲	۲۴/۵	۰/۹	۱۰/۴	۲/۷	۱۵/۹	۰/۵	۴۴/۰

منبع: (نگارندگان بر اساس تصاویر سنجنش‌ازدور)

**تغییرات دمای سطح زمین:** یافته‌های محاسبه‌ی تغییرات دمای سطح زمین شبانه و روزانه‌ی سطح زمین استان مازندران در ۱۰ سال (۲۰۱۲-۲۰۲۲) که با پردازش تصاویر سنجنده‌ی مادیس به دست آمده است، به‌طور کلی، دمای پایین‌تر در ارتفاعات بالا و دمای بالاتر در ارتفاعات پایین‌تر را نشان می‌دهد. در واقع نواحی جلگه استان دمای سطح زمین بالاتر و نواحی و نواحی کوهستانی، دمای سطح زمین پایین‌تر دارند. زمین‌های شهری، سکونتگاه‌ها و قسمت‌های پیرامونی محورهای اصلی ارتباطی نسبت سایر نقاط استان دمای بالاتری دارند. قسمت‌هایی از نواحی کوهستانی با توجه به گرمای حاصل از تابش خورشید متوسط دمای روزانه بیشتری داشته‌اند. البته قسمت‌هایی که از سکونتگاه‌ها و محورها فاصله دارند، در تصاویر دمای شبانه خنک‌تر دیده می‌شوند. همچنین قسمت‌های شمالی استان در کرانه‌های دریای مازندران نیز با توجه به رطوبت بالای حاصل از تبخیر سطحی دریا متوسط دمای شبانه‌ی بالاتری را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به حجم بالای داده‌ها، تصاویر دمای شبانه و روزانه‌ی سه مقطع زمانی (۲۰۱۲، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۲) در (شکل ۳) ارائه شده است.





شکل ۳. متوسط دمای سطحی شبانه و روزانه‌ی استان مازندران (۲۰۱۲، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۲)

منبع: (نگارندگان بر اساس تصاویر سنجنش از دور)

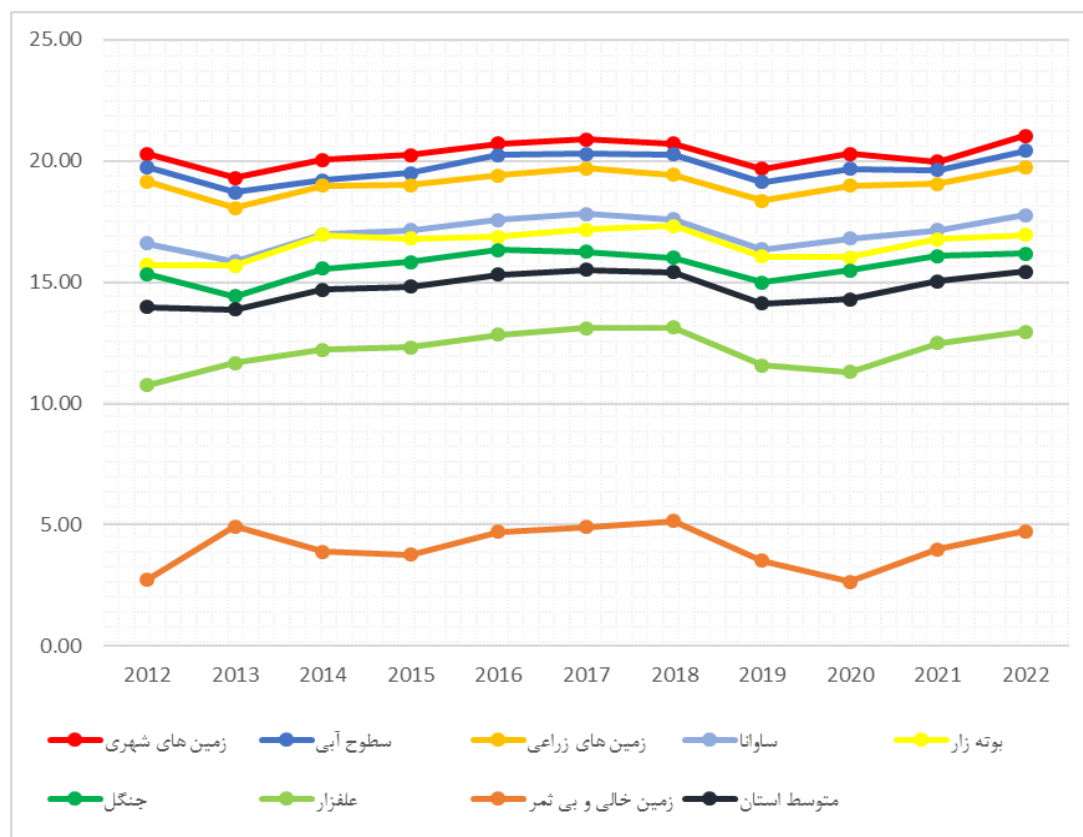
متوسط دمای سطح زمین استان مازندران با استفاده از ۲۹۵۰۵ پیکسل (با رزولوشن ۱ کیلومتر در ۱ کیلومتر) برای دمای شبانه و روزانه‌ی سطح زمین به دست آمده است. یافته‌ها نشان می‌دهد دمای شبانه‌ی استان از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۲ به میزان ۱/۰۲ درجه سانتی‌گراد و دمای روزانه‌ی آن به میزان ۱/۸۹ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. همچنین، محاسبه‌ی تغییرات دمای شبانه‌روزی استان بر اساس میانگین دمای شبانه و دمای روزانه در هر سال نشان می‌دهد، استان مازندران در ۱۰ سال موردبررسی به میزان ۱/۴۶ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر شده است. دمای شبانه‌روزی استان پس از یک افت نسبی در سال ۲۰۱۳، تا سال ۲۰۱۷ روند افزایشی داشته است و مجدداً پس از افت نسبی در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ به روند افزایشی خود ادامه داده است. در سال ۲۰۲۲، زمین‌های شهری با متوسط دمای ۲۱/۰۴ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین نقاط استان بوده‌اند. پس‌از آن، سطوح آبی (۲۰/۴۳ °C)، زمین‌های زراعی (۱۹/۷۵ °C)، ساوانا (۱۷/۷۶ °C)، بوته‌زارها (۱۶/۹۵ °C)، جنگل‌ها (۱۶/۱۸ °C) و علفزارها (۱۲/۹۶ °C) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. کمترین دمای استان نیز با اختلاف نسبتاً بیشتر نسبت سایر پوشش‌های زمین، به زمین‌های خالی و بی‌ثمر (۴/۷ °C) اختصاص دارد. این ترتیب و رتبه‌بندی دمایی در طول تمام ۱۰ سال موردبررسی نیز حفظ شده است. (جدول ۲ و شکل ۴)

جدول ۲. متوسط دمای سطح زمین شبانه و روزانه‌ی انواع پوشش زمین (۲۰۱۲ الی ۲۰۲۲)

متوسط استان	علفزارها	سطوح آبی	ساوانا	زمین‌های شهری	زمین‌های زراعی	زمین خالی و بی‌ثمر	جنگل‌ها	بوته‌زارها	دمای شبانه و روزانه
۱۹/۴۴	۱۷/۷۲	۲۳/۵۸	۲۱/۲۳	۲۵/۸	۲۴/۷۵	۹/۲۶	۱۸/۴۱	۲۳/۴۳	متوسط دمای روزانه ۲۰۱۲
۱۹/۵۹	۱۸/۹۷	۲۲/۷۸	۲۰/۶۹	۲۴/۹۳	۲۳/۸۴	۱۲/۱۳	۱۷/۷۱	۲۴/۲۳	متوسط دمای روزانه ۲۰۱۳
۲۰/۸۵	۲۰/۰۲	۲۳/۶۴	۲۲/۲۵	۲۵/۹۵	۲۵/۳	۱۰/۹۸	۱۹/۱۸	۲۶/۲۶	متوسط دمای روزانه ۲۰۱۴
۲۰/۹۴	۲۰/۰۷	۲۴/۳۸	۲۲/۳۹	۲۶/۱۹	۲۵/۲۸	۱۰/۵۵	۱۹/۳۸	۲۵/۸۹	متوسط دمای روزانه ۲۰۱۵
۲۱/۲۱	۲۰/۴۷	۲۴/۳۲	۲۲/۴	۲۵/۹۲	۲۵/۰۱	۱۲/۰۳	۱۹/۸۳	۲۵/۶۷	متوسط دمای روزانه ۲۰۱۶
۲۱/۷۶	۲۱/۲۹	۲۴/۹۱	۲۲/۹۴	۲۶/۵۱	۲۵/۸۵	۱۲/۶۲	۱۹/۷	۲۶/۲۹	متوسط دمای روزانه ۲۰۱۷
۲۱/۴۱	۲۰/۸۶	۲۵/۱	۲۲/۶	۲۶/۴۳	۲۵/۳۱	۱۲/۴۱	۱۹/۴۸	۲۶/۲	متوسط دمای روزانه ۲۰۱۸
۲۰/۱۵	۱۹/۲	۲۳/۸۶	۲۱/۵۳	۲۵/۵۵	۲۴/۴	۱۰/۸۱	۱۸/۶۴	۲۴/۹۷	متوسط دمای روزانه ۲۰۱۹
۲۰/۰۸	۱۸/۵۵	۲۴/۶	۲۱/۹	۲۶/۲۴	۲۵/۰۶	۹/۳۵	۱۸/۹۴	۲۴/۲۸	متوسط دمای روزانه ۲۰۲۰
۲۰/۹۸	۲۰/۱۱	۲۴/۴۸	۲۲/۱۹	۲۵/۴۵	۲۵/۰۴	۱۰/۹۱	۱۹/۶۳	۲۵/۷۲	متوسط دمای روزانه ۲۰۲۱
۲۱/۳۳	۲۰/۶۸	۲۵/۱۶	۲۲/۵۴	۲۶/۳۹	۲۵/۴۵	۱۲/۵۵	۱۹/۴۶	۲۵/۳۱	متوسط دمای روزانه ۲۰۲۲
۸/۵۵	۳/۸۲	۱۵/۹۱	۱۱/۹۹	۱۴/۷۷	۱۳/۵۷	۳/۸-	۱۲/۲۶	۷/۹۸	متوسط دمای شبانه ۲۰۱۲

متوسط استان	علفزار ها	سطوح آبی	ساوانا	زمین های شهری	زمین های زراعی	زمین خالی و بی ثمر	جنگل ها	بوته زار ها	دمای شبانه و روزانه
۸/۱۹	۴/۳۹	۱۴/۶۷	۱۱/۰۲	۱۳/۶۸	۱۲/۳۲	۲/۲۵-	۱۱/۱۳	۷/۱۷	متوسط دمای شبانه ۲۰۱۳
۸/۵۳	۴/۴۵	۱۴/۸	۱۱/۷	۱۴/۱۶	۱۲/۶۸	۳/۱۷-	۱۱/۹۵	۷/۶۸	متوسط دمای شبانه ۲۰۱۴
۸/۷۲	۴/۵۸	۱۴/۶۲	۱۱/۹	۱۴/۳۲	۱۲/۷۵	۳-	۱۲/۳	۷/۷۳	متوسط دمای شبانه ۲۰۱۵
۹/۴۴	۵/۲	۱۶/۱۸	۱۲/۷۴	۱۵/۵	۱۳/۸۲	۲/۶۲-	۱۲/۸۵	۸/۰۷	متوسط دمای شبانه ۲۰۱۶
۹/۲۹	۴/۹۶	۱۵/۷۱	۱۲/۷۱	۱۵/۲۷	۱۳/۵۷	۲/۸-	۱۲/۸۱	۸/۰۵	متوسط دمای شبانه ۲۰۱۷
۹/۴۳	۵/۴۳	۱۵/۴۴	۱۲/۵۷	۱۵/۰۴	۱۳/۵۸	۲/۱-	۱۲/۵۴	۸/۴۷	متوسط دمای شبانه ۲۰۱۸
۸/۱۱	۳/۹۶	۱۴/۴	۱۱/۱۷	۱۳/۸	۱۲/۳۳	۳/۷۴-	۱۱/۳۶	۷/۱۵	متوسط دمای شبانه ۲۰۱۹
۸/۵۵	۴/۰۸	۱۴/۷۸	۱۱/۷۱	۱۴/۳۷	۱۲/۹۲	۴/۰۶-	۱۲/۰۵	۷/۸	متوسط دمای شبانه ۲۰۲۰
۹/۱	۴/۸۶	۱۴/۷۹	۱۲/۱۲	۱۴/۵۳	۱۳/۰۹	۲/۹۳-	۱۲/۵۵	۷/۸۶	متوسط دمای شبانه ۲۰۲۱
۹/۵۷	۵/۲۴	۱۵/۶۹	۱۲/۹۹	۱۵/۶۸	۱۴/۰۶	۳/۰۶-	۱۲/۹	۸/۵۹	متوسط دمای شبانه ۲۰۲۲
۱۳/۹۹	۱۰/۷۷	۱۹/۷۵	۱۶/۶۱	۲۰/۲۹	۱۹/۱۶	۲/۷۳	۱۵/۳۴	۱۵/۷	متوسط دمای شبانه روزی ۲۰۱۲
۱۳/۸۹	۱۱/۶۸	۱۸/۷۳	۱۵/۸۵	۱۹/۳۱	۱۸/۰۸	۴/۹۴	۱۴/۴۲	۱۵/۷	متوسط دمای شبانه روزی ۲۰۱۳
۱۴/۶۹	۱۲/۲۳	۱۹/۲۲	۱۶/۹۷	۲۰/۰۵	۱۸/۹۹	۳/۹۱	۱۵/۵۶	۱۶/۹۷	متوسط دمای شبانه روزی ۲۰۱۴
۱۴/۸۳	۱۲/۳۲	۱۹/۵	۱۷/۱۴	۲۰/۲۵	۱۹/۰۱	۳/۷۸	۱۵/۸۴	۱۶/۸۱	متوسط دمای شبانه روزی ۲۰۱۵
۱۵/۳۲	۱۲/۸۳	۲۰/۲۵	۱۷/۵۷	۲۰/۷۱	۱۹/۴۱	۴/۷۱	۱۶/۳۴	۱۶/۸۷	متوسط دمای شبانه روزی ۲۰۱۶
۱۵/۵۲	۱۳/۱۳	۲۰/۳۱	۱۷/۸۳	۲۰/۸۹	۱۹/۷۱	۴/۹۱	۱۶/۲۶	۱۷/۱۷	متوسط دمای شبانه روزی ۲۰۱۷
۱۵/۴۲	۱۳/۱۵	۲۰/۲۷	۱۷/۵۹	۲۰/۷۳	۱۹/۴۴	۵/۱۶	۱۶/۰۱	۱۷/۳۴	متوسط دمای شبانه روزی ۲۰۱۸
۱۴/۱۳	۱۱/۵۸	۱۹/۱۳	۱۶/۳۵	۱۹/۶۷	۱۸/۳۶	۳/۵۳	۱۵	۱۶/۰۶	متوسط دمای شبانه روزی ۲۰۱۹
۱۴/۳۱	۱۱/۳۲	۱۹/۶۹	۱۶/۸	۲۰/۳۱	۱۸/۹۹	۲/۶۵	۱۵/۴۹	۱۶/۰۴	متوسط دمای شبانه روزی ۲۰۲۰
۱۵/۰۴	۱۲/۴۸	۱۹/۶۴	۱۷/۱۵	۱۹/۹۹	۱۹/۰۷	۳/۹۹	۱۶/۰۹	۱۶/۷۹	متوسط دمای شبانه روزی ۲۰۲۱
۱۵/۴۵	۱۲/۹۶	۲۰/۴۳	۱۷/۷۶	۲۱/۰۴	۱۹/۷۵	۴/۷۵	۱۶/۱۸	۱۶/۹۵	متوسط دمای شبانه روزی ۲۰۲۲

منبع: (تحلیل نگارندگان)



شکل ۴. متوسط دمای سطحی شبانه روزی استان به تفکیک انواع پوشش زمین در دوره ۱۰ ساله

منبع: (تحلیل نگارندگان)

**الگوی توزیع فضایی داده‌های دمای سطح زمین**

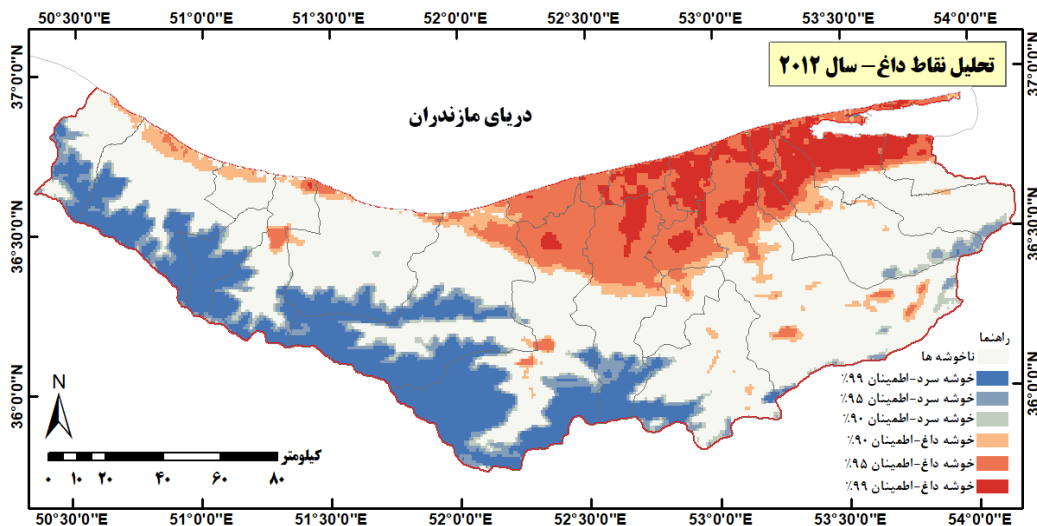
یافته‌های شاخص آماری موران که با استفاده از ابزار تحلیل خودهمبستگی فضایی موران محاسبه شده است، الگوی خوشه‌ای را برای داده‌های دمای شبانه و روزانه‌ی سطح زمین استان مازندران نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر Z-score نیز خوشه‌بندی فضایی دارای ارزش بالا است. البته این خوشه‌بندی در دمای شبانه نسبتاً بالاتری دارد. رقم بالای متوسط شاخص موران نیز همبستگی تقریباً کامل را نشان می‌دهد (جدول ۳).

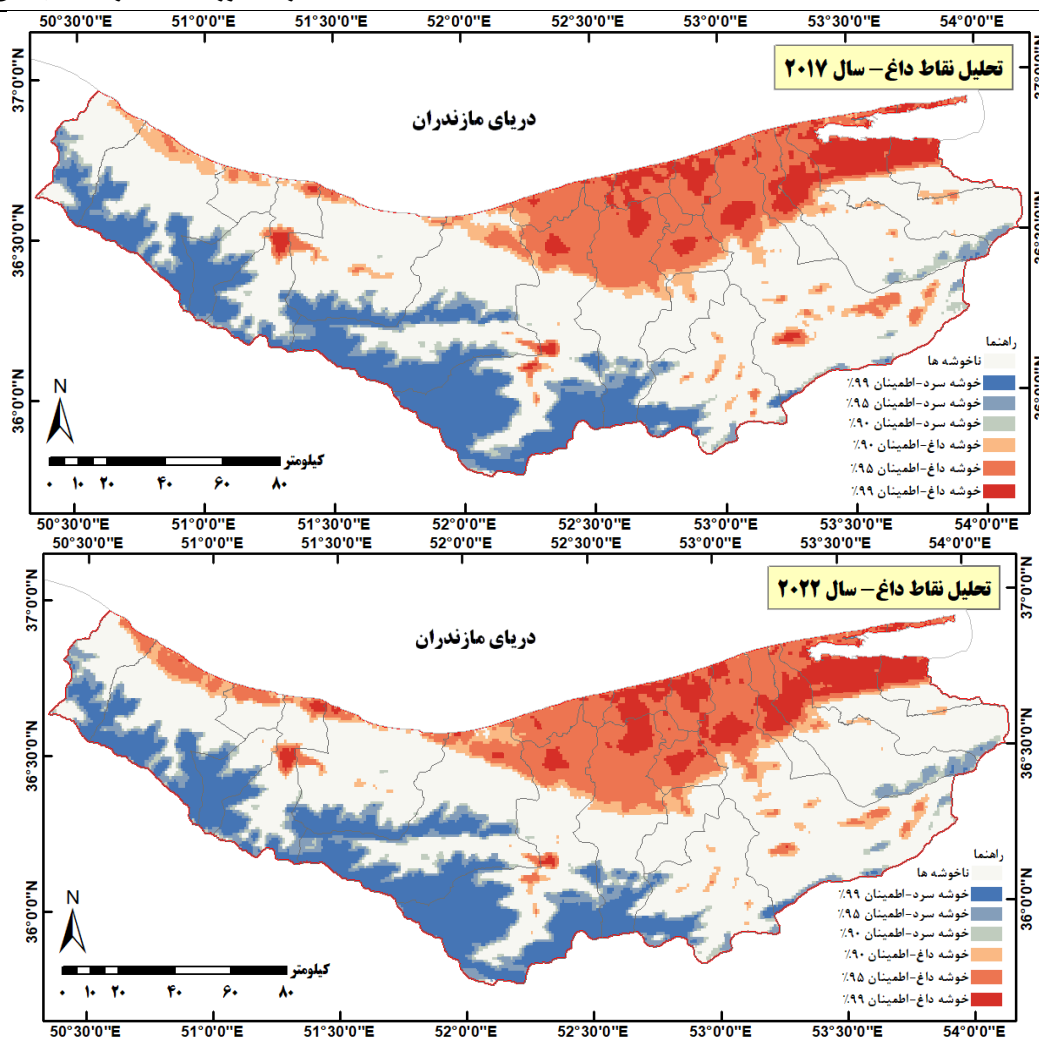
**جدول ۳. خروجی عددی آماره موران برای دمای سطح زمین (۲۰۱۲، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۲)**

زمان	شکل شاخص	سطح معنی‌داری p-value	Z-score	متوسط شاخص موران
میانگین دمای روز	خوشه‌ای	۰	۲۳۲	۰/۹۶
میانگین دمای شب	خوشه‌ای	۰	۲۳۷	۰/۹۸
میانگین دمای شبانه‌روزی	خوشه‌ای	۰	۲۳۵	۰/۹۸

منبع: (تحلیل نگارندگان)

**تحلیل نقاط داغ:** یافته‌های تجزیه و تحلیل نقاط داغ (Getis-Ord  $G_i^*$ ) بر اساس داده‌های دمای شبانه‌روزی استان مازندران در سه مقطع زمانی ۲۰۱۲، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۲، تجمع خوشه‌های داغ در نقاط شهری به‌ویژه در نواحی جلگه‌ای را نشان می‌دهد. خوشه‌های سرد نیز عمدتاً به نواحی کوهستانی استان اختصاص دارد که تجمع آن از ارتفاعات غرب استان (رامسر) آغاز و تا شهرستان‌های بابل و سوادکوه و کشیده شده است. آنچه در درجه نخست به‌عنوان مؤثرترین عامل توزیع خوشه‌ها مشاهده می‌شود، عامل ارتفاع از سطح دریا است (نقشه‌ی طبقات ارتفاعی استان مازندران در پیوست ارائه شده است). عمده‌ی خوشه‌های سرد در نواحی کوهستانی و عمده‌ی خوشه‌های داغ در نواحی جلگه استان واقع شده است. البته درجه‌بندی خوشه‌های داغ برحسب اطمینان نشان می‌دهد توسعه‌ی شهرها و سکونتگاه‌ها با قرارگیری بیشتر شهرها در خوشه‌های با اطمینان ۹۹ درصد نقش چشم‌گیری در افزایش دمای سطح زمین استان مازندران ایفا کرده است (شکل ۵).



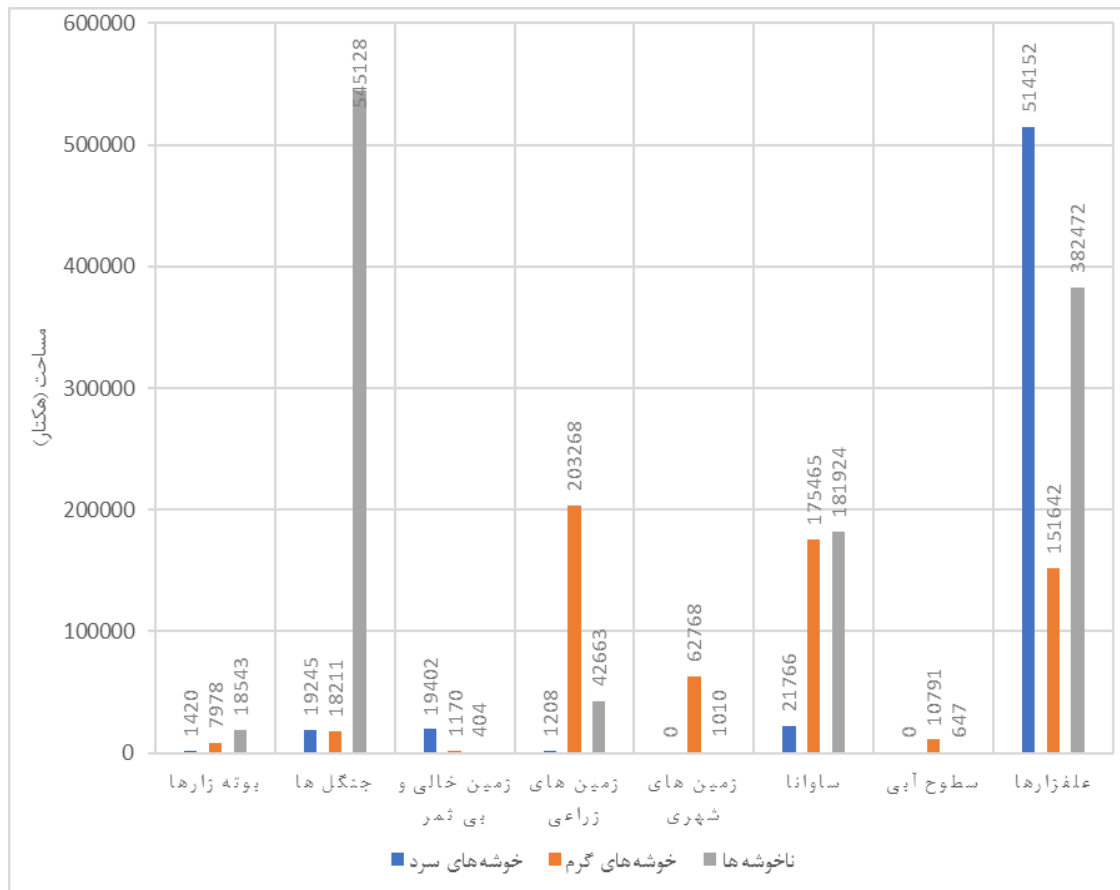


شکل ۵. وضعیت نقاط داغ، نقاط سرد و ناخوشه‌ها بر اساس متوسط دمای سطحی شبانه‌روزی (۲۰۱۲، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۲)  
منبع: (تحلیل نگارندگان)

بر اساس توزیع مساحتی خوشه‌ها در سطح استان مازندران، بیشترین مساحت خوشه‌های داغ به زمین‌های زراعی و در رتبه‌های بعدی ساوانا، علفزار و زمین‌های شهری قرار دارند. این اراضی عمدتاً در نیمه شمالی استان واقع شده‌اند. خوشه‌های سرد نیز عمدتاً به علفزارهای واقع در نواحی کوهستانی اختصاص دارد. البته مساحت بالای علفزارهای در نقشه‌ی پوشش زمین استان نیز قابل چشم‌پوشی نیست. اما آنچه در پژوهش حاضر اهمیت بالایی دارد قرارگیری بیش از ۹۸ درصد زمین‌های شهری در خوشه‌های داغ است.

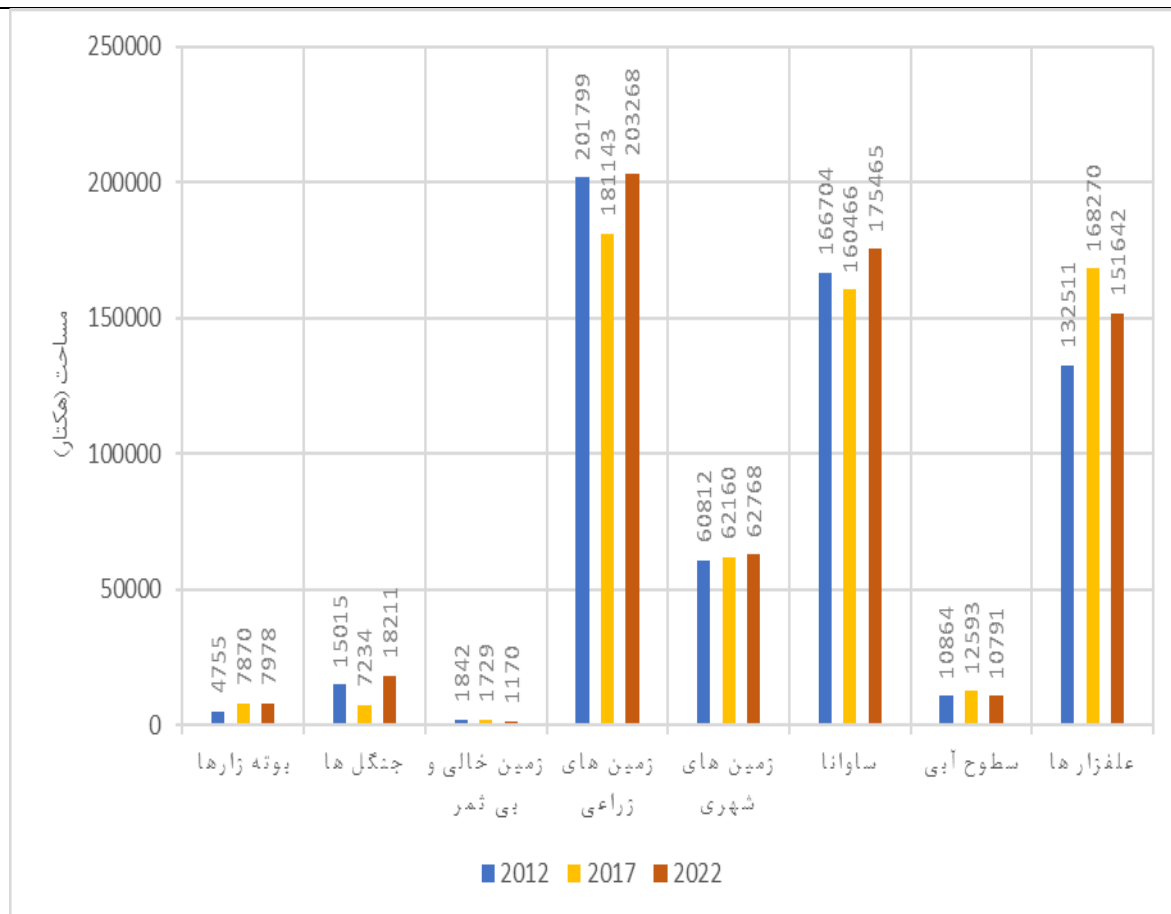
نواحی جلگه‌ای و نیمه‌ی شمالی استان مازندران از سویی به دلیل ویژگی‌های آب و هوایی بهتر، شرایط مساعدتری برای سکونت داشته است و از دیرباز، محل سکونت سهم قابل‌توجهی از جمعیت استان مازندران بوده است. از سویی دیگر ورود مهاجران از روستاها و آبادی‌های پیرامونی به همراه مهاجران واردشده از سایر استان‌ها و همچنین ساخت خانه‌های فصلی و موسمی جهت گذران اوقات فراغت، افزایش ساخت‌وسازها را در طول دوره مورد مطالعه به دنبال داشته است. البته این افزایش ساخت‌وساز در نواحی کوهستانی نیز روی داده است اما با توجه به شرایط آب و هوایی سرد و کوهستانی این نواحی و تفاوت چشمگیر آن با نواحی جلگه‌ای استان، همچنان به‌عنوان خوشه‌های سرد مشاهده می‌شوند. همچنین بیش از ۹۴ درصد از سطوح آبی در خوشه‌های داغ قرار گرفته است و همانند زمین‌های شهری هیچ خوشه‌ی سردی را به خود اختصاص نداده است.

این امر به این دلیل است که سطوح آبی در هنگام روز دمای خورشید را به خود جذب می‌کند و به دلیل بالا بودن ظرفیت گرمایی ویژه آب در هنگام شب دمای خود را دیرتر از دست می‌دهد. بیش از ۸۲ درصد از زمین‌های زراعی نیز در خوشه‌های داغ قرار دارد. در مقابل بیش از ۹۲ درصد از زمین‌های خالی و ۴۹ درصد از علفزارها که عمدتاً در نواحی کوهستانی استان واقع شده‌اند، در خوشه‌های سرد قرار دارند. جنگل‌ها در حالی بیشترین ناخوشه‌های دمای استان مازندران را به خود اختصاص داده است که تنها ۶ درصد از آن در خوشه‌های داغ و سرد قرار دارد و حدود ۹۴ درصد از مساحت آن در ناخوشه‌ها قرار دارد.



شکل ۶. توزیع مساحتی انواع پوشش زمین در خوشه‌های داغ و سرد و ناخوشه‌ها (۲۰۲۲)  
منبع: (تحلیل نگارندگان)

در طول ده سال مورد بررسی، هم‌زمان با افزایش متوسط دمای سطح زمین، مساحت خوشه‌های داغ در بوته‌زارها، جنگل‌ها، زمین‌های زراعی، زمین‌های شهری، ساوانا و علفزارها به ترتیب به میزان ۳۳۲۲، ۳۱۹۶، ۱۴۶۸، ۱۹۵۶، ۸۷۶۱ و ۱۹۱۳۰ هکتار افزایش یافته است. همچنین میزان خوشه‌های داغ واقع در سطوح آبی و زمین‌های خالی به میزان ۷۳ و ۶۷۲ هکتار کاسته شده است که البته دلیل اصلی این کاهش می‌تواند کاهش مساحت این دو نوع پوشش زمین در سطح استان (جدول ۲) باشد. آنچه بیش از همه حائز اهمیت است افزایش مساحت خوشه‌های داغ زمین‌های شهری است که در طول دوره‌ی مورد مطالعه به لحاظ مساحت پوشش زمین نیز نرخ صعودی داشته است. مهم‌ترین عامل این افزایش سطح نیز می‌تواند افزایش ساخت‌وسازها در استان مازندران باشد.



شکل ۷. توزیع مساحتی انواع پوشش زمین در خوشه‌های داغ (۲۰۲۲ و ۲۰۱۷، ۲۰۱۲).  
منبع: (تحلیل نگارندگان)

### نتیجه‌گیری

در این مقاله، با تمرکز بر شناسایی روند تغییرات پوشش زمین و دمای سطح زمین استان مازندران با استفاده از فنون سنجش‌ازدور و GIS، ارتباط میان آن‌ها با استفاده از شاخص آماری موران و تحلیل نقاط داغ از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۲ میلادی مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق یافته‌های پژوهش حاضر، دمای شبانه‌ی استان در طول یک دهه موردبررسی به میزان  $1/02$  درجه سانتی‌گراد و دمای روزانه‌ی آن به میزان  $1/89$  درجه سانتی‌گراد و دمای شبانه‌روزی به میزان  $1/46$  درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. توزیع خوشه‌های سرد و داغ استان نشان می‌دهد، عمده‌ی خوشه‌های سرد در نواحی کوهستانی و عمده‌ی خوشه‌های داغ در نواحی جلگه استان واقع شده است.

افزون بر اینکه زمین‌های شهری استان مازندران در طول ۱۰ سال موردبررسی به میزان ۱۲۴۴ هکتار افزایش یافته است، بیش از ۹۸ درصد زمین‌های شهری در خوشه‌های داغ قرار گرفته است. این امر که تأیید‌کننده‌ی وجود پدیده‌ی جزایر حرارتی شهری در شهرهای استان مازندران است، محیط‌های شهری و سکونتگاهی را به‌عنوان یکی از عوامل اصلی در افزایش دمای سطح زمین معرفی می‌کند. تراکم جمعیتی بالای استان مازندران ورود قابل‌ملاحظه‌ی مهاجران و همچنین ساخت خانه‌های فصلی و موسمی و به دنبال آن افزایش ساخت‌وسازها و تغییر پوشش‌های زمین دوستدار محیط‌زیست با قابلیت نفوذ بیشتر آب‌های سطحی، به پوشش‌های شهری و سکونتگاهی که امکان نفوذ آب‌های سطحی را به حداقل می‌رساند نقش به‌سزایی در افزایش دمای سطح زمین استان داشته است.

به طوری که مساحت خوشه‌های داغ زمین‌های شهری، در طول دوره‌ی مورد مطالعه نیز به لحاظ مساحت پوشش زمین، نرخی صعودی داشته است. با توجه به این روند مخرب ضروری است، برنامه‌ریزان شهری و تصمیم‌گیران در مقیاس شهر و شهرستان و استان برنامه‌های توسعه شهرها و سکونتگاه‌ها برای آینده را به سوی به حداقل رساندن افزایش دمای سطح زمین و تهدیدات ناشی از تغییرات آب و هوایی مداوم همچون یکپارچه‌سازی و ارتقای فضاهای سبز در مناطق شهری، جلوگیری از رشد بی‌رویه‌ی شهرها و سکونتگاه‌ها، جلوگیری از تخریب منابع طبیعی و کمک به احیای آن، جلوگیری قاطعانه از ساخت‌وسازهای غیرمجاز خارج از محدوده‌ی طرح‌های توسعه‌ی مصوب سوق دهند.

### حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

### سهم نویسندگان

نویسندگان در انجام این پژوهش سهم برابر دارند.

### تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند، هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از افرادی که در نشر این مقاله همکاری داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

### منابع

- حجازی زاده، زهرا؛ ضیائیان، پرویز؛ شیرخانی، علیرضا (۱۳۹۲). مقایسه تخمین دمای سطح با استفاده از داده‌های باند حرارتی، جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیایی ایران)، ۱۱(۳۸)، ۳۳-۵۰.  
[https://mag.iga.ir/article\\_705201.html?lang=fa](https://mag.iga.ir/article_705201.html?lang=fa)
- خالدی، شهریار؛ کیخسروی، قاسم؛ احمدی براتی، فرزانه (۱۴۰۱). بررسی اثر تغییرات پوشش زمین بر دمای روبه سطحی زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس - مطالعه موردی: شمال شرق ایران. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۳۱(۱۲۳)، ۱۷۷-۱۷۹.  
<https://doi.org/10.22131/sepehr.2022.699921>
- خسروی، یونس؛ حیدری، محمد علی؛ توکلی، آزاده؛ زمانی، عباسعلی (۱۳۹۶). بررسی رابطه تغییرات زمانی دمای سطح زمین و الگوی فضایی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهر زنجان). آمایش فضا و ژئوماتیک. ۲۱ (۳): ۱۴۴-۱۱۹.  
<http://hsmasp.modares.ac.ir/article-21-4560-fa.html>
- ریگی، منصور؛ پیری صحراگرد، حسین؛ دهمرده، محمدرضا؛ شهرکی، ابراهیم (۱۳۹۷). ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نوک‌آباد، شهرستان خاش)، جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیایی ایران)، ۱۶ (۵۹)، ۱۹۱-۲۰۲.  
[https://mag.iga.ir/article\\_248654.html?lang=fa](https://mag.iga.ir/article_248654.html?lang=fa)
- سالنامه آماری مازندران (۱۴۰۰). سالنامه آماری استان مازندران، معاونت آمار و اطلاعات، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، سازمان برنامه و بودجه کشور، ایران.  
<https://mazandaran.mporg.ir/Portal/View/Page.aspx?PageId=fe9be606-e0c1-4d1f-9e9b-6eba993803e8>
- صفراد، طاهر؛ یوسفی، یداله؛ رضایی طالعی، عاطفه (۱۴۰۰). واکای تغییرات سطوح نفوذناپذیر و دمای سطح زمین در قائم‌شهر. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، ۲۱(۶۲)، ۱۹۹-۱۸۳.  
<http://dx.doi.org/10.52547/jgs.21.62.183>
- ضیائیان، پرویز؛ ربیعی، حمیدرضا؛ علیمحمدی، عباس (۱۳۸۴). کشف و بازیابی تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر اصفهان به کمک سنجنش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. آمایش فضا و ژئوماتیک. ۹ (۲): ۵۴-۴۱.  
<http://hsmasp.modares.ac.ir/article-21-6077-fa.html>

- ۸) کاکه ممی، آزاد؛ قربانی، اردوان؛ اصغری سراسکانرود، صیاد؛ قلعه، احسان؛ غفاری، سحر (۱۳۹۹). بررسی رابطه تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی با دمای سطح زمین در شهرستان نمین. *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی* (کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در علوم منابع طبیعی)، ۱۱(۲) (پیاپی ۳۹)، ۲۷-۴۸.  
<https://doi.org/10.30495/girs.2020.674652>
- ۹) لطفی، صدیقه؛ علی زاده، توحید (۱۴۰۲). شناسایی و پایش تغییرات رشد و گسترش شهری با استفاده از اختلاط‌زدایی طیفی تصاویر سنجش‌ازدور و فنون سامانه اطلاعات جغرافیایی در سطح خرد (مطالعه موردی شهر آمل). *نشریه سنجش‌ازدور و GIS ایران*.  
<https://doi.org/10.48308/gisj.2023.103727>
- ۱۰) منصور، سحر؛ خالدی، شهریار؛ برنا، رضا؛ اسدیان، فریده (۱۳۹۸). اثر تغییرات کاربری و کاهش فضای سبز شهری بر تشدید جزیره گرمایی و آلودگی شهرتهران (مطالعه موردی: منطقه یک)، *جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیایی ایران)*، ۱۷(۶۳)، ۱۱۴-۱۲۹.  
[https://mag.iga.ir/article\\_246008.html](https://mag.iga.ir/article_246008.html)
- ۱۱) مهندسین مشاور مازندطرخ (۱۳۸۸)، *مطالعات آمایش استان مازندران، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، سازمان برنامه و بودجه کشور*.
- 12) Carlson, T. N., & Arthur, S. T. (2000). The impact of land use—Land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective. *Global and Planetary Change*, 25, 49–65.  
[https://doi.org/10.1016/s0921-8181\(00\)00021-7](https://doi.org/10.1016/s0921-8181(00)00021-7)
- 13) 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*, 104, 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>
- 14) ESRI (2021). *ArcGIS Desktop Help 10.8*.
- 15) Friedl, M., Sulla-Menashe, D. (2022). MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V061 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. Accessed 2023-12-30.
- 16) Grimmond, C. S. B. (2006). Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, 3-22. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0140-5>
- 17) Guha, S., & Govil, H. (2020). An assessment on the relationship between land surface temperature and normalized difference vegetation index. *Environmental Development and Sustainability*, 23, 1944–1963.  
<https://doi.org/10.1007/s10668-020-00657-6>
- 18) hejazizadeh, Z., zeyaeen, P., & shirkhani, A. (2013). Comparison of surface temperature estimation using thermal band data. *Geography*, 11(38), 33-50. [Persian] [https://mag.iga.ir/article\\_705201.html?lang=en](https://mag.iga.ir/article_705201.html?lang=en)
- 19) Islam, S., & Ma, M. (2018). Geospatial monitoring of land surface temperature effects on vegetation dynamics in the Southeastern Region of Bangladesh from 2001 to 2016. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7, 486. <https://doi.org/10.3390/ijgi7120486>
- 20) Jamei, Y., Seyedmahmoudian, M., Jamei, E., Horan, B., Mekhilef, S., & Stojcevski, A. (2022). Investigating the Relationship between Land Use/Land Cover Change and Land Surface Temperature Using Google Earth Engine; Case Study: Melbourne, Australia. *Sustainability*, 14(22), 14868.  
<https://doi.org/10.3390/su142214868>
- 21) Kakeh Mami, A.; Ghorbani, A.; Asghari S., Sayyad; Ghaleh, E.; Ghafari, S. (2020). Investigating the relationship between land use changes and vegetation cover with land surface temperature in Namin county. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources (Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resource Sciences)*, 11(2), 27-48. [Persian] <https://doi.org/10.30495/girs.2020.674652>
- 22) Khaledi, Sh.; Keykhosravi, Gh.; Ahmadi Barati, F. (2022). Investigating the effect of land cover changes on land surface temperature using MODIS satellite imagery - A case study in northeastern Iran. *Geographical Information Journal "Sepehr"*, 31(123), 179-197. [Persian] <https://doi.org/10.22131/sepehr.2022.699921>
- 23) Khosravi, Y.; Heydari, M.; Tavakoli, A.; Zamani, A. (2017). Analyzing of the Relationship Between Land Surface Temperature Temporal Changes and Spatial Pattern of Land Use changes. *MJSP* 2017; 21 (3) :119-144. [Persian] <http://hsmssp.modares.ac.ir/article-21-4560-fa.html>
- 24) Li, X., Wang, Y., Li, J., & Lei, B. (2016). Physical and socioeconomic driving forces of land-use and land-cover changes: A Case Study of Wuhan City, China. *Discrete Dynamics in Nature and Society*.  
<https://doi.org/10.1155/2016/8061069>
- 25) Liping, C., Yujun, S., & Saeed, S. (2018). Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques—A case study of a hilly area, Jiangle, China. *PloS one*, 13(7), e0200493. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200493>
- 26) Lotfi, S.; Alizadeh, T. (2024). Identification and monitoring of urban growth and expansion using spectral unmixing of remote sensing images and geographic information system techniques at a local level (case

- study: Amol city). *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*. 16 (3): 147-164. [Persian] <https://doi.org/10.48308/gisj.2023.103727>
- 27) Mansouri, S., Khaledi, S., Borna, R., & Asadian, F. (2020). Effect of Land Use Change and Reduction of Urban Green Space on Intensification of Heat Island and Pollution in Tehran (Case Study: Region One). *Geography*, 17(63), 114-129 [Persian]. [https://mag.iga.ir/article\\_246008.html](https://mag.iga.ir/article_246008.html)
- 28) Mansourmoghaddam, M., Rosta, I., Cabral, P., Ali, A. A., Olafsson, H., Zhang, H., & Krzyszcak, J. (2023). Investigation and Prediction of the Land Use/Land Cover (LU/LC) and Land Surface Temperature (LST) Changes for Mashhad City in Iran during 1990–2030. *Atmosphere*, 14(4), 741. <https://doi.org/10.3390/atmos14040741>
- 29) Mazandarh Consulting Engineers (2009). Studies on the development of Mazandaran province, Organization for Management and Planning of Mazandaran province, National Budget and Planning Organization. [Persian]
- 30) Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical analysis*, 27(4), 286-306. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x>
- 31) Patel, S., Indraganti, M., & Jawarneh, R. N. (2023). A comprehensive systematic review: Impact of Land Use/Land Cover (LULC) on Land Surface Temperatures (LST) and outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 111130. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4565518>
- 32) Piringer, M., Grimmond, C. S. B., Joffre, S. M., Mestayer, P., Middleton, D. R., Rotach, M. W., ... & Tombrou, M. (2002). Investigating the surface energy balance in urban areas—recent advances and future needs. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 2, 1-16. [https://doi.org/10.1007/978-94-010-0312-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0312-4_1)
- 33) Rigi, M., Piri Sahragard, H., Dahmarde, M., & Shahraki, E. (2019). Evaluation of land use changes using remote sensing data (Case study: Nokabad watershed, Khash city). *Geography*, 16(59), 191-202. [Persian] [https://mag.iga.ir/article\\_248654.html?lang=en](https://mag.iga.ir/article_248654.html?lang=en)
- 34) Rosta, I., Olafsson, H., Moniruzzaman, M., Ardö, J., Zhang, H., Mushore, T. D., Shahin, S., & Azim, S. (2020). The 2000–2017 drought risk assessment of the western and southwestern basins in Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 1201–1221. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00751-8>
- 35) Rosta, I., Sarif, M. O., Gupta, R. D., Olafsson, H., Ranagalage, M., Murayama, Y., Zhang, H., & Mushore, T. D. (2018). Spatiotemporal analysis of land use/land cover and its effects on surface urban heat island using Landsat data: A case study of Metropolitan City Tehran (1988–2018). *Sustainability*, 10, 4433.
- 36) Safarrad, T.; Yousefi, Y.; Rezaei Tale'i, A. (2021). Investigating impermeable surface changes and land surface temperature in Qaemshahr. *Applied Research in Geographic Sciences*, 21(62), 183-199. [Persian] <http://dx.doi.org/10.52547/jgs.21.62.183>
- 37) Statistical Yearbook of Mazandaran (2021). Statistical yearbook of Mazandaran province, Statistics and Information Deputy, Organization for Management and Planning of Mazandaran province, National Budget and Planning Organization, Iran. [Persian] <https://mazandaran.mporg.ir/Portal/View/Page.aspx?PageId=fe9be606-e0c1-4d1f-9e9b-6eba993803e8>
- 38) Tran, D. X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S. W., Caetano, M., & Kieu, H. V. (2017). Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.001>
- 39) Wang, P., Yu, P., Lu, J., & Zhang, Y. (2022). The mediation effect of land surface temperature in the relationship between land use-cover change and energy consumption under seasonal variations. *Journal of Cleaner Production*, 340, 130804. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130804>
- 40) Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89, 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- 41) Wu, D., Zhao, X., Liang, S., Zhou, T., Huang, K., Tang, B., & Zhao, W. (2015). Time-lag effects of global vegetation responses to climate change. *Global Change Biology*, 21, 3520–3531. <https://doi.org/10.1111/gcb.12945>
- 42) Yang, J., Fu, L. Y., Zhang, Y., & Han, T. (2022). Temperature-and pressure-dependent pore microstructures using static and dynamic moduli and their correlation. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 55(7), 4073-4092. <https://doi.org/10.1007/s00603-022-02829-4>
- 43) Zeaiean, P.; Rabiei, H. R.; Alimohamadi, A.; (2006). Detection of Land Use/Cover Changes of Isfahan by Agricultural Lands Around Urban Area Using Remote Sensing and GIS Technologies. *MJSP* 2006; 9 (2) :41-54. [Persian] <http://hsmmsp.modares.ac.ir/article-21-6077-fa.html>