



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=en>  
Geography and Environmental Planning  
E-ISSN: 2252- 0910  
Document Type: Research Paper  
Vol. 35, Issue 4, No.96, Winter 2024, pp. 19- 46  
Received: 03/08/2024 Accepted: 22/12/2024

## Spatiotemporal Assessment of Land Surface Temperature (LST) Based on Natural and Human Parameters Using Frequency Ratio (FR) Technique (Case Study: East Qazvin Province)

Saleh Abdullahi  \* 1

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran  
saleh.abdullahi@iau.ac.ir

### Abstract

In recent decades, one of the environmental factors that has garnered significant attention from researchers is the increase in Land Surface Temperature (LST) and the emergence of urban heat islands in cities. This study aimed to analyze the spatial and temporal variations in LST in the eastern part of Qazvin Province across two phases. In the first phase, LST was calculated using Landsat 8 satellite images from 2016, 2019, and 2021, allowing for an examination of temperature trends during summer and winter. The second phase focused on evaluating the influence of various topographical and anthropogenic factors on temperature changes within the region. The relationships were extracted and analyzed using the statistical-spatial Frequency Ratio (FR) technique. The results indicated that during summer, areas experiencing temperatures above 35°C had increased from approximately 6,600 km<sup>2</sup> in 2016 to over 9,300 km<sup>2</sup> in 2021. Conversely, in winter, the extent of sub-zero temperatures had decreased from about 1,330 km<sup>2</sup> in 2016 to around 890 km<sup>2</sup> in 2021. Overall, this suggested a general increase in regional temperatures over the study period. Among the selected natural factors, the FR values for the aspect layer indicated it was more influential than other factors. Additionally, barren land cover exhibited an FR value of 0.75 in areas with temperatures exceeding 35°C in summer, while snow cover showed a frequency ratio of 0.89 in regions with temperatures below -13°C in winter. These findings underscored the impacts of land use and cover on LST. By extracting such spatial-temporal relationships from the studied area, we could take effective measures in urban planning, environmental management, and crisis response, thereby mitigating numerous negative environmental consequences.

**Keywords:** Land Surface Temperature (LST), Spatiotemporal Analysis, Frequency Ratio (FR), Geographic Information System (GIS), Qazvin Province.

---

\*Corresponding Author

Abdullahi, S. (2024). Spatiotemporal assessment of Land Surface Temperature based on natural and human parameters using Frequency ratio technique (East Qazvin Province case study). *Geography and Environmental Planning*, 35 (4), 19 - 46 .



2252-0910 © University of Isfahan

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



10.22108/gep.2024.142334.1660

## Introduction

In recent decades, the increase in Land Surface Temperature (LST) has become a significant environmental concern for researchers in urban and environmental studies. Numerous studies have demonstrated that urban areas typically experience higher temperatures than their surrounding environments due to human activities. These activities include heating and cooling processes, transportation and road construction, industrial operations, and excessive absorption of solar radiation by urban structures. Additionally, the scarcity of green spaces and poor air circulation exacerbate this issue. Today, LST calculations are primarily conducted using satellite imagery, particularly through the processing of thermal infrared bands. One of the most commonly utilized datasets in this context is the thermal bands from Landsat 8 satellite images (TIRS). Researchers have developed various algorithms for calculating LST, including the Split Window Algorithm (SWA), SEBAL method, and Single-Channel Algorithm (SCA). After computing surface temperatures, spatial relationships between various independent natural and human factors and the calculated temperatures can be analyzed using Geographic Information System (GIS) capabilities and statistical methods. Over the last two decades, application of statistical and probabilistic models within the GIS framework to assess the impacts of various factors on specific phenomena has gained considerable attention.

The primary aim of this study was to extract trends in LST changes from 6 Landsat 8 images taken from the eastern part of Qazvin Province during both summer and winter in 2016, 2019, and 2021. The secondary objective was to investigate the relationship between changes in LST treated as a dependent variable and several topographical and human factors of the study area considered as independent variables across the two seasons. Ultimately, the goal was to analyze the impacts of different classes of independent variables on the trends in surface temperature during the selected time period using the Frequency Ratio (FR) regression model.

## Materials & Methods

The eastern part of Qazvin Province was chosen as the study area for this research. This region is significant for environmental assessments due to the presence of several industrial zones, Tehran-Karaj-Qazvin freeway, which connects a large portion of eastern and central Iran to the western provinces, and Shahid Rajaee Power Plant located along this route. To assess the trend in temperature changes, Landsat 8 satellite images from the winters and summers of 2016, 2019, and 2021 were utilized. After downloading the images from the website of United States Geological Survey, initial preprocessing steps were conducted using ENVI software. These steps included radiance and atmospheric calibration to correct for sensor and atmospheric errors, as well as cropping the images to focus on the study area. Following the calculation of surface temperature from the satellite images, the results were validated using the SEBAL method. The discrepancies were found to be less than 1°C. Additionally, the calculated temperatures were compared with hourly air temperature data from Qazvin meteorological stations recorded during the overpass of the Landsat satellite, with differences remaining under 1.5°C. The final LST maps produced in ENVI were then imported into ArcGIS software for further classification, comparison, and spatial-temporal evaluation.

To achieve the second objective, various data layers related to natural and human factors—including a digital elevation model, slope, aspect, land cover map, and road network—were compiled. The relationship between LST (the dependent variable) and these variables (independent variables) was analyzed using the FR regression statistical model. The FR method is a widely used data mining approach for modeling and forecasting various natural hazards and urban trends.

## Research Findings

The analysis of LST trends indicated that the northern part of the study area had generally experienced lower average temperatures due to its higher latitude and elevation. In contrast, the southern part had a higher average temperature attributed to its lower latitude, reduced altitude, and flatter terrain. Notably, while winter 2019 recorded lower temperatures than the other two years, the summer of 2019 exhibited higher minimum and maximum temperatures compared to the preceding years. A significant portion of the region had recorded temperatures ranging from 30 to 45°C. Overall, the temperature calculations for the summer across the three years suggested a warming trend from 2016 to 2021.

When evaluating the impacts of various factors on surface temperature, the slope direction layer demonstrated a greater influence than either the elevation or slope layers. Generally, northern slopes (north, northwest, and northeast) exhibited higher frequency ratios during summer due to reduced sunlight exposure in winter. Conversely, southern and southeastern slopes showed higher FRs in summer compared to winter, reflecting increased solar radiation. By extracting relationships through the FR method, valuable insights into the influence of independent variables on regional temperature could be gleaned. In summer, barren lands were associated with a very high FR for the hottest temperature class, while this ratio was significantly lower in winter. Agricultural and grassland areas also exhibited considerable heat during summer compared to winter. Factors like soil type, terrain flatness, direct solar radiation exposure, and aspect were crucial contributors to the elevated temperatures in these regions. Additionally, the impact of industrial activities on surface temperature increases was significant across all three years, affecting both winter and summer seasons. In each season during the selected timeframe, industrial FR values were consistently higher at elevated temperatures. Areas designated as industrial zones and towns had recorded higher temperatures than surrounding urban areas. Furthermore, the influence of vehicle traffic on roadways was particularly pronounced in winter, with barren lands adjacent to roads contributing notably to ambient air warming.

The FR calculation process assessed the occurrence of a phenomenon as a dependent variable in relation to independent variable classes. This evaluation could assist in predicting natural events, such as floods, earthquakes, landslides, and other phenomena.

### **Discussion of Results & Conclusion**

This study aimed to analyze the Land Surface Temperature (LST) of the eastern part of Qazvin Province in two stages. In the first stage, surface temperature was estimated using two widely used calculation methods and the rate of temperature fluctuations during the selected time period was assessed. The results indicated a strong correlation between the two methods of estimating surface temperature, as well as a close alignment with the hourly air temperatures recorded by meteorological stations in Qazvin. This consistency could be attributed to the incorporation of key parameters, such as the emissivity coefficient, spectral radiation, and brightness temperature from thermal bands.


A detailed statistical evaluation of LST classes revealed a clear increase in temperature from 2016 to 2021.

In addition to identifying temperature trends, it was also crucial to examine the factors influencing these changes. In the second stage, the effects of various layers—such as elevation, slope, aspect, land cover, and proximity to road networks—were evaluated using the Frequency Ratio (FR) method. The results demonstrated significant impacts from both human and natural variables on surface temperature fluctuations. By extracting these relationships, valuable insights were gained regarding the influence of independent variables on the dependent variable—surface temperature. These findings can be applied in various fields, including urban planning, environmental management, and crisis response. Finally, for more accurate calculations and analyses of surface temperature, particularly in urban areas, the use of high-resolution data and images is recommended to effectively assess different urban land uses.



## مقاله پژوهشی

# استخراج و تحلیل زمانی و مکانی دمای سطح زمین نسبت به متغیرهای طبیعی و انسانی توسط روش آماری نسبت فراوانی (FR) (مطالعه موردی: محدوده شرقی استان قزوین)

صالح عبدالمهی\* ، استادیار گروه مهندسی عمران، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران  
saleh.abdullahi@iau.ac.ir

## چکیده

افزایش دمای سطحی زمین و یا ایجاد جزایر حرارتی روی سطح شهرها یکی از عوامل زیست‌محیطی است که محققان در دهه‌های اخیر به آن توجه کرده‌اند. هدف از پژوهش حاضر تحلیل مکانی و زمانی دمای سطحی بخش شرقی استان قزوین در دو مرحله است. در مرحله اول پس از محاسبه دمای سطحی با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ در سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ روند تغییرات دما در تابستان و زمستان مطالعه شد. هدف از مرحله دوم ارزیابی و تحلیل تأثیر برخی عوامل مختلف توپوگرافی و انسانی بر تغییرات دمای منطقه است. این ارتباط با روش آماری - مکانی نسبت فراوانی استخراج و تحلیل شد. نتایج نشان داد که در فصل تابستان وسعت نواحی با دمای بیش از ۳۵ درجه از حدود ۶۶۰۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۶ به بیش از ۹۳۰۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۱ رسیده است. در مقابل، در فصل زمستان مساحت دمای زیر صفر درجه در سال ۲۰۱۶ از حدود ۱۳۳۰ کیلومتر مربع به حدود ۸۹۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۱ رسیده است؛ بنابراین به‌طور کلی، دمای منطقه در طول دوره مدنظر افزایش داشته است. همچنین، از میان عوامل طبیعی انتخاب‌شده، ارقام محاسبه‌شده نسبت فراوانی لایه جهت شیب نشان‌دهنده تأثیرگذاری بیشتر این عامل نسبت به دیگر عوامل طبیعی بوده است. از طرف دیگر، پوشش اراضی بایر با رقم نسبت فراوانی ۰/۷۵ در کلاس دمایی بیش از ۳۵ درجه سانتیگراد در فصل تابستان و پوشش برفی با رقم نسبت فراوانی ۰/۸۹ در کلاس دمایی زیر منفی ۱۳ درجه در فصل زمستان نشان‌دهنده تأثیر نوع پوشش و کاربری زمین در تغییرات دمای محیط است. با استخراج چنین روابط مکانی - زمانی از منطقه مطالعه‌شده می‌توان اقدام‌های تأثیرگذاری را در زمینه مدیریت شهری، زیست‌محیطی و بحران انجام داد و سپس از پیامدهای منفی زیست‌محیطی بسیاری جلوگیری کرد.

واژه‌های کلیدی: دمای سطح زمین، تحلیل زمانی-مکانی، روش نسبت فراوانی، سیستم اطلاعات مکانی، استان قزوین

\*نویسنده مسئول

عبدالمهی، صالح. (۱۴۰۳). استخراج و تحلیل زمانی و مکانی دمای سطح زمین نسبت به متغیرهای طبیعی و انسانی توسط روش آماری نسبت فراوانی (FR) (مثال موردی شرق استان قزوین). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۵ (۴)، ۴۶-۱۹.



## مقدمه

افزایش دمای سطح زمین یکی از پدیده‌ها و یا مشکلات زیست‌محیطی است که چند دهه‌ای دغدغه اصلی پژوهشگران و محققان حوزه محیط زیست و شهری شده است. محققان در پژوهش‌های زیادی نشان داده‌اند که اغلب فضا‌های شهری به دلیل فعالیت‌های انسانی به‌خصوص درزمینه گرمایش و سرمایش محیط زندگی، فعالیت‌های حمل‌ونقل و راه‌سازی، صنعتی و همچنین، ذخیره بیش از حد تابش خورشیدی با سازه‌های شهری، کمبود فضای سبز و طبیعی، گردش منفی هوا و ... دمای بیشتر نسبت به محیط اطراف خود دارند (دلبسته، ۱۳۹۷). این بیشینه دمایی محیط‌های شهری خود باعث مشکلات زیادی درزمینه سلامتی ساکنان، افزایش آلودگی هوا و محیط زیست، افزایش مصرف انرژی، کاهش سلامت ساکنان و ... می‌شود (Almeida et al., 2021). برای مطالعه و درنهایت، جلوگیری و کنترل این پدیده اولین گام محاسبه دمای سطح زمین است. عوامل مهمی در افزایش و کاهش دمای سطح زمین دخیل است که می‌توان به‌صورت کلی، آنها را به عوامل و متغیرهای طبیعی و غیرطبیعی یا انسانی (نوع پوشش و یا کاربری اراضی، فعالیت‌های شهری و غیرشهری، صنعتی و...) تقسیم‌بندی کرد (علوی‌پناه، ۱۳۸۱؛ محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۸). برخلاف گذشته که پژوهش‌های دمای سطح زمین با داده‌های هواشناسی و یا پیمایش زمینی انجام می‌گرفت، امروزه در این زمینه سنجش از دور به دلیل پوشش وسیع، بی‌نیازی به حضور در منطقه، کسب اطلاعات بروز و ... جایگزین روش‌های سنتی شده است (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۸). محققان امروزه از سیستم اطلاعات مکانی به دلیل وجود ابزارهای مختلف تحلیل مکانی در بسیاری از زمینه‌های علمی و پژوهشی استفاده می‌کنند. محاسبه دمای سطح زمین از تصاویر ماهواره‌ای اخذشده از منطقه مطالعه‌شده و انجام‌دادن مراحل مختلف پردازش تصویر در بخش مادون قرمز حرارتی انجام می‌گیرد. یکی از پرکاربردترین و در دسترس‌ترین داده‌ها در این زمینه تصاویر ماهواره‌ای لندست به‌خصوص لندست ۸ (TIRS) و باندهای حرارتی این سنجنده است (Bendib et al., 2017). الگوریتم‌های مختلفی نیز برای محاسبه دمای سطح زمین وجود دارد که محققان به برخی از آنها نظیر الگوریتم پنجره مجزا، الگوریتم تک‌کاناله توجه کرده‌اند (Guo et al., 2020؛ ولیزاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ کافی و همکاران، ۱۴۰۲).

پس از محاسبه دما استخراج ارتباطات مکانی دمای محاسبه‌شده با دیگر عوامل طبیعی و غیرطبیعی مستقل را می‌توان از توانمندی‌های تحلیل‌های مکانی سیستم اطلاعات جغرافیایی و نیز با برخی روش‌های آماری انجام داد. در دو دهه اخیر محققان به استفاده از مدل‌های آماری و احتمالاتی در بستر GIS برای انجام‌دادن تحلیل پدیده‌های مختلف مکانی به‌صورت ارزیابی تأثیرگذاری عوامل مؤثر بر یک پدیده خاص بسیار توجه کرده‌اند (Abdullahi & Pradhan, 2018). برای مثال، مطالعات بسیاری درباره دمای سطحی درزمینه تأثیر مثبت پوشش گیاهی در کاهش دمای منطقه و تأثیرات منفی فعالیت و ساخت‌وسازهای شهری در افزایش دمای سطحی انجام شده است (آروین، ۱۳۹۷؛ دلبسته، ۱۳۹۷؛ محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ آزموه، ۱۴۰۰؛ هروی و همکاران، ۱۳۹۵).

## پیشینه پژوهش

**صداقتی و طالب‌خواه (۱۳۹۶)** پژوهشی با عنوان «توسعه مبتنی بر حمل و نقل همگانی و کاهش جزایر حرارتی در شهرها: پیشنهادهایی برای تلفیق راهکارها (نمونه موردی: شهر بجنورد)» انجام دادند. محققان در این مطالعه با تحلیل اطلاعات

مربوط به دما در سال های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴ در محیط داخل و خارج شهر بجنورد وجود پدیده جزایر حرارتی در شهر بجنورد را نشان دادند و در ادامه، راهکارهایی را براساس توسعه حمل و نقل محور برای کاهش این پدیده ارائه کردند.

**سلیمانی و همکاران (۱۳۹۹)** پژوهشی با عنوان « بکارگیری الگوریتم تک کاناله در تحلیل جزیره حرارتی منطقه شهری» انجام دادند. محققان در این مطالعه برای ارزیابی نقطه‌ای تغییرات دمای شهر ساری با کاربری اراضی، پوشش گیاهی، ترافیک و تیپ های خاک در بازه زمانی ۳۰ ساله از تصاویر لندست ۵ و ۸ و الگوریتم تک کاناله استفاده کردند. نتایج نشان داد که در طی ۳۰ سال با کاهش فضای سبز و افزایش اراضی شهری وسعت جزایر حرارتی بیش از ۲۰ درصد افزایش پیدا کرده است.

**محمودزاده و همکاران (۱۳۹۸)** پژوهشی با عنوان «محاسبه دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا در شهر ارومیه» انجام دادند. محققان در این مطالعه برای انجام دادن تحلیل های مرتبط با جزایر حرارتی دمای سطح زمین را محاسبه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که پوشش گیاهی کم تراکم، مسکونی، کارگاهی و صنعتی با سطوح نفوذناپذیر بیشترین دما را در فصل تابستان و پوشش گیاهی و طبیعی و مناطق با مصالح آجر، چوب و خشت کمترین دما را دارند.

**انصاری و نوروزی (۱۴۰۲)** پژوهشی با عنوان « بررسی خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین و ارتباط آن با کاربری اراضی شهر اهواز » انجام دادند. محققان در این مطالعه خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین و ارتباط آن را با کاربری اراضی شهر اهواز با روش پنجره مجزا از تصاویر لندست و مادیس به دست آوردند. براساس نتایج به دست آمده تفاوت معناداری بین میانگین دمای کاربری ها در سطح احتمال پنج درصد وجود دارد و کاربری ساخته شده از نوع صنعتی و اراضی بایر بیشترین دما و پهنه آبی و پوشش گیاهی کمترین دما را داشت. در نهایت، بین شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین نیز همبستگی منفی حاصل شد.

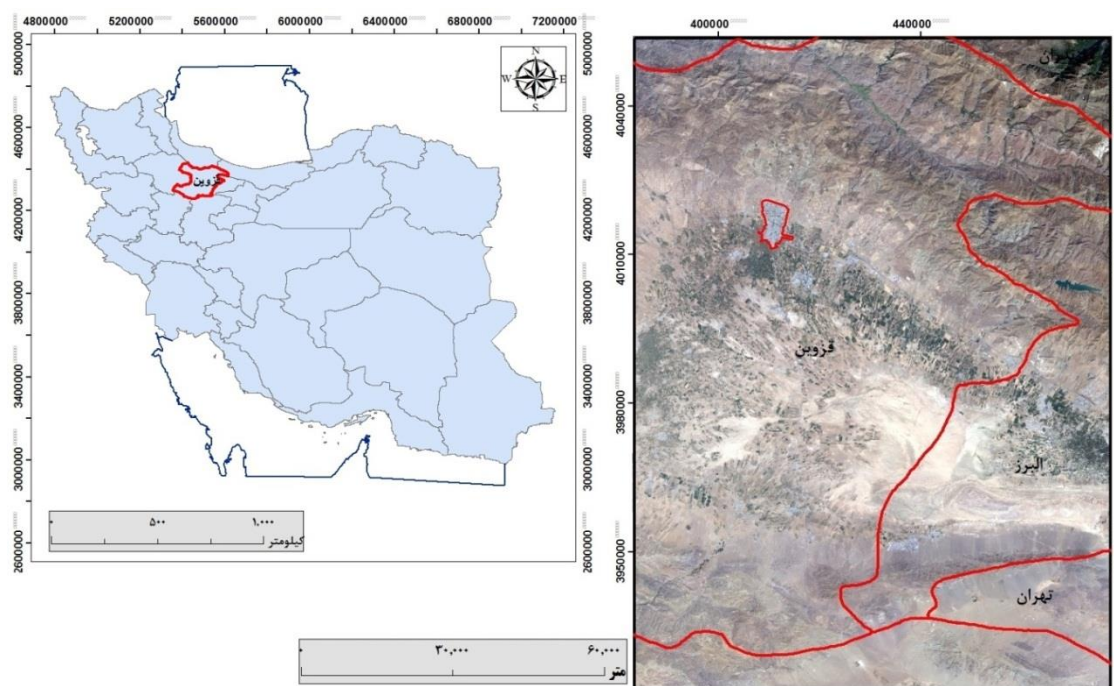
**زندى و همکاران (۱۴۰۲)** پژوهشی با عنوان «سنجش میزان خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین با کاربری اراضی نمونه مطالعه: شهر اصفهان » انجام دادند. محققان در این مطالعه اثر جزیره گرمایی شهری اصفهان را با هدف ارزیابی خودهمبستگی فضایی نسبت به کاربری اراضی شهری با تصاویر لندست ۸ تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد که میان جزایر حرارتی با کاربری های ساخته شده و بایر ارتباط مستقیم و افزایشی و ارتباط آن با کاربری های پوشش گیاهی و آب معکوس است. همچنین، نتایج پراکنندگی مکانی لکه های داغ و سرد را در سطح شهر نشان داد.

پانده و همکاران پژوهشی با عنوان «مدل سازی پیش بینی دمای سطح زمین (LST) براساس داده های ماهواره ای Landsat-8 و مدل های یادگیری ماشین برای توسعه پایدار» انجام دادند. محققان در این مطالعه یک مدل تحلیل خودهمبستگی را برای پیش بینی دمای سطح زمین و استخراج تأثیرات محیطی آن براساس تصاویر لندست ۸ با ادغام سه روش مختلف یادگیری ماشین ارائه کردند. همچنین، برای ارزیابی و تحلیل خودهمبستگی متغیرهای دما، پوشش گیاهی، بارش و تبخیر از روش رگرسیون خطی استفاده شد. نتایج همبستگی بالای شاخص پوشش گیاهی را با تبخیر و همبستگی پایین پوشش گیاهی را با دما و نیز پوشش گیاهی با بارش را نشان داد (Pande et al., 2024).

هدف از پژوهش حاضر در وهله اول استخراج روند تغییرات دمای سطح زمین از شش تصویر لندست ۸ اخذ شده در سال ۲۰۱۶، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ در دو فصل تابستان و زمستان در بخش شرقی استان قزوین است. هدف دوم بررسی ارتباط تغییرات دمای سطح زمین به‌عنوان متغیر وابسته و دیگر عوامل توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت شیب) با عوامل انسانی چون پوشش و کاربری اراضی و شبکه جاده‌های منطقه مطالعه شده به‌عنوان پارامترهای مستقل با در نظر گرفتن دو فصل تابستان و زمستان است. درحقیقت، هدف از این مطالعه استخراج تأثیر طبقه‌های مختلف لایه‌های متغیرهای مستقل بر کاهش یا افزایش دمای سطح منطقه در دوره زمانی تعیین شده با مدل رگرسیون است. برای انجام دادن این پژوهش از تصاویر لندست ۸، تصاویر رقومی ارتفاع منطقه، لایه کاربری اراضی و شبکه جاده‌های استان (با استفاده از دو نرم‌افزار ArcGIS و ENVI) و نیز برای استخراج روند تغییرات و ارتباطات مکانی و زمانی دمای سطح زمین نسبت به متغیرهای وابسته از روش آماری نسبت فراوانی استفاده شده است.

### منطقه مطالعه شده

در این پژوهش از بخش شرقی استان قزوین به‌عنوان منطقه مطالعه شده استفاده شده است (شکل ۱). وجود چندین شهرک صنعتی در این منطقه و آزادراه تهران-کرج-قزوین که متصل‌کننده بخش وسیعی از شرق و مرکز کشور به استان‌های غربی و نیروگاه شهید رجایی در این آزادراه است، این منطقه را از نظر ارزیابی‌های زیست‌محیطی به‌خصوص افزایش دمای سطحی حائز اهمیت کرده است (مجاور و همکاران، ۱۴۰۱)



شکل ۱: چپ: کشور ایران، استان قزوین؛ راست: منطقه مطالعه شده (منبع: نگارنده)

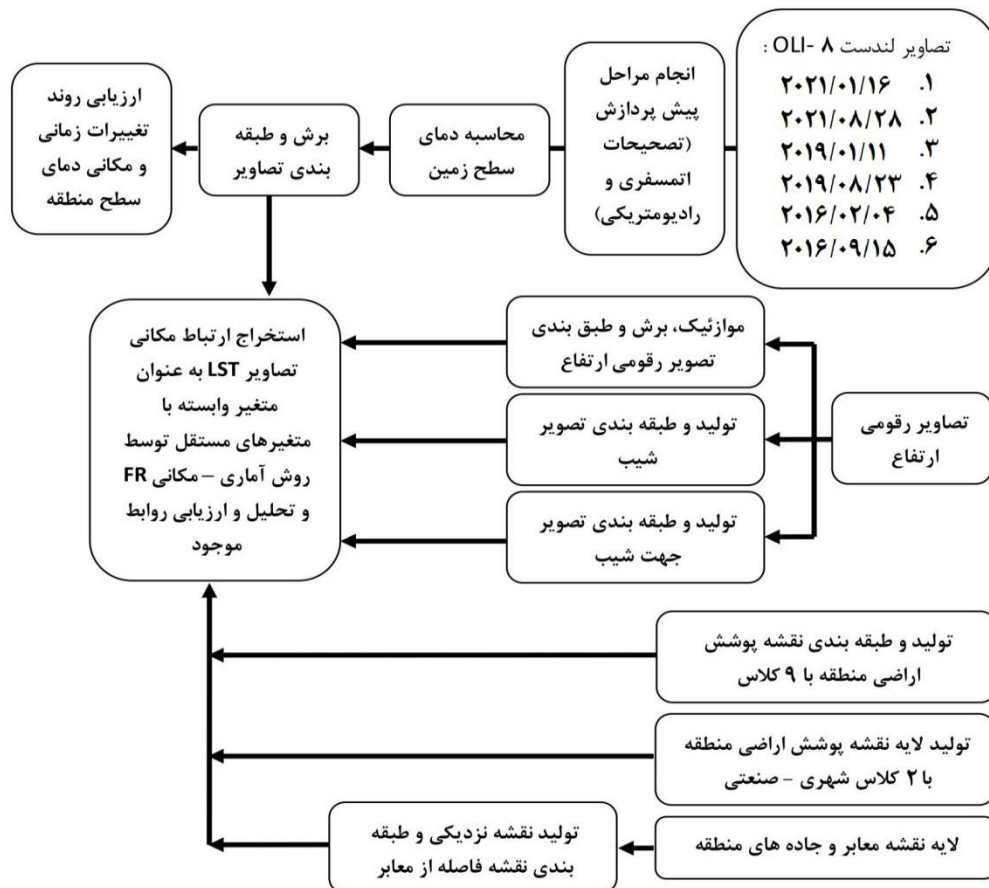
Figure 1: Left side: Iran, Qazvin province; Right side: Study area



استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۶۲۳ کیلومتر مربع درحوزه مرکزی ایران بین ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۳۵ درجه ۲۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی نسبت به خط استوا قرار دارد. استان قزوین در شمال غربی کشور واقع شده است و از شمال به استان مازندران و گیلان، از غرب به زنجان، از جنوب به استان مرکزی و همدان و از شرق به البرز محدود می‌شود. به دلیل گسترش کم استان از نظر عرض جغرافیایی، زاویه تابش خورشید در شمالی‌ترین و جنوبی‌ترین مناطق استان قزوین تفاوت کمی را نشان می‌دهد. به دلیل وجود آزادراه تهران- کرج- قزوین و پوشش تصویر لندست، بخش غربی استان البرز و محدوده کوچکی از استان تهران و مرکزی نیز در تحلیل‌های این پژوهش با مجموع ۱۲۳۴۵ کیلومتر مربع بررسی می‌شود.

### روش‌شناسی پژوهش

ارزیابی روند تغییرات دمای سطح منطقه مطالعه‌شده در دوره زمانی تعیین‌شده و استخراج ارتباط تغییرات دما با برخی از عوامل انسانی و طبیعی دو هدف اصلی این پژوهش است که به صورت جداگانه به آنها پرداخته خواهد شد. مراحل انجام‌دادن پژوهش شامل تصاویر ورودی و پردازش‌های انجام‌گرفته در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: فلوچارت مراحل انجام‌دادن پژوهش (منبع: نگارنده)

Figure 2: The workflow of the research

در مرحله هدف اول پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در زمستان و تابستان سه سال 2016، 2019 و 2021 استفاده شد. درحین انتخاب و دانلود تصاویر تلاش بر عاری‌بودن از پوشش ابری، در نظر گرفتن دو فصل تابستان و زمستان و نزدیک‌بودن تاریخ روز اخذ تصویر در هر سال بوده است. هدف از انتخاب دو فصل تابستان و زمستان ارزیابی ناهنجاری‌های حرارتی در دو فصل سرد و گرم سال بود. در این مطالعه از باندهای ۱۰ و ۱۱ مادون قرمز حرارتی برای محاسبات دمای سطحی استفاده شد.

پس از دانلود تصاویر از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (United States Geological Survey) به‌عنوان اولین اقدام‌های پیش‌پردازش، مراحل کالیبراسیون رادیانس و اتمسفریک با هدف حذف خطاهای ناشی از سنجنده و اتمسفر و برش تصویر در محدوده مطالعاتی با استفاده از نرم‌افزار ENVI انجام گرفت. برای دستیابی و محاسبه دمای سطح زمین پژوهشگران روش‌ها و الگوریتم‌های زیادی را ارائه کردند؛ البته در بیشتر روش‌ها، پارامترها و شاخص‌هایی نظیر ضریب گسیلندگی، تابش طیفی، دمای درخشندگی باندهای حرارتی، پوشش گیاهی به‌صورت مشابه به کار گرفته می‌شود (Majumder et al., 2021; Sajib & Wang, 2020). در ادامه، به برخی از نکات و روابط مهم این فرآیند اشاره خواهد شد.

اولین اقدام محاسبه تابش طیفی است که با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

در این رابطه  $L_{\lambda}$  تابش طیفی در بالای اتمسفر؛  $M_L$  ضریب اصلاحی رادیانس ضربی هر باند (موجود در فایل مرجع تصویر)؛  $Q_{cal}$  مقدار عددی هر پیکسل تصویر؛  $A_L$  ضریب اصلاحی افزایشی هر باند (موجود در فایل مرجع تصویر) است. همچنین، برای تبدیل تابش طیفی به دمای درخشندگی در سطح سنجنده از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$T_s = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

در این رابطه  $T_s$  دمای درخشندگی (کلوین) و مقدارهای  $k_1$  ( $W/m^2sr/\mu m$ ) و  $k_2$  (کلوین) ضرایب ثابت موجود در فایل فراداده تصاویر است. بر همین اساس، به‌طور اختصار مراحل محاسبه دمای سطح زمین در پژوهش حاضر به شرح زیر ارائه می‌شود:

۱. تبدیل درجه روشنایی هر پیکسل به تابش طیفی در سنجنده؛
۲. محاسبه شاخص پوشش گیاهی (NDVI)؛
۳. محاسبه کسر پوشش گیاهی (Pv) که به FVC نیز معروف است. (با استفاده از شاخص NDVI)؛
۴. محاسبه قابلیت انتشار اجسام (Emissivity یا e) با Pv؛
۵. تصحیح رادیومتریکی باند حرارتی و تبدیل به رادیانس؛
۶. تصحیح رادیومتریکی باند حرارتی و تبدیل به دمای روشنایی؛
۷. تبدیل درجه کلوین به سلسیوس برای هر دو باند حرارتی؛
۸. تعیین دمای سطحی با روش رابطه زیر (Almeida et al., 2021):

$$LST = \left( \frac{TC}{1 + \left( \lambda + \frac{TC}{\rho} \right) * \ln(E)} \right) \quad (3)$$

در این رابطه TC دمای روشنایی،  $\lambda$  طول موج رادیانس ساطع شده حرارتی، E گسیلمندی و  $\rho$  ضریب ثابت است که با ضرایب ثابت استفان بولتزمن و پلانک محاسبه می‌شوند.

پس از محاسبه دمای سطح زمین با مراحل ذکر شده برای هر ۶ تصویر موجود، جهت ارزیابی و تصدیق نتایج به دست آمده، دمای سطحی با روش سبال (Saraskanrood et al., 2022) برای تصاویر محاسبه شد و بدین ترتیب، نتایج محاسبات دما با کمتر از یک درجه سلسیوس به دست آمد. در روش سبال (توازن انرژی برای سطح زمین) پس از اعمال تصحیح اتمسفری باند حرارتی، دمای سطح زمین با عوامل اولیه ورودی، یعنی رادیانس طیفی، بازتابندگی سطح، آلدوی سطحی، گسیلمندی سطحی و رادیانس حرارتی تصحیح شده محاسبه می‌شود. در این روش پس از محاسبه تابش طیفی و درجه حرارت روشنایی باید تابش حرارتی تصحیح شده ( $R_c$ ) و در نهایت، دمای سطح زمین ( $T_s$ ) را محاسبه کرد. به طور خلاصه، مراحل انجام شده روش سبال به شرح زیر است:

۱. تبدیل درجه روشنایی هر پیکسل به تابش طیفی در سنجنده؛
۲. محاسبه Albedo؛
۳. محاسبه شاخص پوشش گیاهی (NDVI)؛
۴. محاسبه شاخص تفاوت وزنی پوشش گیاهی (WDVI)؛
۵. محاسبه شاخص تعدیل شده گیاهی برای خاک (SAVI: Soil Adjusted Vegetation Index)؛
۶. محاسبه شاخص سطح برگ (LAI : Leaf Area Index)؛
۷. محاسبه گسیلمندی سطحی  $E_{NB}$ ؛
۸. تصحیح رادیومتریکی باند حرارتی و تبدیل به رادیانس؛
۹. تعیین دمای سطحی با رابطه زیر و در نهایت، تبدیل درجه دمای سطحی از کلوین به سلسیوس (با کسر ۲۷۳،۱۵).

$$T_s = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon NB \times k_1 + 1}{R_c}\right)} \quad (4)$$

که در این رابطه،  $\varepsilon NB$  گسیلمندی سطحی باند حرارتی،  $R_c$  رادیانس باند حرارتی تصحیح شده، و مقادیر  $k_1$  و  $k_2$  ( $W/m^2sr/\mu m$ ) و (کلوین) همانطور که اشاره شد ضرایب ثابت هستند. علاوه بر ارزیابی میزان دمای محاسبه شده توسط روش سبال، دمای بدست آمده توسط دمای هوای ساعتی ایستگاه‌های هواشناسی قزوین نیز در هنگام عبور ماهواره لندست (در تاریخ ۲۰۱۶/۱/۳) مقایسه گردید. (ایزدفر و مالیان، ۱۳۹۵؛ پیرنظر و همکاران، ۱۳۹۷). ابتدا دمای سطحی بدست آمده به دمای هوا تبدیل و سپس با داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر قزوین و تاکستان مقایسه شد. اختلاف دمای محاسبه شده با دمای ایستگاه‌های هواشناسی کمتر از ۱،۵ درجه سانتیگراد بدست آمد.

پس از پایان فرآیند محاسبه دمای سطح زمین و ارزیابی نقشه‌های تولید شده در نرم‌افزار ENVI نقشه‌ها برای مقایسه و ارزیابی و تحلیل مکانی و زمانی با روش‌های مختلف موجود در نرم‌افزار ArcGIS طبقه‌بندی شد. پس از ارزیابی نتایج روش‌های مختلف و روش فواصل یکسان به دلیل تعیین فواصل دلخواه و قابلیت مقایسه دامنه‌های تعیین شده نسبت به سال‌های مختلف انتخاب شد. همچنین، با ارزیابی نتایج، تصاویر با ۷ کلاس دمایی (کلاس ۱

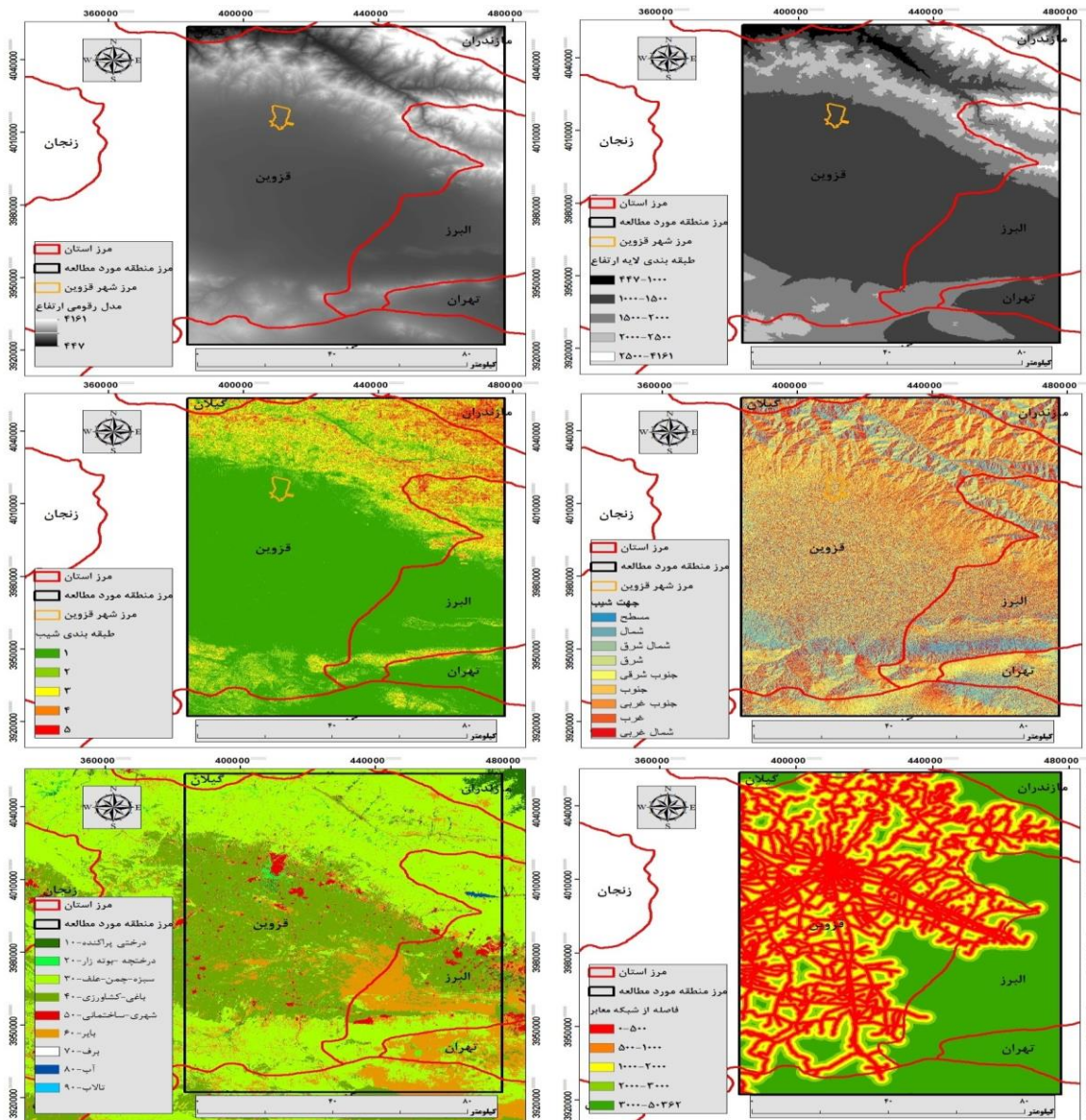
به‌عنوان سردترین و کلاس ۷ با عنوان گرم‌ترین دما) به‌عنوان مناسب‌ترین شرایط برای مقایسه طبقه‌بندی شد. در مرحله دوم برای ارزیابی عوامل تأثیر گذار بر روند تغییرات دمای سطحی منطقه چندین لایه اطلاعاتی درزمینه عوارض طبیعی و انسانی از جمله لایه رقومی ارتفاع، شیب، جهت شیب، نقشه کاربری، پوشش اراضی (با تأکید بر شهری- صنعتی و پوشش گیاهی) و شبکه معابر از منابع گوناگون جمع‌آوری و تولید شد. لایه رقومی ارتفاع منطقه به‌عنوان اولین لایه انتخاب و سپس چهار تصویر پوشش‌دهنده محدوده مدنظر از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا با دقت ۳۰ متر دانلود و در مراحل بعد چهار تصویر موزائیک‌شده براساس مرز منطقه مطالعه‌شده برش زده شد. در نهایت، لایه رقومی ارتفاع استخراج‌شده با پنج کلاس ارتفاعی (کلاس یک کمترین و کلاس پنج بیشترین ارتفاع) طبقه‌بندی شد. قبل از طبقه‌بندی لایه ارتفاع، لایه شیب و جهت شیب نیز از این لایه استخراج شد. لایه شیب نیز با ۵ کلاس (کلاس یک کمترین و کلاس پنج بیشترین شیب) و لایه جهت شیب با ۹ کلاس (مسطح، شمال، شمال شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب، غرب و شمال غرب) طبقه‌بندی شد. فرآیند استخراج ارتباط بین تغییرات دمای سطحی (متغیر وابسته) با متغیرهای ذکرشده (به‌عنوان لایه‌های مستقل) از طریق مدل آماری رگرسیون نسبت فراوانی (Frequency Ratio) انجام شد. روش نسبت فراوانی یک مدل داده‌کاوی است که کاربرد گسترده‌ای در فرآیندهای مدل‌سازی و پیش‌بینی درزمینه انواع مخاطره‌های طبیعی و روندهای شهری دارد (Abdullahi, 2021؛ امیدی و همکاران، ۱۳۹۸). مبنای این مدل پیش‌بینی آتی پدیده‌های مختلف براساس وقوع تاریخی پدیده مذکور است (Pradhan, 2010). مدل نسبت فراوانی برای محاسبات تأثیرگذاری متغیرها روی پدیده مستقل بر مبنای رابطه زیر بیان می‌شود:

$$FR = \frac{N_{dep}}{N_{indep}} \quad (5)$$

در این رابطه FR نسبت فراوانی هر عامل یا میزان تأثیر هر کلاس از متغیر مستقل،  $N_{dep}$  درصد پیکسل‌های طبقات دمایی (متغیر وابسته)،  $N_{indep}$  درصد پیکسل‌های طبقات متغیرهای مستقل است؛ البته این نکته باید ذکر شود که تاکنون در مقاله‌های انجام‌شده متغیر وابسته در روش نسبت فراوانی به‌صورت باینری یا صفر و یک تحلیل می‌شد. در پژوهش حاضر متغیر وابسته، یعنی دمای هوا به‌صورت چندکلاسه همان‌طور که اشاره شد با ۷ طبقه دمایی بررسی شد. در این مطالعه با استفاده از روش نسبت فراوانی میزان اهمیت طبقات هریک از عوامل مستقل در ارتباط با تغییرات دمایی موجود در منطقه ارزیابی می‌شود؛ برای مثال، وجود، میزان و پراکندگی پیکسل‌های لایه دمای سطح زمین نسبت به پیکسل‌های لایه ارتفاع به‌صورت زمانی و مکانی مقایسه و سنجیده و در نتیجه، میزان رخداد دماهای مختلف نسبت به عوامل تعیین‌شده در دو فصل زمستان و تابستان محاسبه می‌شود.

برای سه عامل ارتفاع، شیب و جهت شیب همان‌طور که اشاره شد، میزان رخداد دما در طبقه‌بندی‌های ذکرشده ارزیابی شد. لایه پوشش اراضی منطقه دانلودشده از سایت TerraScope با دقت ۱۰ متر نیز با ۹ کلاس پوشش درخت، بوته‌زار، سبزه‌زار، کشاورزی، شهری، بایر، برفی، آبی و تالاب در تحلیل‌های آماری نسبت به طبقات دمایی مورد استفاده قرار گرفت. از جمله عوامل مهم تأثیرگذار بر دمای سطح زمین وجود پوشش گیاهی است که در ارزیابی‌های لایه پوشش اراضی تحلیل می‌شود. کارخانه‌ها و فعالیت‌های صنعتی در یک منطقه از دیگر عوامل

تأثیرگذار در افزایش دمای سطحی است. همچنین، در این مطالعه برای ارزیابی تأثیر وجود مناطق صنعتی در تغییرات دمایی نیز از لایه اراضی صنعتی استفاده شد؛ بنابراین به صورت جداگانه روند تغییرات دمای سطحی برای لایه پوشش اراضی با دو کلاس پوشش شهری و صنعتی ارزیابی شد. در نهایت، لایه طبقه‌بندی فاصله شبکه معابر منطقه نیز با ابزارهای تحلیلی مکانی تولید و تأثیر این عامل به خصوص آزادراه تهران-کرج-قزوین نسبت به روند تغییرات دمای سطحی ارزیابی شد. شکل ۳ لایه رقومی ارتفاع، طبقه‌بندی ارتفاع، طبقه‌بندی لایه جهت شیب (در ۹ کلاس)، طبقه‌بندی لایه پوشش اراضی (در ۹ کلاس) و فاصله از شبکه معابر (در پنج کلاس) را نشان می‌دهد.



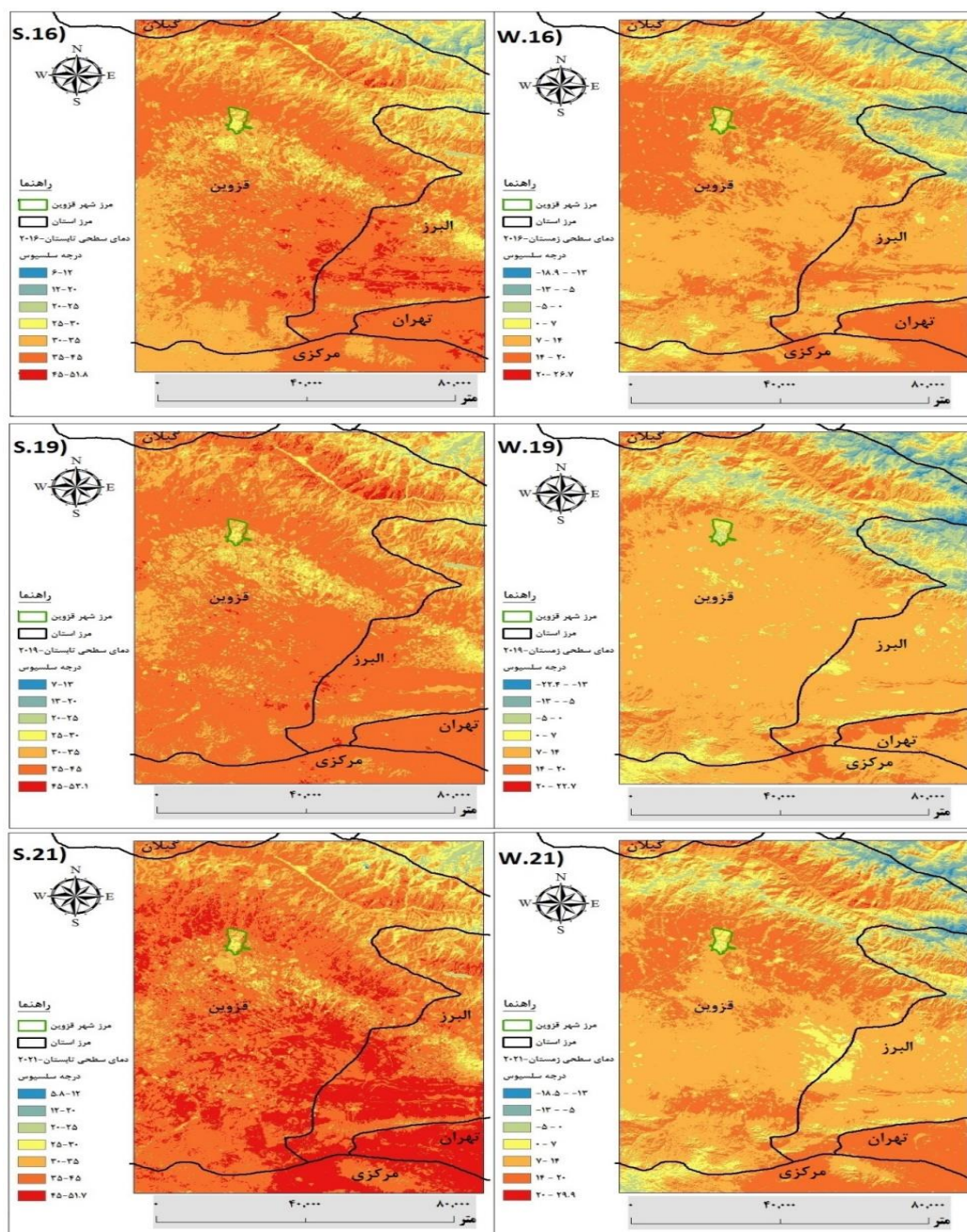
شکل ۳: لایه رقومی ارتفاع، طبقه‌بندی ارتفاع، طبقه‌بندی لایه جهت شیب، طبقه‌بندی لایه پوشش اراضی و طبقه‌بندی فاصله از معابر (منبع: نگارنده)

Figure 3: Data layers: DEM, Classification of DEM, Classification of Slope, Classification of Aspect, Classification of Land Cover and Classification of Proximity to Road Network



## یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل

در بخش اول نتایج، به روند تغییرات دمای سطحی منطقه به صورت آماری پرداخته می‌شود. نقشه‌های دمای سطحی منطقه برای تابستان و زمستان سه سال ۲۰۱۶، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ در شکل ۴ نشان داده شده است. در سمت چپ، تصاویر دمای سطحی فصل تابستان و در سمت راست، دمای سطحی فصل زمستان در هر سه سال نشان داده شده است.



شکل ۴: نقشه‌های تولیدشده محاسبات دمای سطحی منطقه تابستان (S) و زمستان (W) در سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ (منبع: نگارنده)

Figure 4: LST Maps of summer and winter of year 2016, 2019 and 2021

همان طور که مشاهده می‌شود، شدت دما در تصاویر از طریق طیف رنگ آبی با کمترین دما تا رنگ قرمز با بیشترین دما نشان داده شده است. مناطق آبی‌رنگ در شمال شرقی منطقه به‌خصوص در استان مازندران سردترین هوا و نشان‌دهنده قله‌های رشته‌کوه البرز است. همچنین، مناطق با رنگ نارنجی و قرمز در جنوب و شرق منطقه به‌خصوص در استان البرز نشان‌دهنده گرم‌ترین نواحی است. بدیهی است که مناطق آبی‌رنگ در سه تصویر زمستان (به دلیل وجود شدت سرما و برف) در مقایسه با سه تصویر تابستان بیشتر رؤیت می‌شود. از طرف دیگر، مناطق قرمز رنگ در سه تصویر تابستان (به دلیل وجود شدت گرما) در دشت‌های استان قزوین، البرز، تهران و مرکزی بیشتر مشاهده می‌شود. از راهنمای نقشه مشخص است که حداقل دمای فصل زمستان از منفی  $18/9$  به حداکثر مثبت  $26/7$  درجه در سال 2016، از منفی  $22/4$  به مثبت  $22/7$  درجه در سال 2019 و از منفی  $18/5$  به مثبت  $29/9$  درجه در سال 2021 می‌رسد. از این دامنه‌های دمایی می‌توان نتیجه گرفت که فصل زمستان سال 2019 سردتر از دو سال 2016 و 2021 بوده است و مردم منطقه در زمستان 2021 سرمای کمتری را نسبت به دو سال دیگر حس کرده‌اند؛ اما با استخراج اطلاعات آماری و به‌خصوص در نظر گرفتن مساحت هر طبقه دمایی نتایج و جزئیات بیشتر و صحیح‌تری را می‌توان به دست آورد (جدول ۱).

از طرف دیگر، حداقل دمای فصل تابستان از حدود مثبت ۶ به حداکثر  $51/8$  درجه در سال 2016، از ۷ به  $53/1$  درجه در سال 2019 و از  $5/8$  به  $51/7$  درجه در سال 2021 می‌رسد. با بررسی این دامنه‌های دمایی به نظر می‌رسد که تابستان سال 2019 گرم‌تر از دو سال دیگر بوده است؛ اما همان‌طور که اشاره شد با ارزیابی و تحلیل آماری دقیق‌تر و مشاهده میزان و مساحت مناطق قرمز رنگ در تصویر تابستان سال 2021 به‌وضوح می‌توان به گرم‌تر بودن منطقه مطالعه‌شده در سال 2021 پی‌برد (جدول ۲).

نکته مهم دیگر که در تفسیر بصری تصاویر ارائه‌شده مشاهده می‌شود، تأثیر مختصر ولی درخور تأمل مرز تقسیمات کشوری استان تهران و البرز (جنوب شرقی منطقه) بر تغییرات دمای سطحی است؛ البته این تأثیر در فصل زمستان هر سه سال بیشتر مشاهده می‌شود. در زمستان هر سه سال مرز بین استان تهران و البرز تغییر رنگ بین نارنجی و زرد داشته که به نظر می‌رسد، مرز استان دو کلاس دمایی را از هم جدا کرده است. این پدیده می‌تواند به دلیل عملکرد متفاوت دو استان از اراضی دو طرف مرز باشد که این خود باعث تغییر دمای بین دو استان مجاور شده است. درحقیقت، چنین نکاتی اهمیت هدف دوم این مقاله، یعنی ارزیابی تأثیر متغیرهای انسانی و طبیعی را در تغییرات دما بیشتر آشکار می‌کند. علاوه بر این، با دقت به تصاویر در بخش‌های شمالی منطقه، یعنی دامنه‌های رشته‌کوه‌های البرز واضح است که دامنه‌های جنوبی در تمامی تصاویر زمستان و تابستان دمای بیشتری نسبت به دامنه‌های شمالی دارد. این ویژگی را می‌توان تأثیر جهت شیب دانست که دامنه‌های جنوبی نسبت به دامنه‌های شمالی بیشتر از تابش خورشید بهره‌مند می‌شود. در این زمینه نیز ارزیابی جهت شیب در روند تغییرات دمایی منطقه بسیار حائز اهمیت می‌شود.

درنهایت، به‌طور کلی، با توجه به تصاویر در هر دو فصل زمستان و تابستان بخش شمالی منطقه مطالعه‌شده به دلیل عرض جغرافیایی بالاتر و ارتفاعات بیشتر میانگین دمایی کمتر و بخش جنوبی منطقه به دلیل عرض جغرافیایی پایین‌تر، ارتفاع کمتر و مسطح بودن میانگین دمای بیشتری دارد.

در ادامه، برای تحلیل و ارزیابی دقیق‌تر تغییرات مکانی و زمانی دمای سطحی منطقه روند تغییرات براساس مساحت طبقات دمایی مختلف ارزیابی می‌شود. جدول ۱ و ۲ به ترتیب نشان‌دهنده تغییرات دمایی سطح زمین براساس مساحت هر کلاس و میزان دمای زمستان و تابستان است.

جدول ۱: تغییرات دمایی فصل زمستان منطقه در سه سال تعیین شده

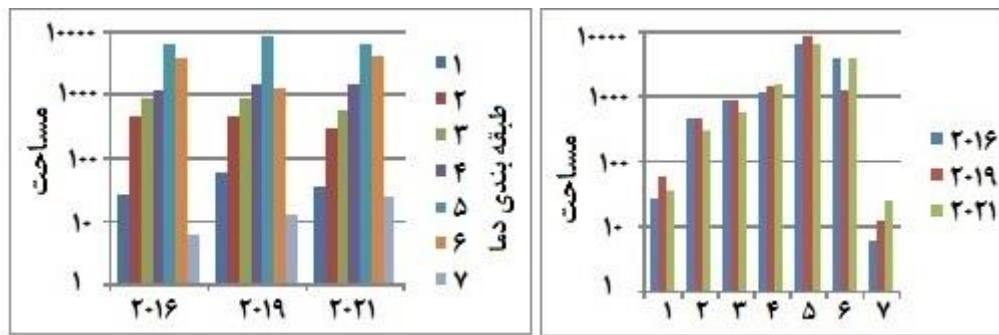
Table 1: Temperature changes of winter in three selected years

طبقه‌بندی	زمستان (W.16) 2016			زمستان (W.19) 2019			زمستان (W.21) 2021		
	حداقل دما	حداکثر دما	مساحت $km^2$	حداقل دما	حداکثر دما	مساحت $km^2$	حداقل دما	حداکثر دما	مساحت $km^2$
۱	-۱۸/۸۹	۱۳-	۲۵/۰۷	-۲۲/۴۲	۱۳-	۵۵/۸۷	-۱۸/۵۶	۱۳-	۳۵/۰۷
۲	۱۳-	۵-	۴۳۳/۴۹	۱۳-	۵-	۴۳۵/۵۲	-۱۳	۵-	۲۹۲/۳۷
۳	۵-	۰	۸۷۳/۷۴	۵-	۰	۸۶۰/۱۴	-۵	۰	۵۶۰/۶۱
۴	۰	۷	۱۱۴۵/۱۳	۰	۷	۱۴۰۹/۵۵	۰	۷	۱۴۳۹/۰۷
۵	۷	۱۴	۶۱۸۸/۲۶	۷	۱۴	۸۳۵۶/۹۵	۷	۱۴	۶۲۶۱/۵۳
۶	۱۴	۲۰	۳۶۹۵/۷۳	۱۴	۲۰	۱۲۳۶/۸۰	۱۴	۲۰	۳۷۵۴/۲۱
۷	۲۰	۲۶/۷۲	۵/۷۵	۲۰	۲۲/۷۱	۱۲/۳۵	۲۰	۲۹/۹	۲۴/۳۱

منبع: نگارنده

همان‌طور که در جدول طبقه‌بندی دماهای فصل زمستان (جدول ۱) نشان داده شده، حداکثر و حداقل دمای سال ۲۰۱۶ شباهت بیشتری با سال ۲۰۲۱ دارد و در سال ۲۰۱۹ حداقل دما (منفی ۲۲ درجه) و حداکثر دما (مثبت ۲۲ درجه) کمتر از دو سال دیگر است. به عبارت دیگر، در دوره زمانی تعیین شده، دمای هوای منطقه از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ افت چشمگیری داشته و مجدد در دوره ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ دمای هوا در زمستان روندی افزایشی داشته است. از طرف دیگر، میزان تغییرات مساحت برای هر یک از طبقات دمایی فصل زمستان به صورت نمودار در شکل ۵ نمایش داده شده است. در نمودار سمت چپ مساحت (کیلومتر مربع) در محور عمودی با سال در محور افقی و در نمودار سمت راست مساحت (کیلومتر مربع) در محور عمودی با کلاس‌های دمایی در محور افقی نسبت به یکدیگر ارزیابی شده است. هدف از ارائه دو نمودار آشکارتر شدن روند تغییرات مساحت طبقات دمایی نسبت به سال‌های تعیین شده است.





شکل ۵: نمودار روند تغییرات مساحت طبقات دمای فصل زمستان منطقه در هر سال (کیلومتر مربع) (منبع: نگارنده)

Figure 5: Changes trends of temperature class areas in winter season per year (KM<sup>2</sup>)

با توجه به نمودار (شکل ۵) به طور کلی، طبقه‌های دمایی بالاتر از صفر درجه (۴، ۵ و ۶) مساحت بیشتری را نسبت به دماهای کمتر از صفر درجه (۱، ۲ و ۳) اشغال کرده است. از طرف دیگر، بیشترین میزان مساحت منطقه دمایی بین ۷ تا ۱۴ درجه سلسیوس (طبقه پنجم دمایی) با مساحتی بیش از ۶۱۰۰ کیلومتر مربع از ۱۲ هزار کیلومتر مربع (مساحت کل منطقه) دارد. همان‌طور که نشان داده شده، در فصل زمستان مساحت دمای زیر صفر درجه در سال ۲۰۱۶ از حدود ۱۳۳۰ کیلومتر مربع به حدود ۸۹۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۱ رسیده است. همچنین، وسعت نواحی بالای ۲۰ درجه از حدود ۶ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۶ به بیش از ۲۴ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۱ رسیده است؛ بنابراین ارزیابی مساحت‌های کلاس‌های دمایی نشان‌دهنده گرم‌تر شدن هوای منطقه از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ در فصل زمستان است. این نکته باید بیان شود که در این نمودارها در محور عمودی برای نشان‌دادن ارقام مساحت از نمایش مقیاس لگاریتمی استفاده شده است تا ارقام مساحت پایین نظیر ۲۵ یا ۳۵ کیلومتر مربع نسبت به ارقام مساحت بالا مانند ۶ یا ۸ هزار کیلومتر مربع نیز قابلیت نمایش داشته باشد.

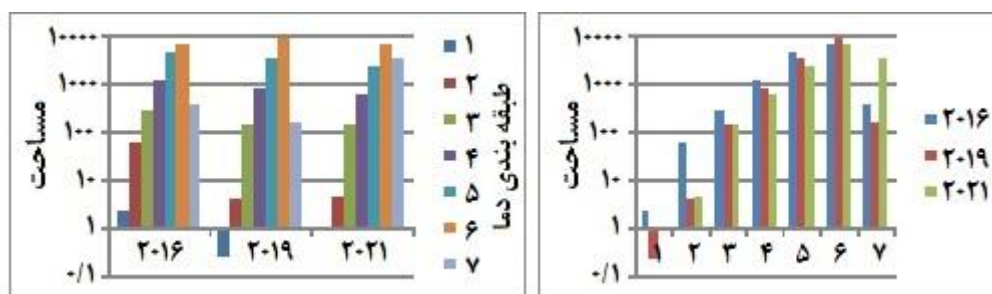
جدول ۲: تغییرات دمایی فصل تابستان منطقه در سه سال تعیین شده

Table 2: Temperature changes in summer for selected years

طبقه بندی	تابستان (S.16) 2016			تابستان (S.19) 2019			تابستان (S.21) 2021		
	حداقل دما	حداکثر دما	مساحت km <sup>2</sup>	حداقل دما	حداکثر دما	مساحت km <sup>2</sup>	حداقل دما	حداکثر دما	مساحت km <sup>2</sup>
۱	۶/۰۶	۱۲	۲/۳۱	۷/۰۴	۱۳	۰/۲۶	۵/۸۲	۱۲	۰/۸۶
۲	۱۲	۲۰	۵۵/۰۴	۱۳	۲۰	۳/۷۹	۱۲	۲۰	۴/۵۷
۳	۲۰	۲۵	۲۶۴/۶۸	۲۰	۲۵	۱۲۹/۹۷	۲۰	۲۵	۱۳۲/۷۴
۴	۲۵	۳۰	۱۱۰۹/۱۸	۲۵	۳۰	۷۷۷/۸۱	۲۵	۳۰	۵۵۷/۸۲
۵	۳۰	۳۵	۴۲۴۹/۴۲	۳۰	۳۵	۳۲۰۷/۴۸	۳۰	۳۵	۲۱۹۹/۶
۶	۳۵	۴۵	۶۳۴۲/۱۵	۳۵	۴۵	۸۰۹۵/۷۸	۳۵	۴۵	۶۳۸۳/۹۴
۷	۴۵	۵۱/۸۳	۳۴۴/۳۹	۴۵	۵۳/۱۱	۱۲۵/۰۹	۴۵	۵۰/۷۳	۳۰۸۷/۶۵

منبع: نگارنده

براساس محاسبات دمای سطحی منطقه زمستان سال ۲۰۱۹ (جدول ۱) که دمای پایین‌تری نسبت به دو سال دیگر را نشان می‌داد، در فصل تابستان (جدول ۲) سال ۲۰۱۹ حداقل و حداکثر دمای بیشتری نسبت به دو سال دیگر داشته است. همچنین، وسعت زیادی از منطقه دمای بین ۳۰ تا ۴۵ درجه دارد؛ اما به‌طور کلی، محاسبات دمای منطقه در فصل تابستان سه سال مدنظر حاکی از گرم‌تر شدن هوا در طول سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ است. همان‌طور در جدول ۲ نشان داده شده، در فصل تابستان مساحت دمای بالای ۳۵ درجه در سال ۲۰۱۶ بیش از ۶۶۰۰ کیلومتر مربع، در سال ۲۰۱۹ بیش از ۸۲۰۰ کیلومتر مربع و در سال ۲۰۲۱ بیش از ۹۳۰۰ کیلومتر مربع است. همچنین، وسعت نواحی با دمای پایین‌تر از ۲۰ درجه از حدود ۵۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۶ به کمتر از ۶ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۱ رسیده است. میزان تغییرات مساحت برای هر یک از طبقات دمایی فصل تابستان در منطقه نیز به‌صورت نمودار در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶: روند تغییرات مساحت طبقات دمای فصل تابستان منطقه در هر سال (کیلومتر مربع) (منبع: نگارنده)

Figure 6: Changes trends of temperature class areas in summer season per year (KM<sup>2</sup>)

همان‌طور که شکل ۶ (نمودار سمت چپ) نشان می‌دهد در فصل تابستان بیشترین میزان مساحت منطقه دمای بین ۳۵ تا ۴۵ درجه (کلاس شش دمایی) با بیش از ۶۳۰۰ کیلومتر مربع از ۱۲ هزار کیلومتر مربع (مساحت کل منطقه) را دارد. در مرحله بعد به‌عنوان هدف دوم برای ارزیابی تأثیر برخی عوامل انسانی و طبیعی در این تغییرات دمایی (شکل ۳) تأثیر کلاس‌های مختلف ارتفاع، شیب، جهت شیب، پوشش اراضی و فاصله از شبکه معابر با روش نسبت فراوانی ارزیابی شد.

جدول ۳ ارزیابی روش نسبت فراوانی ارتفاع پیکسل‌های تصویر منطقه مطالعه‌شده را با کلاس‌های مختلف دمایی در زمستان ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. این جدول درصد مساحت یک کلاس دمایی نسبت به کل منطقه را نسبت به درصد مساحت یک کلاس ارتفاعی نسبت به کل منطقه را ارزیابی می‌کند. همان‌طور که مشخص شده است، بیشترین میزان فراوانی پیکسل‌ها در کلاس دمایی ۵ (۷ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد) در ارتفاعات کم و خیلی کم (زیر ۱۵۰۰ متر) قرار گرفته است. این بدان معناست که وسعت زیادی از منطقه با کلاس دمایی ۷ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد در کلاس ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر (کلاس ۲) وجود دارد (با نسبت فراوانی ۰/۸۸). در مقابل، وسعت بسیار کمی از منطقه با کلاس دمایی منفی ۲۲/۴ تا منفی ۱۳ درجه سانتی‌گراد (کلاس ۱) در کلاس ارتفاعی ۴۴۷ تا ۱۰۰۰ متر (کلاس ۱) قرار گرفته است (با نسبت فراوانی ۰/۰۰۰)؛ البته نسبت فراوانی صفر بیانگر نبود پیکسل نیست و این وسعت با تعداد رقم اعشار بیشتر بسیار ناچیز نشان داده می‌شود.

جدول ۳: نتایج محاسبات روش نسبت فراوانی طبقات دما نسبت به نقشه ارتفاع در زمستان ۲۰۱۹

Table 3: FR calculations of temperature classes with respect to DEM in winter 2019

		کلاس‌های دمایی (زمستان 2019)						
کلاس‌های ارتفاع		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
خیلی کم	۱	۰	۰	۰	۰/۰۷	۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۰۲
کم	۲	۰	۰	۰	۰/۰۵	۰/۸۸	۰/۰۷	۰
متوسط	۳	۰	۰	۰/۰۵	۰/۲۰	۰/۵۶	۰/۱۹	۰
زیاد	۴	۰	۰/۱۰	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۱۹	۰/۰۴	۰
خیلی زیاد	۵	۰/۰۸	۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۰۷	۰/۰۱	۰	۰

منبع: نگارنده

جدول ۴ نشان‌دهنده محاسبات مشابه برای فصل تابستان سال 2019 است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین وسعت مناطق با کلاس دمایی ۶ (۳۵ تا ۴۵ درجه) در ارتفاع با کلاس کم و متوسط (بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر) است (با نسبت فراوانی ۰/۷۲). در مقابل، وسعت کمی از منطقه با کلاس دمایی ۱ و در ارتفاع خیلی کم و وسعت کمی از منطقه با کلاس دمایی ۷ در ارتفاع خیلی زیاد وجود دارد.

جدول ۴: محاسبات روش نسبت فراوانی کلاس‌های دمایی نسبت به نقشه ارتفاع در تابستان ۲۰۱۹

Table 4: FR calculations of temperature classes with respect to DEM in summer 2019

		کلاس‌های دمایی (تابستان 2019)						
کلاس‌های ارتفاع		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
خیلی کم	۱	۰	۰	۰	۰/۰۹	۰/۲۵	۰/۶۲	۰/۰۴
کم	۲	۰	۰	۰	۰/۰۴	۰/۲۳	۰/۷۲	۰/۰۱
متوسط	۳	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۲۳	۰/۷۲	۰/۰۱
زیاد	۴	۰	۰	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۴۵	۰/۴۱	۰
خیلی زیاد	۵	۰	۰/۰۰۵	۰/۱۱	۰/۳۶	۰/۴۲	۰/۱۰	۰

منبع: نگارنده

جدول‌های ۳ و ۴ محاسبات روش نسبت فراوانی تأثیر عامل ارتفاع بر دمای منطقه را در دو فصل زمستان و تابستان سال 2019 به‌طور کامل نشان می‌دهد. محاسبات مشابه برای دو فصل زمستان و تابستان سال‌های 2016 و 2021 نیز انجام شده است. در جدول ۵ خلاصه‌ای از این محاسبات با تمرکز بر نسبت‌های فراوانی بالا برای هر دو فصل هر سه سال ارائه شده است.

جدول ۵: خلاصه جدول‌های نسبت فراوانی در دو فصل زمستان و تابستان سال‌های در نظر گرفته شده نقشه ارتفاع

**Table 5: Brief FR calculations of temperature classes with respect to DEM for winter and summer of the selected years**

		کلاس‌های دمایی					
		زمستان 2016	تابستان 2016	زمستان 2019	تابستان 2019	زمستان 2021	تابستان 2021
کلاس‌های ارتفاع (متر)		۵ (۷-۱۴ درجه)	۶ (۳۵-۴۵ درجه)	۵ (۷-۱۴ درجه)	۶ (۳۵-۴۵ درجه)	۵ (۷-۱۴ درجه)	۶ (۳۵-۴۵ درجه)
۴۴۷-۱۰۰۰	۱	۰/۵۷	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۶۲	۰/۵۱	۰/۶۱
۱۰۰۰-۱۵۰۰	۲	۰/۵۷	۰/۶۶	۰/۸۸	۰/۷۲	۰/۶۰	۰/۵۰
۱۵۰۰-۲۰۰۰	۳	۰/۵۵	۰/۴۳	۰/۵۶	۰/۷۲	۰/۴۷	۰/۶۳
۲۰۰۰-۲۵۰۰	۴	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۴۱	۰/۲۸	۰/۵۳
۲۵۰۰-۴۱۶۱	۵	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۶

منبع: نگارنده

به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر نواحی منطقه مطالعه شده در فصل زمستان دمایی بین ۷ تا ۱۴ درجه و در فصل تابستان دمایی بین ۳۵ تا ۴۵ درجه دارد؛ البته همان‌طور که اشاره شد، دیگر کلاس‌های دمایی در ارتفاعات مختلف نیز نسبت‌های فراوانی دارد که در مراحل تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ برای مثال، همان‌طور که در **جدول ۳** نشان داده شد، در زمستان 2019 در بیشترین ارتفاع رقم نسبت فراوانی نواحی با کمترین دما (منفی ۲۲ تا منفی ۱۳) ۰/۰۸ محاسبه شد که این رقم در زمستان 2016 بسیار قابل توجه‌تر است. این رقم نواحی بسیار سرد را در ارتفاعات بسیار بالای رشته‌کوه‌های البرز نشان می‌دهد.

پس از ارزیابی نقشه ارتفاع دمای منطقه نسبت به عامل شیب تحلیل شد. **جدول ۶** نشان‌دهنده ستون‌های بزرگ‌ترین ارقام نسبت فراوانی تمامی جدول‌های دو فصل زمستان و تابستان در هر سه سال است. برای کاهش تعداد جدول‌ها در متغیرهای بعد فقط خلاصه‌ای از جدول‌ها ارائه خواهد شد.

جدول ۶: خلاصه جدول‌های نسبت فراوانی در دو فصل زمستان و تابستان سال‌های در نظر گرفته شده نقشه شیب

**Table 6: Brief FR calculations of temperature classes with respect to slope map for winter and summer of the selected years**

		کلاس‌های دمایی					
		زمستان 2016	تابستان 2016	زمستان 2019	تابستان 2019	زمستان 2021	تابستان 2021
کلاس‌های شیب		۵ (۷-۱۴ درجه)	۶ (۳۵-۴۵ درجه)	۵ (۷-۱۴ درجه)	۶ (۳۵-۴۵ درجه)	۵ (۷-۱۴ درجه)	۶ (۳۵-۴۵ درجه)
خیلی کم	۱	۰/۵۹	۰/۶۴	۰/۸۷	۰/۷۵	۰/۶۰	۰/۵۱
کم	۲	۰/۴۹	۰/۴۲	۰/۵۰	۰/۶۸	۰/۴۶	۰/۶۹
متوسط	۳	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۴۳	۰/۳۱	۰/۵۰
زیاد	۴	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۹
خیلی زیاد	۵	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۱۳

منبع: نگارنده

بیشترین میزان تغییرات دما در زمستان 2016 مربوط به کلاس دمایی ۳، ۴، ۵ و ۶ است که در کلاس ۵ با بیشترین میزان نسبت فراوانی نشان داده شده است. در تابستان 2016 بیشترین نسبت فراوانی متعلق به کلاس دمایی ۶ در مناطق با کمترین شیب است. سال‌های 2019 و 2021 نیز بیشترین میزان وسعت منطقه را با کلاس‌های دمایی ۵ و ۶ در نواحی با شیب کم یا خیلی کم دارد. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات دمایی به‌دلیل شیب کم نواحی دشتی جنوب منطقه مطالعه شده بیشتر نمایان می‌شود؛ البته همان‌طور که درباره لایه ارتفاع نیز بیان شد، در فصل‌های زمستان هر سال وسعت زیادی از منطقه با دمای پایین در بالاترین ارتفاعات منطقه در جدول‌ها مشاهده می‌شود. پس از ارزیابی تأثیر عامل شیب در تغییرات دمای منطقه لایه جهت شیب نیز طبقه‌بندی و میزان دما نسبت به این لایه ارزیابی شد. **جدول ۷** تأثیرگذارترین کلاس‌های دمایی را با بیشترین نسبت فراوانی نسبت به کلاس‌های لایه جهت شیب در هر دو فصل زمستان و تابستان هر سه سال نشان می‌دهد.

جدول ۷: خلاصه جدول‌های نسبت فراوانی در دو فصل زمستان و تابستان سال‌های در نظر گرفته شده نقشه جهت شیب

**Table 7: Brief FR calculations of temperature classes with respect to aspect map for winter and summer of the selected years**

		کلاس‌های دمایی					
		زمستان 2016	تابستان 2016	زمستان 2019	تابستان 2019	زمستان 2021	تابستان 2021
کلاس‌های جهت شیب		۵ (۷-۱۴ درجه)	۶ (۳۵-۴۵ درجه)	۵ (۷-۱۴ درجه)	۶ (۳۵-۴۵ درجه)	۵ (۷-۱۴ درجه)	۶ (۳۵-۴۵ درجه)
مسطح	۱	۰/۶۴	۰/۶۱	۰/۹۲	۰/۷۱	۰/۶۷	۰/۴۹
شمال	۲	۰/۵۰	۰/۴۳	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۵۱	۰/۴۵
شمال شرق	۳	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۵۶	۰/۵۱
شرق	۴	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۷۲	۰/۷۶	۰/۵۲	۰/۵۵
جنوب شرق	۵	۰/۴۴	۰/۶۲	۰/۶۵	۰/۷۵	۰/۴۲	۰/۵۵
جنوب	۶	۰/۴۵	۰/۵۸	۰/۶۳	۰/۷۱	۰/۴۱	۰/۵۷
جنوب غرب	۷	۰/۵۳	۰/۴۸	۰/۷۰	۰/۵۹	۰/۵۳	۰/۵۴
غرب	۸	۰/۵۳	۰/۴۱	۰/۶۹	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۴۹
شمال غرب	۹	۰/۵۰	۰/۴۰	۰/۶۴	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۴۵

منبع: نگارنده

همان‌طور که از **جدول ۷** مشاهده می‌شود، ارقام جدول نسبت فراوانی جهت شیب قابل توجه‌تر از لایه شیب است. این نکته نشان‌دهنده تأثیرگذاری بیشتر ویژگی جهت شیب در تغییرات دما نسبت به شیب زمین است. به‌طور کلی، شیب‌های شمالی (شمال، شمال غرب و شمال شرق) به‌دلیل تابش کمتر خورشید در زمستان نسبت‌های فراوانی بیشتری نسبت به کلاس‌های مشابه جهت شیب در تابستان دارد. در مقابل، شیب‌های جنوبی و جنوب شرقی در تابستان به‌دلیل تابش بیشتر نسبت فراوانی بیشتری نسبت به کلاس‌های متناظر در زمستان دارند. با استخراج چنین

روابطی از تمامی جدول‌های تولیدشده روش نسبت فراوانی اطلاعات ارزشمندی از میزان تأثیرگذاری متغیر مستقل جهت شیب بر دمای منطقه به دست می‌آید.

پس از ارزیابی تغییرات دما نسبت به سه متغیر طبیعی ارتفاع، شیب و جهت شیب تأثیر پوشش اراضی بر دمای محیط ارزیابی شد. **جدول ۸** علاوه بر کلاس دمایی ۵ و ۶ کلاس ۱، یعنی کمترین دما را نیز در دو فصل زمستان و تابستان ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. در هر دو فصل میزان نسبت فراوانی کلاس کمترین دما در پوشش برف کاملاً قابل توجه است (۰/۸۹ و ۰/۸۴).

جدول ۸: خلاصه جدول‌های نسبت فراوانی در دو فصل زمستان و تابستان سال ۲۰۱۹ نسبت به پوشش اراضی

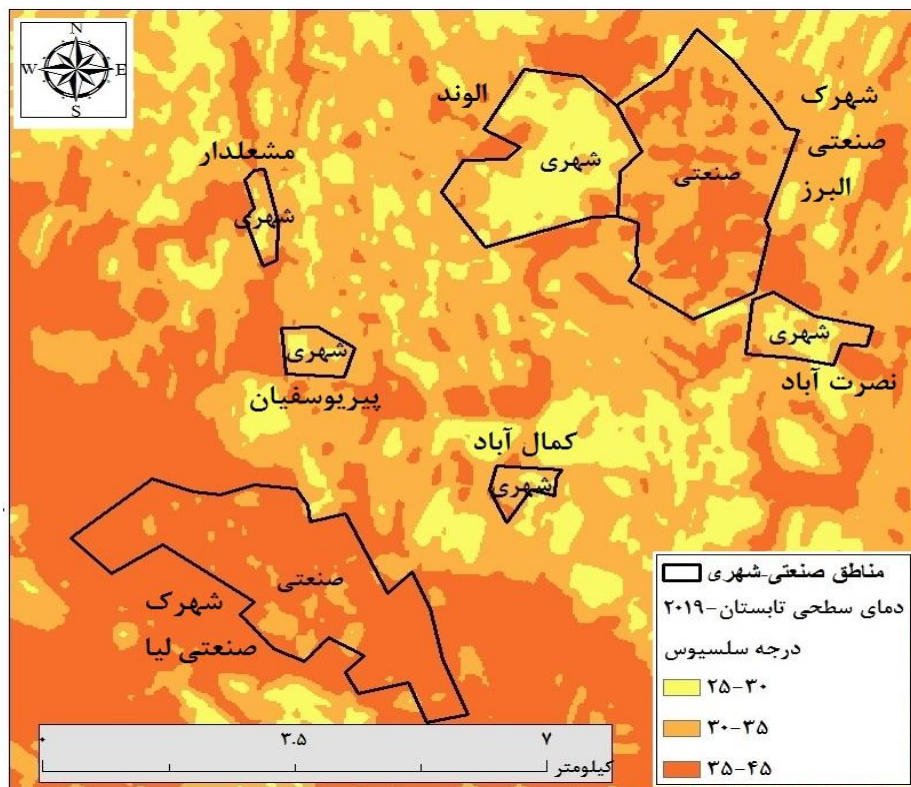
**Table 8: Brief FR calculations of temperature classes with respect to land cover map for winter and summer of 2019**

کلاس‌های پوشش اراضی	کلاس‌های دمایی								
	زمستان 2019				تابستان 2019				
	۱	۴	۵	۶	۱	۴	۵	۶	
درختی	۱۰	۰	۰/۲۱	۰/۷۲	۰/۰۱	۰	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۰۲
بوته‌زار	۲۰	۰	۰/۱۷	۰/۷۷	۰/۰۲	۰	۰/۱۰	۰/۷۱	۰/۲۰
مرتع	۳۰	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۴۷	۰/۱۵	۰	۰/۰۶	۰/۲۸	۰/۶۲
کشاورزی	۴۰	۰	۰/۰۱	۰/۹۴	۰/۰۵	۰	۰/۰۵	۰/۲۸	۰/۶۶
شهری	۵۰	۰	۰/۳۸	۰/۵۲	۰/۰۱	۰	۰/۱۴	۰/۵۴	۰/۳۲
بایر	۶۰	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۷۸	۰/۰۶	۰	۰/۰۳	۰/۲۰	۰/۷۵
یخ	۷۰	۰/۸۹	۰	۰	۰	۰/۸۴	۰/۱۶	۰	۰
آب	۸۰	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۸۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۴۰	۰/۳۴	۰/۰۶
تالاب	۹۰	۰	۰	۱/۰	۰	۰	۰/۶۹	۰/۳۰	۰/۰۱

منبع: نگارنده

در فصل تابستان نسبت فراوانی گرم‌ترین کلاس دمایی (کلاس ۶) اراضی بایر بسیار زیاد و در فصل زمستان بسیار ناچیز است (۰/۷۵ و ۰/۰۶)؛ البته اراضی کشاورزی و سبزه‌زار نیز گرمای چشمگیری نسبت به زمستان دارد. به‌طور کلی، کلاس‌های دمایی پایین‌تر در زمستان نسبت فراوانی بیشتری نسبت به تابستان دارد. همچنین، در فصل تابستان اراضی بایر و سپس کشاورزی بیشترین دمای محیطی را دارد. در نهایت، می‌توان جنس خاک، مسطح‌بودن، دریافت مستقیم تابش خورشید و جهت شیب را مهم‌ترین دلایل گرم‌بودن این اراضی دانست.

در مرحله بعد برای تمرکز بیشتر بر مناطق صنعتی به‌طور جداگانه تأثیر پوشش شهری و صنعتی با روش نسبت فراوانی بر تغییرات دما ارزیابی شد. تأثیر کاربری صنعتی بر افزایش دمای سطحی در هر دو فصل زمستان و تابستان (هر سه سال) کاملاً قابل توجه است. در **شکل ۷** نیز مشاهده می‌شود که پلی‌گون‌های نشان‌دهنده مناطق و شهرک‌های صنعتی دمای بیشتر نسبت به مناطق شهری و محیط‌های اطراف خود دارند.



شکل ۷: ارتباط چند منطقه شهری و صنعتی نسبت به دمای سطحی منطقه مطالعه شده (منبع: نگارنده)

Figure 7: Correlation of Urban and Industrial areas with respect to LST

به عنوان آخرین عامل انسانی تلاش شد تأثیر عبور و مرور وسایل نقلیه در جاده‌های اصلی منطقه مطالعه شده به خصوص مسیر آزادراه تهران-کرج-قزوین بر دمای محیط در دو فصل تابستان و زمستان ارزیابی شود. برای این منظور، لایه جاده‌های منطقه بر اساس فاصله طبقه‌بندی و تأثیرات فاصله‌های مختلف روی کلاس‌های دمایی ارزیابی شد. به طور کلی، تأثیر عبور و مرور وسایل نقلیه در جاده‌ها در فصل زمستان قابل توجه تر است. در فاصله‌های کم و نزدیک به جاده در فصل‌های زمستان نسبت فراوانی دمای بالا بیشتر از فاصله‌های دورتر از جاده است. در مقابل، در فصل تابستان چنین رابطه مستقیمی مشاهده نمی‌شود. به نظر اراضی بایر کنار جاده تأثیر بیشتری در گرم شدن هوای محیط نسبت به خود جاده دارد؛ بنابراین در فصل تابستان با افزایش کلاس دما (۵ به ۶) و افزایش فاصله از جاده نسبت فراوانی نیز بیشتر می‌شود؛ البته در فصل تابستان 2021 نتایج متفاوت بود؛ یعنی با کاهش فاصله از جاده نسبت فراوانی افزایش می‌یافت.

همان‌طور که در پژوهش حاضر نشان داده شد، تأثیرات عوامل و متغیرهای انسانی و طبیعی بر تغییرات دمای منطقه کاملاً قابل توجه بوده است؛ بنابراین اطلاعات ارزشمندی از استخراج روابط بین این متغیرها استخراج می‌شود. درحقیقت، فرآیند محاسبات روش نسبت فراوانی (FR) میزان وقوع یک پدیده را به عنوان متغیر وابسته نسبت به کلاس‌های متغیرهای مستقل ارزیابی می‌کند. در برخی مواقع این ارزیابی‌ها به پیش‌بینی رویدادهای طبیعی نظیر سیل، زلزله، رانش زمین و دیگر پدیده‌ها کمک می‌کند.



## نتیجه‌گیری

محققان در این پژوهش سعی در تحلیل دمای سطحی بخش شرقی استان قزوین طی دو مرحله داشتند. در مرحله اول تلاش شد دمای سطحی منطقه از دو روش مختلف محاسباتی معمول برآورد و در نهایت، میزان افزایش و کاهش دما در دوره زمانی تعیین شده استخراج شود. نتایج محاسبه دما حاکی از همبستگی زیاد در دو روش برآورد دمای سطحی و تشابه میزان دمای محاسبه شده (۱/۵ درجه اختلاف) با دمای هوای ساعتی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مطالعه شده (به دلیل استفاده این روش‌ها از پارامترهای مؤثر مانند ضریب گسیلندگی، تابش طیفی و دمای درخشندگی باندهای حرارتی) بوده است. علاوه بر این، با ارزیابی و تحلیل آماری دقیق و محاسبه میزان مساحت طبقه‌های دمایی (همان‌طور که در جدول‌ها و نمودارهای روند تغییرات نشان داده شد) در فصل تابستان وسعت نواحی با دمای بالای ۳۵ درجه از حدود ۶۶۰۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۶ به بیش از ۹۳۰۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۱ رسیده است. همچنین، در فصل تابستان وسعت نواحی با دمای پایین‌تر از ۲۰ درجه از حدود ۵۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۶ به کمتر از ۶ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۱ رسیده است. در مقابل، در فصل زمستان مساحت دمای زیر صفر درجه در سال ۲۰۱۶ از حدود ۱۳۳۰ کیلومتر مربع به حدود ۸۹۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۱ رسیده است. همچنین، وسعت نواحی بالای ۲۰ درجه از حدود ۶ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۶ به بیش از ۲۴ کیلومتر مربع در زمستان سال ۲۰۲۱ رسیده است؛ بنابراین می‌توان به وضوح به افزایش دما از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ پی برد که این روند مطابق با نتایج پژوهش **ایزدفر و مالیان (۱۳۹۵)** است. درباره ویژگی‌های محیطی می‌توان نتیجه گرفت که بخش شمالی منطقه مطالعه شده به دلیل عرض جغرافیایی بالاتر و ارتفاعات بیشتر میانگین دمایی کمتر و بخش جنوبی منطقه به دلیل عرض جغرافیایی پایین‌تر، ارتفاع کمتر و غالب دشتی منطقه میانگین دمای بیشتری دارد. علاوه بر استخراج روند تغییرات دما استخراج تأثیر عوامل مهم بر تغییرات دما نیز بسیار حائز اهمیت است؛ بنابراین در مرحله دوم، تأثیر عوامل مختلف نظیر ارتفاع، شیب، جهت شیب، پوشش اراضی و فاصله از شبکه معابر با روش نسبت فراوانی ارزیابی شد. روش نسبت فراوانی قابلیت زیادی در زمینه تحلیل و استخراج تأثیر عوامل مستقل مختلف بر یک متغیر وابسته (دمای منطقه) مطابق پژوهش‌های مشابه نظیر **شهابی (۱۴۰۰)** دارد. در زمینه ارتفاع و شیب بیشترین میزان مساحت منطقه که پوشیده از دشت با ارتفاع زیر ۱۰۰۰ متر و شیب کم است، دمایی بالا با ارقام نسبت فراوانی بالای ۰/۶ در فصل تابستان و ۰/۵ در فصل زمستان برای ارتفاع و ارقام نسبت فراوانی بالای ۰/۵ در فصل تابستان و ۰/۶ در فصل زمستان برای شیب دارد. به عبارت دیگر، مساحت بسیار کمی از منطقه ارتفاعی کم و دمایی پایین و ارتفاع زیاد با دمای بالا دارد. نتایج محاسبات روش نسبت فراوانی با لایه جهت شیب قابل توجه‌تر از لایه ارتفاع و شیب بود که این نشان دهنده تأثیر گذارتر بودن متغیر جهت شیب در تغییرات دمایی نسبت به لایه‌های دیگر است. شیب‌های شمالی به دلیل تابش کمتر آفتاب در زمستان نسبت به فراوانی بیش از ۰/۵ را نسبت به کلاس‌های مشابه جهت شیب در تابستان دارند. در مقابل، شیب‌های جنوبی و جنوب شرقی در تابستان به دلیل تابش بیشتر نسبت فراوانی بیش از ۰/۵۳ را نسبت به کلاس‌های مشابه جهت شیب در زمستان دارند. در زمینه پوشش و کاربری اراضی مطابق با نتایج مطالعاتی نظیر **ولیزاده**



و همکاران (۱۳۹۶)، محمودزاده و همکاران (۱۳۹۸) در این پژوهش نیز تأثیر متفاوت این عامل بر دمای سطحی مشاهده شد. پوشش اراضی بایر با رقم نسبت فراوانی ۰/۷۵ در کلاس دمایی بالای ۳۵ درجه سانتیگراد در فصل تابستان و پوشش برفی با رقم نسبت فراوانی ۰/۸۹ در کلاس دمایی زیر منفی ۱۳ درجه در فصل زمستان نشان دهنده تأثیر نوع پوشش و کاربری زمین در تغییرات دمای محیط است. علاوه بر این، اراضی کشاورزی و پوشش‌های گیاهی که در فصل تابستان به دلایل مختلف تراکم گیاهی کمتری دارند، دمایی بسیار بالا به محیط اطراف با ارقام نسبت فراوانی بالای ۰/۶۶ در تابستان و ۰/۹۴ در زمستان نیز دارند. جنس خاک، مسطح بودن و دریافت مستقیم تابش خورشید به دلیل جهت شیب مهم‌ترین دلایل گرم بودن این اراضی است. همچنین، تأثیر کاربری صنعتی بر افزایش دمای سطحی نیز در هر دو فصل زمستان و تابستان هر سه سال به طور کامل، محسوس بود. در نهایت، جاده‌های منطقه در فصل تابستان و زمستان تأثیر متفاوتی را نشان داد. در فصل زمستان محیط‌های نزدیک به جاده گرم‌تر و در فصل تابستان اراضی بایر کنار جاده گرم‌تر از خود جاده بود. این نتیجه نشان‌دهنده تأثیر بیشتر پوشش بایر، شیب کم و جهت شیب در تغییرات دمایی است. با استخراج چنین روابطی از ارزیابی‌های انجام شده اطلاعات ارزشمندی از میزان تأثیرگذاری متغیرهای مستقل مختلف بر متغیر وابسته که در این پژوهش دمای سطحی منطقه بود، به دست می‌آید که می‌توان در بخش‌های مختلف مدیریت برنامه‌ریزی شهری، محیط زیست و بحران مورد استفاده قرار گیرد. در پایان، برای انجام دادن محاسبات و تحلیل دمای سطحی به خصوص در سطح شهرها پیشنهاد می‌شود از داده‌ها و تصاویر با قدرت تفکیک بالا استفاده شود تا کاربری اراضی شهری مختلف به طور دقیق تجزیه و تحلیل شود.

## منابع

- آروین، عباسعلی (۱۳۹۷). بررسی جزیره حرارتی در ارتباط با آلودگی هوا در شهر اصفهان. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۷(۱)، ۱۲۹-۱۱۵. <https://doi.org/10.22067/geo.v7i1.64590>
- آزموده، مریم (۱۴۰۰). چگونگی عملکرد گیاهان در تعدیل پارامترهای مؤثر بر آسایش حرارتی در فضای شهری (نمونه پژوهش: دیوار سبز شهری در تهران). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۲(۳)، ۶۷-۸۰. <https://doi.org/10.22108/gep.2021.128810.1424>
- امیدی، مرجان، غلامی، داوودی، محمودی، بیت‌الله، و جعفری، ابوالفضل (۱۳۹۸). مدل‌سازی مکانی احتمال وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و وزن شاهد. *تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران*، ۱۷(۲)، ۱۲۵-۱۴۴. <https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2020.121301>
- انصاری، محمدرضا، و نوروزی، آذین (۱۴۰۲). بررسی خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین و ارتباط آن با کاربری اراضی شهر اهواز. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۴(۳)، ۱۶۱-۱۶۶. <https://doi.org/10.22108/gep.2023.136187.1564>
- ایزدفر حسین، و مالیان، عباس (۱۳۹۵). *ارزیابی تغییرات مکانی - زمانی جزایر حرارتی شهرستان قزوین با استفاده از تصاویر سری ماهواره لندست*. اولین کنفرانس بین‌المللی تغییر اقلیم، تهران. <https://civilica.com/doc/640516/>

پیرنظر، مجتبی، روستایی، شهرام، فیضی‌زاده، بختیار، و رئیسی نافچی، فاطمه (۱۳۹۷). بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس‌های پوشش کاربری زمین شهری با استفاده از داده‌های سنجنده لندست ۸ (مطالعه موردی: شهر تهران). *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۸(۲۹)، ۲۲۷-۲۴۰.

[https://gps.gu.ac.ir/article\\_80363.html](https://gps.gu.ac.ir/article_80363.html)

دلبنسته، سمیه (۱۳۹۷). بررسی و مقایسه تغییرات دمای سطحی زمین در طی سه دهه ۱۹۸۰، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی: شهر مشهد). *دومین کنفرانس ملی آب‌وهواشناسی ایران*، مشهد.

<https://civilica.com/doc/781121/>

زندى، رحمان، سلمانی مقدم، محمد، و و روکی، زهره (۱۴۰۲). سنجش میزان خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین با کاربری اراضی (نمونه مطالعه: شهر اصفهان). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۴(۱)، ۶۱-۷۶.

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

سلیمانی، کریم، روحانی قادیکلایی، فاطمه، شعبانی، مرتضی، و روحانی قادیکلایی، محسن (۱۳۹۹). به‌کارگیری الگوریتم تک‌کاناله در تحلیل جزیره حرارتی منطقه شهری. *سنجش از دور و GIS ایران*، ۱۲(۳)، ۸۷-۱۰۲.

<https://doi.org/10.52547/gisj.12.3.87>

شهابی، هیمن (۱۴۰۰). کاربرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، نسبت فراوانی و تابع شواهد قطعی در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز: الگویی برای مطالعات مخاطرات سیلاب شهری. *پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، ۱۲(۴۵)، ۱۸۱-۲۰۲.

<https://doi.org/10.30495/jupm.2021.4245>

صداقتی، عاطفه، و و طالب‌خواه، حمید (۱۳۹۶). توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل همگانی و کاهش جزایر حرارتی در شهرها: پیشنهادهایی برای تلفیق راهکارها (نمونه موردی: شهر بجنورد). *انسان و محیط زیست*، ۱۷(۲)، ۱-۱۴.

<https://sanad.iau.ir/en/Article/847600?FullText=FullText>

علوی‌پناه، سیدکاظم (۱۳۸۱). مطالعه دمای پدیده‌های سطحی حاشیه یاردانگ‌های بیابان لوت با استفاده از مطالعات میدانی و داده‌های حرارتی ماهواره. *بیابان*، ۹(۷)، ۶۷-۸۰.

<http://jast.modares.ac.ir/article-23-555-en.html>

کافی، فاطمه، یوسفی رویات، الهام، و جهانی شکیب، فاطمه (۱۴۰۲). تعیین مناسب‌ترین روش استخراج دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه موردی: شهر بیرجند). *سنجش از دور و GIS ایران*، ۱۵(۲)، ۳۷-۵۴.

<https://doi.org/10.48308/gisj.2023.102440>

مجاور، الهام، معطر، فرامرز، اردکانی، سهیل سبحان، جوزی، سیدعلی، و منوری، سیدمسعود (۱۴۰۱). مدل‌سازی تحلیل خسارات دی‌اکسیدگوگرد خروجی از نیروگاه‌ها بر سازه‌های شهری قزوین (مطالعه موردی: نیروگاه شهید رجائی). *پایداري، توسعه و محیط زیست*، ۲(۴)، ۹۳-۱۰۷.

<https://sanad.iau.ir/en/Article/846680?FullText=FullText>

محمودزاده، حسن، پویان جم، آذر، و امان‌زاده، فاطمه (۱۳۹۸). محاسبه دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا در شهر ارومیه. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۴(۷۳)، ۳۲۵-۳۴۸.

<https://doi.org/10.22034/gp.2020.10794>

ولیزاده کامران، خلیل، غلام‌نیا، خلیل، عینالی، گلزار، و موسوی، سیدمحمد (۱۳۹۶). برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چندمتغیره (مطالعه موردی: شهر زنجان). پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۸(۳۰)، ۳۵-۵۰.

[https://jupm.marvdasht.iau.ir/article\\_2497.html](https://jupm.marvdasht.iau.ir/article_2497.html)

## References

- Abdullahi, S. (2021). Brownfield land use change modeling using GIS-based Weights-of-Evidence approach. *Journal of Radar and Optical Remote Sensing*, 4(1), 66-77. <https://sanad.iau.ir/journal/jrors/Article/932711>
- Abdullahi, S., & Pradhan, B. (2018). Land use change modeling and the effect of compact city paradigms: integration of GIS-based cellular automata and weights-of-evidence techniques. *Environmental Earth Sciences*, 77(6), 1-15. <https://www.doi.org/10.1007/s12665-018-7429-z>
- Alavi-Panah, S. K. (2002). Studying the temperature of the surface phenomena at the edge of yardangs in Lot desert using field studies and satellite thermal data. *Desert*, 9(7), 67-80. <http://jast.modares.ac.ir/article-23-555-fa.html> [In Persian].
- Almeida, C. R. d., Teodoro, A. C., & Gonçalves, A. (2021). Study of the urban heat island (UHI) using remote sensing data/techniques: A systematic review. *Environments*, 8(10), 105. <https://doi.org/10.3390/environments8100105>
- Ansari, M. R., & Norouzi, A. (2023). Spatial autocorrelation of land surface temperature and its relationship with land use in Ahvaz city. *Geography & Environmental Planning*, 34(3), 141-166. <https://doi.org/10.22108/gep.2023.136187.1564> [In Persian].
- Arvin, A. (2018). An investigation of the relationship between urban heat Island and air pollution in the city of Isfahan. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 7(1), 115-129. <https://doi.org/10.22067/geo.v7i1.64590> [In Persian].
- Azmoodeh, M. (2021). Effects of plants on the parameters involved in thermal comfort in urban space: A case study of urban green wall in Tehran city. *Geography & Environmental Planning*, 32(3), 67-80. <https://doi.org/10.22108/gep.2021.128810.1424> [In Persian].
- Bendib, A., Dridi, H., & Kalla, M. I. (2017). Contribution of Landsat 8 data for the estimation of land surface temperature in Batna city, Eastern Algeria. *Geocarto International*, 32(5), 503-513. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1156167>
- Delbasteh, S. (2018). *Investigating and comparing changes in Earth's surface temperature during the three decades of 1980, 1990, and 2000, using satellite images*. The Second National Iranian Climate Conference, Mashhad. <https://civilica.com/doc/781121/> [In Persian].
- Guo, J., Ren, H., Zheng, Y., Lu, S., & Dong, J. (2020). Evaluation of land surface temperature retrieval from landsat 8/TIRS images before and after stray light correction using the SURFRAD dataset. *Remote Sensing*, 12(6), 1023. <https://doi.org/10.3390/rs12061023>
- Izadfar, H., & Malian, A. (2016). *Evaluation of spatial-temporal changes of Qazvin urban heat islands using Landsat satellite images*. The First International Conference on Climate Change, Tehran. <https://civilica.com/doc/640516/> [In Persian].
- Kafi, F., Yousefi, E., & Jahanishakib, F. (2023). Determining the most suitable method of extracting the surface temperature using. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 15(2), 37-54. <https://doi.org/10.48308/gisj.2023.102440> [In Persian].
- Mahmoudzadeh, H., Puyanjam, A., & Amanzadeh, F. (2020). Calculation of land surface temperature and thermal island extraction using Landsat 8 satellite imagery and separate window algorithm in Urmia. *Journal of Geography and Planning*, 24(73), 325-348. <https://doi.org/10.22034/gp.2020.10794> [In Persian].
- Majumder, A., Setia, R., Kingra, P., Sembhi, H., Singh, S. P., & Pateriya, B. (2021). Estimation of land surface temperature using different retrieval methods for studying the spatiotemporal variations of

- surface urban heat and cold islands in Indian Punjab. *Environment, Development and Sustainability*, 23(11), 15921-15942. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01321-3>
- Mojaver, E., Moattar, F., Sobhanardakani, S., Jozi, A., & Monavari, M. (2021). Modeling for estimation of the damage posed by so2 emitted from power plants on Qazvin Urban Structures (Case Study: Shahid Rajaei power plant). *Sustainability, Development & Environment*, 2(4), 93-107. <https://sanad.iau.ir/en/Article/846680?FullText=FullText> [In Persian].
- Omidi, M., Mafi, D., Mahmoodi, B., & Jafari, A. (2019). Spatial modeling of fire probability in forests and rangelands using frequency ratio and witness weight models. *Iranian Journal of Forests and Rangelands Protection Research*, 17(2), 125-144. <https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2020.121301> [In Persian].
- Pande, C. B., Egbueri, J. C., Costache, R., Sidek, L. M., Wang, Q., Alshehri, F., & Pal, S. C. (2024). Predictive modeling of land surface temperature (LST) based on Landsat-8 satellite data and machine learning models for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 444, 141035. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141035>
- Pirnazar, M., Rostaii, S., Feyzizadeh, B., & Raisi, F. (2018). Calculating the earth surface temperature and its relation to urban land cover classes by Landsat 8 data (Case study: Tehran city). *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 8(29), 227-240. [https://gps.gu.ac.ir/article\\_80363.html](https://gps.gu.ac.ir/article_80363.html) [In Persian].
- Pradhan, B. (2010). Landslide susceptibility mapping of a catchment area using frequency ratio, fuzzy logic and multivariate logistic regression approaches. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 38, 301-320. <https://doi.org/10.1007/s12524-010-0020-z>
- Sajib, M. Q. U., & Wang, T. (2020). Estimation of Land Surface Temperature in an agricultural region of Bangladesh from Landsat 8: Intercomparison of four algorithms. *Sensors*, 20(6), 1778. <https://doi.org/10.3390/s20061778>
- Saraskanrood, S. A., Asadi, B., & Ghale, E. (2022). Land surface temperature assessment in relation to land-use/land-cover (A case study: Isfahan City, Central Iran). *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 21(3), 1-11. [https://cjes.guilan.ac.ir/article\\_6959.html](https://cjes.guilan.ac.ir/article_6959.html)
- Sedaghati, A., & Talebkah, H. (2019). Transit oriented development and heat islands reduction in cities: proposals for integrated solutions (Case study: Bojnord city). *Human & Environment*, 17(2), 1-14. <https://sanad.iau.ir/en/Article/847600?FullText=FullText> [In Persian].
- Shahabi, H. (2021). Application of artificial neural network, frequency ratio and evidential belief function models in preparing of flood susceptibility map in Haraz watershed: A plan for urban flood risk studies. *Journal of Research and Urban Planning*, 12(45), 181-202. <https://doi.org/10.30495/jupm.2021.4245> [In Persian].
- solaimani, K., Ruhani, F., Shabai, M., & Rohani, M. (2020). Utility of Single Channel Algorithm in Heat Island Analysis. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 12(3), 87-102. <https://doi.org/10.52547/gisj.12.3.87> [In Persian].
- Valizadeh Kamran, K., Gholamnia, K., Eynali, G., & Moosavi, M. (2017). Estimation land surface temperature and extract heat islands using split window algorithm and multivariate regression analysis (Case Study of Zanjan). *Research & Urban Planing*, 8(30), 35-50. [https://jupm.marvdasht.iau.ir/article\\_2497.html?lang=en](https://jupm.marvdasht.iau.ir/article_2497.html?lang=en) [In Persian].
- Zandi, R., Salmani Moghadam, M., & Roki, Z. (2023). Measuring the Degree of Spatial Autocorrelation of Land Surface Temperature with Land Use (Isfahan City). *Geography and Environmental Planning*, 34(1), 61-76. <https://doi.org/10.22108/gep.2022.132524.1488> [In Persian].