

Investigation and Evaluation of the Relationship between Land-use and Temperature Variations within the Urban Environment using Nighttime Thermal Data from the Aster Sensor: A case study of Meshginshahr city

Sayyad Asghari Saraskanroud ¹✉, Behrouz Faramarzi Ouri ²

1. (Corresponding Author) Department of Physical Geography, Faculty of Social Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Email: s.asghari@uma.ac.ir

2. Department of Physical Geography, Faculty of Social Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Email: behrouz.faramarzi.ouri@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

6 February 2025

Received in revised form:

14 April 2025

Accepted:

22 May 2025

Available online:

6 July 2025

Keywords:

Aster,
Land Use,
Meshginshahr,
Remote Sensing,
Sentinel 3,
Urban Heat Island.

ABSTRACT

Population growth and the need for more urban space for residences lead to more city land being put under construction, and the city is facing land use changes. By affecting the urban climate, land use change causes changes in the energy balance, increases land surface temperature, and air temperatures in urban areas. Therefore, the impact of different land uses on land surface temperature is an important issue that a detailed study of this can lead to better management to reduce the adverse effects of heat islands in cities. In this study, using remote sensing as a new method, the relationship between land use change and nighttime land surface temperature in Meshkin Shahr city was studied using thermal data from the ASTER sensor and the Sentinel 3 satellite to identify hot spots that are precursors to the formation of heat islands in the urban environment. Regarding the research problem, the land surface temperature was first estimated using a split window algorithm for nighttime images from the ASTER sensor. The estimated temperature was then validated using the Sentinel-3 thermal product. Then, using the Landsat 9 image and the SVM algorithm, land use was extracted. Next, the relationship between land surface temperature and topographic factors (slope and aspect) and land use was investigated and analyzed. Finally, factors such as the asymmetric combination of phenomena with different characteristics and heat capacity, irregular distribution of vegetation, and barren lands as a result of urban expansion were inferred in the identification and distribution of hot spots using the Getis-Ord algorithm in the study area.

Cite this article: Saraskanroud, S. A., & Faramarzi Ouri, B. (2025). Investigation and Evaluation of the Relationship between Land-use and Temperature Variations within the Urban Environment using Nighttime Thermal Data from the Aster Sensor: A case study of Meshginshahr city. *Geographical Urban Planning Research Quarterly*, 13 (2), 95-114.

<http://doi.org/10.22059/jurbangeo.2025.386278.2017>



© The Author (s)

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Rapid urban expansion, due to extensive changes in land use and cover, has had negative impacts on global environmental quality, including air quality, temperature increase, and landscape changes, as well as agricultural land conversion leading to biodiversity loss. Accordingly, cities often experience specific climatic conditions, which are called urban climates. Urban climates are characterized by differences in the city's climatic variables (air temperature, humidity, wind speed and direction, precipitation) with the surrounding low-density areas. City climate can be improved by planning the city's structure, through strategies such as locating parks and water areas (such as ponds) and constructing buildings in the direction of the winds, which results in air pollution being blown away from the city by the wind. In this regard, the land surface temperature is an important parameter that controls the physical, chemical, and biological processes of the Earth and is an important factor for studying urban climate, which affects the balance of radiation, heat flux, evaporation, and transpiration, and other key factors in urban environments, which has recently been considered an important factor in many studies. How different land uses affect the land surface temperature is an important issue, and careful study of it will lead to better management to reduce the adverse effects of heat islands in cities.

The topic addressed in this research is the investigation and evaluation of the role of urban land use changes on the formation of the land surface temperature pattern in Meshginshahr city. Our goal is to investigate the impact of land-use changes in Meshginshahr city on the land surface temperature of different areas of this city at night, considering its topography. In other words, can land use changes cause changes in the land surface temperature at night in Meshginshahr city?

Methodology

The study area is located between latitudes 38 degrees and 22 minutes to 38 degrees and 25 minutes north and longitudes 47 degrees and 38 minutes to 47 degrees and 42 minutes east. The selected study area covers an area of about 9.83 square kilometers. In this study, in order to estimation of the land surface temperature using aster images and also to extract land use from envi software as the main image processing software, snap software for primary processing, geometric correction and preparation of sentinel 3 images for use in complementary software, we use terrset software for land surface temperature

validation was retrieved and arcgis software for the processing of hot spot analysis and their relationship with the extracted uses, as well as the preparation of the output map.

Results and discussion

The high spatial resolution of remote sensing sensors for studying heterogeneous areas with diverse phenomena is an important and influential feature in the findings of studies, given that we are dealing with different dimensions and sizes of phenomena. Thus, in the present study, aware that urban areas are considered heterogeneous areas, to extract the ground surface temperature alongside the aster sensor which has a resolution of 90 meters for the thermal band from the sentinel 3 thermal sensor, which has a one-kilometer resolution for the same band, was used to reveal difference in detail in the findings further. Emphasizing this point, the relationship between land-use and land surface temperature was studied for the urban area in question. The research findings indicated the negative effects of land-use change as a result of the increase in built-up areas and the lack of planning by urban managers in the final map so that areas of the city that are close to areas with vegetation are marked as cold spots however, some areas appear as hot spots, which can also be affected by construction, expansion, and renovation of the city. Nevertheless, in this same image, we see that barren areas that have lost their natural cover or have little natural cover appear as hot spots knowing that surfaces with natural cover, such as plants, water areas, and the like, which contain moisture, can be effective in reducing air temperatures. Thus preventing excessive decreases in land surface temperatures during the cold seasons of the year, it can be seen that the outskirts of the city, especially the south, southeast, and west, which do not have the necessary coverage, have been identified as cold spots at night and hot spots tend to be more towards the center and eastern periphery. Although meshginshahr is not a large city, if proper management is not carried out to preserve its natural cover along with changing land use during urban development, as a tourist city that has the potential to develop and increase its population, in the not-so-distant future it will face serious problems of heat islands, excessive energy consumption, and consequently a negative impact on the health of citizens and the environment.

Conclusion

The analysis of land-use temperature between both sensors, in addition to the existence of a

common point, showed a difference in land use temperature for the date 2023/12/18, which was justifiable given the spatial resolution of the sensors. Also, the relationship between temperature and land use showed that the temperature of land uses is more influenced by the topography of the region and the thermal characteristics of the phenomena. The results of the relationship between land surface temperature and topographic factors (slope and aspect) showed a positive relationship between land surface temperature and slope in the warm season and an inverse relationship in the cold season. In addition, for both sensors, the highest temperatures were in the southern, southeastern, and western geographical directions, which showed a significant relationship between temperature and aspect. Finally, by implementing the getis-ord algorithm, factors such as the asymmetric combination of phenomena with different characteristics and heat capacity, irregular distribution of vegetation cover, and wasteland as a result of urban expansion were inferred as the main factors in identifying hot spots.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

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

بررسی و ارزیابی رابطه کاربری اراضی با تغییرات دمایی در داخل محیط شهری با استفاده از داده‌های حرارتی شبانه سنجنده استر، مطالعه موردی: شهر مشگین شهر

صیاد اصغری سراسکانرود^۱ ✉، بهروز فرامرزی عوری^۲

۱- (نویسنده مسئول) گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: s.asghari@uma.ac.ir

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: behrouz.faramarzi.ouri@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۱۱/۲۰

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۰۱/۲۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۳/۰۱

تاریخ چاپ:

۱۴۰۴/۰۴/۱۵

واژگان کلیدی:

سنجش از دور،

جزیره حرارتی،

استر،

سنتینل ۳،

کاربری اراضی،

مشگین شهر.

رشد جمعیت و نیاز به فضای شهری بیشتر برای سکونت، اراضی بیشتری را به زیر ساخت‌وساز برده و شهر با تغییر کاربری اراضی مواجه می‌شود. تغییر کاربری با اثرگذاری بر روی اقلیم شهری باعث تغییر در توازن انرژی، افزایش دمای سطح زمین و دمای هوا در مناطق شهری می‌شود. بنابراین نحوه اثرگذاری کاربری‌های مختلف بر دمای سطح زمین مسئله مهمی است که بررسی دقیق آن منجر به مدیریت بهتر جهت کاهش اثرات نامطلوب جزایر حرارتی در شهرها می‌شود؛ در پژوهش حاضر با استفاده از سنجش از دور به‌عنوان روشی نوین، رابطه تغییر کاربری اراضی با دمای شبانه سطح زمین جهت شناسایی لکه‌های داغ که مقدمه‌ای برای تشکیل جزایر حرارتی در داخل محیط شهری هستند در شهر مشگین‌شهر با استفاده از داده‌های حرارتی شبانه سنجنده استر و ماهواره سنتینل ۳ مطالعه شد. در ارتباط با مسئله پژوهش ابتدا دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا برای تصاویر شبانه سنجنده استر برآورد شد، سپس دمای سطح برآورد شده با استفاده از پروداکت حرارتی سنتینل ۳ اعتبارسنجی گردید. سپس کاربری اراضی با تصویر لندست ۹ و الگوریتم SVM استخراج شد. در ادامه ارتباط دمای سطح زمین با عوامل توپوگرافی (شیب و جهت شیب) و کاربری اراضی بررسی و تحلیل شد. در نهایت عواملی از قبیل ترکیب نامتقارن پدیده‌های با خصوصیات و ظرفیت حرارتی متفاوت، پراکندگی نامنظم پوشش گیاهی و زمین‌های بایر در نتیجه گسترش شهر در شناسایی و نحوه توزیع لکه‌های داغ توسط الگوریتم گتیس - اورد در منطقه مورد مطالعه استنتاج گردید.

استناد: اصغری سراسکانرود، صیاد و فرامرزی عوری، بهروز. (۱۴۰۴). بررسی و ارزیابی رابطه کاربری اراضی با تغییرات دمایی در داخل محیط شهری با استفاده از داده‌های حرارتی شبانه سنجنده استر، مطالعه موردی: شهر مشگین شهر. *پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، ۱۳ (۲)، ۹۵-۱۱۴.

<http://doi.org/10.22059/jurbangeo.2025.386278.2017>

مقدمه

گسترش سریع شهرها به دلیل تغییرات گسترده در کاربری و پوشش زمین تأثیرات منفی بر کیفیت زیست‌محیطی جهانی داشته، از جمله کیفیت هوا، افزایش دما و تغییرات چشم‌انداز و همچنین تبدیل زمین‌های کشاورزی که منجر به از بین رفتن تنوع زیستی می‌شود (ابوطالب و همکاران، ۱۳۹۴). بر همین اساس شهرها در اغلب موارد شرایط اقلیمی خاصی را تجربه می‌کنند که به آن اقلیم شهری گفته می‌شود، اقلیم شهری به واسطه تفاوتی که در متغیرهای اقلیمی شهر (دمای هوا، رطوبت، سرعت و جهت باد، مقدار بارش) با نواحی کم تراکم‌تر اطرافش وجود دارد، مشخص می‌شود (ولیزاده کامران و همکاران، ۱۳۹۶). از فاکتورهای مهمی که در اقلیم شهری باید موردتوجه قرار گیرند اندازه شهر، جمعیت شهر، موقعیت شهر و بخصوص توزیع کاربری اراضی است. اقلیم شهر می‌تواند به وسیله برنامه‌ریزی ساختار شهرها توسط راه‌هایی مانند استراتژی تعیین موقعیت پارک‌ها و مناطق آبی (مانند حوض‌ها) و با ساختن ساختمان‌ها در مسیر بادهای که در نتیجه آن آلودگی هوا به وسیله باد از شهر دور می‌شود بهبود یابد (ابراهیمی، ۱۳۹۸). رشد جمعیت شهرها و نیاز به فضای بیشتر برای سکونت و فعالیت، پدیده گسترش شهری رخ می‌دهد که طی آن زمین‌های بیشتری به زیر ساخت‌وساز می‌روند و شهر در ابعاد افقی و عمودی گسترش می‌یابد. این گسترش به‌ویژه زمانی که افقی باشد با تغییر در کاربری اراضی موجود اتفاق می‌افتد. این تغییر اغلب موارد، زمین‌های کشاورزی، باغات و اراضی بایر را شامل می‌شود. (خدمت‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰). این تغییرات باعث شده که دمای برخی از مناطق شهری نسبت به اطراف دمای بیشتری داشته باشند که این افزایش دما باعث به وجود آمدن جزیره حرارتی در شهرها می‌شود. این پدیده برای اولین بار حدود یک قرن قبل توسط هاورد در سال ۱۸۱۹ مطرح شد (روکی و همکاران، ۱۴۰۲). در این جهت دمای سطح زمین پارامتر مهمی است که در کنترل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در پروسه‌های زمین و عامل مهمی برای مطالعه آب‌وهوای شهری محسوب می‌شود که بر تعادل تابش، شار گرما، تبخیر و تعرق و سایر عوامل کلیدی در محیط‌های شهری تأثیر می‌گذارد که اخیراً در بسیاری از مطالعات نیز به‌عنوان یک عامل مهم مطرح‌شده است (ولیزاده کامران و همکاران، ۱۳۹۶). نحوه اثرگذاری کاربری‌های مختلف بر دمای سطح زمین مسئله مهمی است که بررسی دقیق آن منجر به مدیریت بهتر جهت کاهش اثرات نامطلوب جزایر حرارتی در شهرها می‌شود (Weng et al, 2004). همچنین افزایش مصرف انرژی برای خنک‌کنندگی، کیفیت هوای شهری را پایین آورده و باعث ناراحتی و عدم آسایش شهروندان می‌شود و با تأثیر بر سلامتی انسان‌ها احتمال بروز آسم و انواع بیماری‌های تنفسی دیگر را افزایش می‌دهد. بنابراین، شناخت این فرایندها و اتخاذ تصمیم مناسب برای مدیریت‌های شهری دارای اهمیت زیادی است.

دستیابی به اطلاعات در کوتاه‌ترین زمان و با کم‌ترین هزینه ازجمله عوامل مهم تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری است. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های نوین، کم‌هزینه و سریع مانند فناوری سنجش‌ازدور، به علت توانایی در شناسایی و اکتشاف پدیده‌ها نسبت به روش‌های سنتی همواره موردتوجه متخصصین، مدیران و تصمیم‌گیران بوده است. امروزه، شناسایی و مطالعه اجسام و پدیده‌ها با استفاده از سنجنده‌های حرارتی موجب تحول در سنجش‌ازدور شده و با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور حرارتی ممکن است بتوان با کمترین هزینه و کوتاه‌ترین زمان، پروژه‌های زیادی در سطح جهانی، منطقه‌ای، ملی، استانی و محلی اجرا کرد (علوی پناه، ۱۳۹۰). در سال‌های اخیر تکنولوژی سنجش‌ازدور با ارائه تصاویر با قدرت تفکیک‌های مختلف کاربرد فراوانی در مطالعات شهری در مقیاس‌های مختلف قاره‌ای و منطقه‌ای پیدا کرده است. داده‌های فیزیکی کمی که توسط ماهواره‌ها تولید می‌شود، موجب درک بیشتر ما از محیط‌های شهری و غیرشهری می‌شوند (ابراهیمی، ۱۳۹۸).

مسئله‌ای که در این پژوهش به آن پرداخته‌شده است، بررسی و ارزیابی نقش تغییرات کاربری اراضی شهری بر تشکیل

الگوی دمای سطح زمین در شهر مشگین شهر است. قصد ما این است که بررسی کنیم تغییرات کاربری اراضی شهر مشگین شهر باتوجه به توپوگرافی آنچه تأثیری بر دمای سطح زمین مناطق مختلف این شهر در زمان شب دارد. به عبارت دیگر، آیا تغییرات در کاربری اراضی می تواند باعث تغییراتی در دمای شبانه سطح زمین شهر مشگین شهر شود؟ پژوهش حاضر سعی دارد با استفاده از داده های سنجش از دوری و روش تحلیلی موردنظر ارتباط و نقش کاربری اراضی و الگوی دمای شبانه سطح زمین در شهر مشگین شهر را بررسی و ارزیابی نماید.

به نظر می رسد به دلیل تأثیرپذیری دمای سطح شهری از پارامترهایی مانند تغییرات کاربری زمین بر اثر گسترش شهرنشینی، پوشش گیاهی اثر کاهنده و سطوح ساخته شده شهری اثرات افزایش دهنده بر الگوی توزیع مکانی لکه های داغ شبانه در محدوده مورد مطالعه داشته باشد.

هدف کلی پژوهش حاضر بررسی و ارزیابی ارتباط کاربری های مختلف شهری در زمان شب بر شکل گیری تغییرات دمای سطح زمین شهر مشگین شهر است. در این زمینه بررسی ها و مطالعاتی توسط محققان خارجی و داخلی انجام شده است که در دو دسته به شرح زیر به آن ها اشاره می شود:

کریشنا^۱ (۱۹۷۲) اولین محقق بود که مناطق شهری از طریق تجزیه و تحلیل تصاویر حرارتی شناسایی کرد. زیائو و مودی^۲ (۲۰۰۵) رابطه بین تغییرات کاربری اراضی را با الگوی دمای سطح زمین در جنوب چین با استفاده از تصاویر لندست (TM و ETM+)، بررسی کردند. نتایج بیانگر آن بود که الگوی توزیع دماهای بالا در مناطق شهری رابطه مستقیم با توزیع الگوی پوشش اراضی داشت. کامیلونی و برآو کند^۳ (۲۰۱۱) به مطالعه تنوع زمانی جزیره گرمایی در طول ماه های تابستان و زمستان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که جزیره گرمایی در قوی ترین حالت خود در تابستان و اثر منعکس آن در بعدازظهر همان روز در تابستان اتفاق می افتد و در طول زمستان در حداقل خود قرار دارد. سورش و همکاران^۴ (۲۰۱۶) در مطالعه ای رابطه بین تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح زمین را با استفاده از سنجنده های TM و ETM لندست ۵ ارزیابی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که دمای سطح زمین ارتباط معنی داری با درصد سطوح غیر قابل نفوذ (سطوح مسکونی و شهری) دارد. درواقع با افزایش نفوذپذیری، دما افزایش یافته و NDVI کاهش می یابد. ونگ و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح زمین را در دلتای رودخانه پیارل در چین به صورت چند زمانه بررسی کردند. نتایج نشان داد رشد شهر و الگوهای دمای سطح زمین با تخریب کاربری اراضی افزایش یافته است. در دهه های گذشته، بسیاری از پژوهشگران ایرانی مطالعاتی در زمینه ارتباط دمای سطح زمین با کاربری اراضی و جزایر حرارتی انجام داده اند که از جمله آن ها می توان به موارد زیر اشاره کرد.

علوی پناه (۱۳۸۳) طی تحقیقی نشان داد که داده های حرارتی عامل مهمی در درک خصوصیات ماده دارد و استفاده از این داده ها گام مهمی در مطالعات محیط زیست می باشد. آخوندزاده و سراجیان (۱۳۸۶) برای نمایش جزایر حرارتی در مناطق شهری از تصاویر سنجنده ASTER استفاده کردند. نتایج نشان داد تصاویر چند طیفی ASTER می توانند به عنوان ابزار مفیدی جهت نمایش تجزیه و تحلیل منابع و اثرات انرژی در محیط های شهری در ایران به کار روند. یآوری (۱۳۹۳) در پایان نامه کارشناسی ارشد خود دمای سطح زمین شهرستان ارومیه را در دو فصل تابستان و زمستان بررسی کرده و به این نتیجه رسید که جزیره گرمایی در فصل تابستان بیشتر از زمستان است و اراضی بدون پوشش گیاهی و بایر نقش مؤثری در ایجاد جزیره گرمایی دارند. قدسی و بهبهانی (۱۳۹۶) در پژوهشی

1. Krishna

2. Xiao & moody

3. Camilloniines & barrucand

4. Suresh et al

با عنوان آشنایی با پدیده گرمایی در شهر و راهکارهای پیشگیری از آن در شهر تهران به این نتیجه رسیدند که افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی از جمله گازهای ازن و ترکیبات زیان‌بار گوگردی برای خنک کردن ساختمان‌ها باعث آلودگی در جو و تشکیل پدیده گرمایی در شهرها می‌شود. سبحانی و منصوری (۱۴۰۲) در تحقیقی با عنوان واکاوی نقش تغییرات دما در کاربری‌های اراضی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ دمای سطحی شهر آمل را در سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۲۰ مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که دما در کاربری‌های متراکم و صنعتی بالا و مناطق دارای پوشش گیاهی دمای پایین‌تری دارند که در طول ۳۰ سال بر تعداد این نقاط گرم افزوده شده و یک رابطه قوی بین کاربری اراضی و دمای سطحی به وجود آمده است.

جمع‌بندی مطالعات نشان‌دهنده آن است که صرف‌نظر از سنجنده‌های انتخابی، شناخت منطقه مورد مطالعه و خصوصیات حرارتی مواد و پدیده‌های موجود اولین گام مهم در مطالعات محیط‌زیستی ما است. با آگاهی از این موضوع می‌توان گفت رشد شهر در وهله اول باعث تغییر در الگوی توزیع پوشش اراضی، تخریب کاربری اراضی و در نتیجه افزایش دما است به‌طوری‌که ارتباط معناداری بین سطوح غیر قابل نفوذ و دمای سطح زمین در شهرها به وجود می‌آید؛ بنابراین مطالعه دمای سطح زمین و تأثیرپذیری آن از تغییرات کاربری اراضی در نتیجه افزایش جمعیت و توسعه شهری و شناخت عوامل مؤثر بر آن، اطلاعات مفیدی را برای برنامه‌ریزی و مدیریت شهری فراهم می‌کند؛ لذا دستیابی به این مهم از اهداف پژوهش حاضر است.

مبانی نظری

جزیره گرمایی و انواع آن

پس از پیدایش جزیره گرمایی، افزایش دما در شهر نسبت به حومه آن رخ می‌دهد که این افزایش به سه صورت مشخص می‌شود که دو نوع آن از نوع جزیره گرمایی جوی و نوع سوم آن جزیره گرمایی سطحی است (James & vooget, 2004).

جزیره گرمایی سطحی شهر (SHI^1) اشاره به اختلاف دمای سطح زمین در شهر و روستا دارد. جزیره گرمایی لایه مرزی شهر ($BLHI^2$) به درجه حرارت جو بالای شهر در مقایسه با نقاط اطراف آن و جزیره گرمایی در لایه تاج شهری ($CLHI^3$) به دمای که در فاصله زمین تا بام ساختمان‌ها (میانگین ارتفاع ساختمان‌ها) است اشاره می‌کند. به‌طور کلی از عوامل ایجاد جزیره حرارتی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (پناهنده، ۱۳۹۵).

کاهش پوشش گیاهی در مناطق شهری؛ کاهش اثر خنک‌کنندگی طبیعی از طریق سایه‌اندازی و تبخیر و تعرق؛ خواص مواد شهری؛ با جذب انرژی خورشید مناطق شهری را نسبت به مناطق روستای گرم‌تر می‌کند؛ هندسه شهری؛ ارتفاع و فاصله ساختمان‌ها، مقدار تابش دریافت شده و ساطع‌شده به‌وسیله زیرساخت‌های شهری را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ انتشار حرارت انسانی؛ کمک با افزایش گرمای هوا؛ آب‌وهوا؛ شرایط خاصی مانند آسمان روشن و باد آرام، می‌تواند تشکیل جزیره حرارتی شهری را تشدید کند؛ موقعیت جغرافیایی؛ پدیده‌های آبی بزرگ و نواحی کوهستانی نزدیک می‌تواند بادهای محلی و تشکیل جزیره حرارتی شهری را تحت تأثیر قرار دهد.

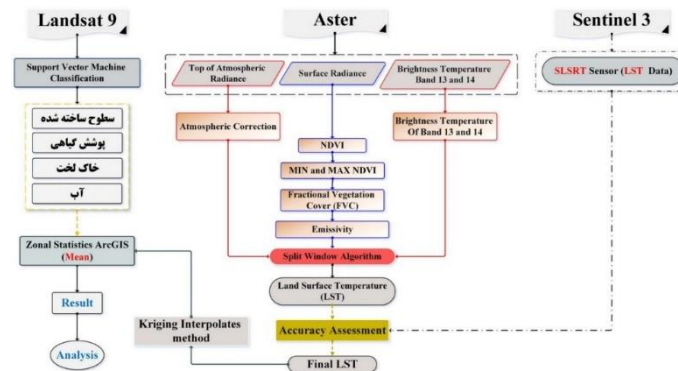
راهبردهای کاهش اثرات جزایر گرمایی شهری

1. Surface urban heat island
2. Boundary layer heat island
3. Canopy layer heat island

بسیاری از کشورها برای کاهش این اثرات، چهار راهبرد را در پیش گرفته‌اند، میزان تأثیر این راهبردها بستگی به عواملی دارد که برخی تحت نظارت و برخی خارج از دست آدمی هستند. مانند شرایط اقلیمی و آب‌وهوایی منطقه، توپوگرافی، زمین‌شناسی و غیره. راهبردهای کاهش جزیره گرمایی شهری عبارت‌اند از افزایش درختان و پوشش گیاهی و حفاظت در برابر بار گرمایی با ایجاد بام سبز (بام‌های گیاه کاری شده) در مراکز شهری متراکم.

روش پژوهش

مراحل انجام این پژوهش شامل، تکنیک‌های پردازش و تصحیح تصاویر ماهواره‌ای، استخراج دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا^۱ و ارزیابی دقت نقشه‌های دمایی با استفاده از تصویر سنجده حرارتی (SLSRT^۲) ماهواره سنتینل ۳، تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده (SVM^۳) و در نهایت بررسی و ارزیابی تأثیر هر یک از کاربری‌های استخراج‌شده در تشکیل و تغییرات جزایر حرارتی در شهر مشکین‌شهر است. در شکل ۱ فلوچارت فرآیند کلی پژوهش نشان داده شده است.



شکل ۱. فلوچارت فرآیند کلی پژوهش

داده‌های موردنیاز شامل: داده‌های ماهواره (جدول ۱) که تصاویر استر و لندست از سایت ناسا^۴ و داده‌های ماهواره سنتینل ۳ از سایت داده‌های فضایی کوپرنیک اتحادیه اروپا^۵ به‌صورت رایگان دریافت شد و داده‌های زمینی هم‌زمان با گذر ماهواره از منطقه مورد مطالعه شامل: دمای هوا (درجه سلسیوس)، رطوبت نسبی (درصد)، اخذ شده از اداره کل و مرکز تحقیقات هواشناسی استان اردبیل (جدول ۲).

جدول ۱. ویژگی‌های تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش

ماهواره	سنجنده	زمان	تاریخ دریافت تصویر	ساعت اخذ تصویر	باند	قدرت تفکیک مکانی (m)
TERRA	ASTER	Night	۱۴۰۲/۰۴/۲۱	۲۰۲۳/۰۷/۱۲	۱۴-۱۰	۹۰
			۱۴۰۲/۰۹/۲۷	۲۰۲۳/۱۲/۱۸		
LANDSAT-9	OLI-2	Day	۱۳۹۹/۰۵/۲۳	۲۰۲۰/۰۸/۳۱	۳-۱ N	۱۵
			۱۴۰۲/۰۵/۰۱	۲۰۲۳/۰۷/۲۳	۷-۱	۳۰
SENTINEL-3A	SLSTR	Night	۱۴۰۲/۰۴/۲۱	۲۰۲۳/۰۷/۱۲	LST Product	۱۰۰۰
			۱۴۰۲/۰۹/۲۷	۲۰۲۳/۱۲/۱۸	LST	۱۰۰۰

1. Split window
2. Sea and land surface temperature radiometer
3. Support vector machine
4. <https://earthdata.nasa.gov>
5. <https://dataspace.copernicus.eu>

Product

جدول ۲. داده‌های ایستگاه سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

شهر	کد ایستگاه	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ساعت (UTC)	دما (C)	رطوبت نسبی (%)
مشکین‌شهر	۴۰۷۰۵	۲۰۲۳/۰۷/۱۲	۱۴۰۲/۰۴/۲۱	۰۶:۰۰	۲۰	۸۹
		۲۰۲۳/۱۲/۱۸	۱۴۰۲/۰۹/۲۷		-۵/۸	۵۷

در پژوهش حاضر به منظور برآورد دمای سطح زمین از تصاویر استر و استخراج کاربری اراضی از نرم‌افزار ENVI نسخه ۵/۶ به عنوان نرم‌افزار اصلی پردازش تصاویر، از نرم‌افزار SNAP نسخه ۱۰ جهت پردازش‌های اولیه، تصحیح هندسی و آماده‌سازی تصاویر سنتیل ۳ و از نرم‌افزار TerrSet نسخه ۱۹/۰/۷ جهت اعتبارسنجی دمای سطح^۱ بازیابی شده و از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۸ جهت پردازش‌های مربوط به استخراج جزایر حرارتی و بررسی رابطه آن‌ها با کاربری‌های استخراج‌شده و تهیه نقشه خروجی استفاده شده است.

فرآیند محاسبه دمای سطح زمین

دمای سطح زمین بر اثر تغییرات ساختار محیط، کاربری، مواد تشکیل‌دهنده سطح و غیره در طول زمان قابل تغییر است از این رو آگاهی از وضعیت دمای سطح زمین کمک زیادی به برنامه‌ریزی محیطی، چگونگی مصرف انرژی، آسایش حرارتی شهروندان و غیره می‌کند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۸). برای تخمین دمای سطح، نیاز به ضریب گسیل اولیه عوارض سطح (بسته به روش تخمین گسیلمندی) و میزان گسیلمندی سطح زمین می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه شاخص پوشش گیاهی نقش عمده‌ای را در نقل و انتقال انرژی بین زمین و اتمسفر دارد و اثرات متفاوتی را بر دما ایجاد می‌کند، در نتیجه می‌توان آن را به عنوان یک شاخص تأثیرگذار در محاسبه دمای سطح زمین به شمار آورد (سوبرینو^۲ و همکاران، ۲۰۰۱). رابطه ۱ طریقه محاسبه این شاخص را نشان می‌دهد.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه NIR باند مادون قرمز نزدیک و RED باند قرمز است. محدوده این شاخص بین +۱ و -۱ است که برای پوشش گیاهی متراکم با مقادیر مثبت، درحالی که ابرها، برف و آب با مقادیر منفی مشخص می‌شوند. پس از اعمال شاخص NDVI بر اساس مقدار آن، توان تشعشعی طبق جدول ۳ تعیین می‌شود (ژانگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۶). از شاخص کسر پوشش گیاهی به منظور کسر تأثیر پوشش گیاهی از تصویر استفاده می‌شود. پوشش گیاهی همواره از عواملی بوده است که باعث کاهش دمای سطحی می‌شود. یک رویکرد مشترک برای برآورد FVC شامل ترکیبی غیرخطی از دو عنصر طیفی در یک تصویر سنجش از دور، شامل خاک لخت و پوشش گیاهی سبز است. خواص طیفی این دو عنصر معمولاً به صورت اندازه‌گیری‌های میدانی، برآورد از منابع داده‌های اضافی و یا استخراج مستقیم از تصاویر است (زینالی و همکاران، ۱۴۰۰). شاخص کسر پوشش گیاهی بر اساس رابطه ۲ تعیین شد.

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{Min}}{NDVI_{MAX} - NDVI_{Min}} \quad \text{رابطه ۲}$$

NDVI شاخص پوشش گیاهی، $NDVI_{MIN}$ مقادیر حداقل و $NDVI_{MAX}$ مقادیر حداکثر ارزش پیکسل‌ها.

قابلیت انتشار سطح زمین (LSE) که یکی از معیارهای مهم در محاسبه دمای سطح زمین می‌باشد به صورت جداگانه

۱. توجه به این نکته ضروری است که جهت اعتبارسنجی داده‌های حرارتی استر با استفاده از داده‌های حرارتی سنتیل ۳، هر دو تصویر باید هم از لحاظ اندازه پیکسل و هم تعداد سطر و ستون پیکسل‌ها با یکدیگر برابر باشند.

2. Sobrino et al

3. Zhang et al

برای باندهای حرارتی سنجنده استر با استفاده از مقادیر ارائه شده گسیلمندی خاک (ϵ_s) و پوشش گیاهی (ϵ_v) طبق جدول ۴ تعیین و بر اساس رابطه ۳ به دست آمد (روننگلی^۱ و همکاران، ۲۰۱۸).

جدول ۳. مقادیر گسیلمندی بر اساس ارزش NDVI جدول ۴. مقادیر گسیلمندی خاک و پوشش گیاهی باندهای

سنجنده استر (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷).					NDVI	LSE
Emissivity	Band1	Band1	Band1	Band1	NDVI < -۰/۱۸۵	۰/۹۹۵
ty	1	2	3	4	-۰/۱۸۵ ≤ NDVI < ۰/۱۵۷	۰/۹۸۵
ϵ_s	۰/۹۷۶۴	۰/۹۷۵۵	۰/۹۷۸۱	۰/۹۷۶۴	$\ln(\text{NDVI})$	$۱/۰۰۹ + ۰/۰۴۷$
					$-۰/۱۵۷ \leq \text{NDVI} \leq ۰/۷۳۷$	×
ϵ_v	۰/۹۸۳۸	۰/۹۷۸۸	۰/۹۸۱۲	۰/۹۸۳۹	NDVI > ۰/۷۳۷	۰/۹۹۰

$$\text{رابطه ۳} \quad \text{LSE} = \epsilon_s \times (1 - \text{FVC}) + \epsilon_v \times \text{FVC}$$

ϵ_s گسیلمندی خاک، ϵ_v گسیلمندی پوشش گیاهی، FVC شاخص کسر پوشش گیاهی. در نهایت گسیلمندی سطح زمین با استفاده از رابطه ۳ برای باندهای حرارتی ۱۳ و ۱۴ سنجنده استر محاسبه گردید.

الگوریتم پنجره مجزا (Split Window)

یکی از الگوریتم‌های چند باندی است که دمای سطح زمین را با دقت بالایی محاسبه می‌کند. این الگوریتم بر اساس ساختار ریاضی پیشنهاد شده در پژوهش (سوبرینو و همکاران، ۲۰۰۱) بوده و در پژوهش‌های متعدد دیگری نیز استفاده شده است. رابطه ۴ تا ۱۲ مراحل انجام این الگوریتم را نشان می‌دهد.

$$\text{رابطه ۴} \quad T_s = \frac{[C_{14}(D_{13} + B_{13})] - [C_{13}(D_{14} + B_{14})]}{C_{14}A_{13} - C_{13}A_{14}}$$

$$\text{رابطه ۵} \quad A_{13} = 0.145236 \times \epsilon_{13} \times \tau_{13}$$

$$\text{رابطه ۶} \quad B_{13} = 0.145236 \times T_{13} + 33.685 \times \epsilon_{13} \times \tau_{13} - 33.685$$

$$\text{رابطه ۷} \quad C_{13} = (1 - \tau_{13}) \times [1 + (1 - \epsilon_{13}) \times \tau_{13}] \times 0.145236$$

$$\text{رابطه ۸} \quad D_{13} = (1 - \tau_{13}) \times [1 + (1 - \epsilon_{13}) \times \tau_{13}] \times 33.685$$

$$\text{رابطه ۹} \quad A_{14} = 0.13266 \times \epsilon_{14} \times \tau_{14}$$

$$\text{رابطه ۱۰} \quad B_{14} = 0.13266 \times T_{14} + 30.273 \times \epsilon_{14} \times \tau_{14} - 30.273$$

$$\text{رابطه ۱۱} \quad C_{14} = (1 - \tau_{14}) \times [1 + (1 - \epsilon_{14}) \times \tau_{14}] \times 0.13266$$

$$\text{رابطه ۱۲} \quad D_{14} = (1 - \tau_{14}) \times [1 + (1 - \epsilon_{14}) \times \tau_{14}] \times 30.273$$

در این روابط T_s دمای سطح زمین به کلون، τ_{13} و τ_{14} ضریب عبور اتمسفری باند ۱۳ و ۱۴ استر که با استفاده از رابطه ۱۳ و ۱۴ به دست می‌آید، ϵ_{13} و ϵ_{14} توان تشعشعی باند ۱۳ و ۱۴ استر مطابق جدول ۴ می‌باشد.

$$\text{رابطه ۱۳} \quad \tau_{13} = 1.02 - 0.104 \times W_{13}$$

$$\text{رابطه ۱۴} \quad \tau_{14} = 1.04 - 0.113 \times W_{14}$$

در رابطه ۱۳ و ۱۴، W_{13} و W_{14} نمایانگر بخار آب اتمسفر می‌باشد که با استفاده از رابطه ۱۵ به دست می‌آید.

$$\text{رابطه ۱۵} \quad W_i = 0.0981 \times \left\{ 10 \times 0.6108 \times \exp \left(\frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)} \right) \times RH \right\} + 0.1679$$

W_i بخار آب اتمسفر، T_0 دمای هوای نزدیک سطح زمین بر حسب (K) و RH رطوبت نسبی بر حسب درصد است.

برآورد دمای روشنایی^۱

دمای به‌دست‌آمده از زمین در ارتفاع ماهواره، دمای روشنایی نامیده می‌شود. داده‌های باندهای حرارتی ۱۳ و ۱۴ را می‌توان به‌صورت جداگانه و با استفاده از ثابت حرارتی و با استفاده از رابطه ۱۶ محاسبه کرد.

$$T_{\text{sen}} = K_2 \div \ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right) \quad \text{رابطه ۱۶}$$

در این رابطه T_{sen} دمای روشنایی به کلوین، K_1 و K_2 ثابت باندهای حرارتی جدول (۵)، $(L_{\text{sen}})L_\lambda$ تابش طیفی دریافتی سنجنده در واحد $(\text{W/m}^2/\text{sr}/\mu\text{m})$ می‌باشد.

جدول ۵. ضرایب ثابت باندهای حرارتی سنجنده استر (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷)

Satellite	Band 10	Band 11	Band 12	Band 13	Band 14
Aster	۰/۰۰۶۸۲۲	۰/۰۰۶۷۸۰	۰/۰۰۶۵۹۰	۰/۰۰۵۶۹۳	۰/۰۰۵۲۲۵

با محاسبه پارامترهای رابطه ۴ برای الگوریتم Split Window دمای سطح زمین برای تصاویر سنجنده استر به دست می‌آید (درمورد ماهواره سنتینل ۳ از پروداکت آماده دمای سطح زمین سنجنده حرارتی SLSRT استفاده گردید).

اعتبارسنجی دمای سطح زمین

ارزیابی دقت و اعتبارسنجی دمای برآور شده چالش‌برانگیز بوده به‌طوری‌که الگوریتم متفاوتی در این جهت توسعه‌یافته است؛ استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت و درستی آن می‌باشد؛ لذا اعتبارسنجی دمای برآورد شده به دلیل لزوم دقت آن در کاربردهای مختلف ضروری می‌باشد. بنابراین در پژوهش حاضر برای اعتبارسنجی دمای برآورد شده ابتدا اندازه پیکسل و تعداد سطر و ستون‌های تصاویر استر با تصویر دمای سطح ماهواره سنتینل ۳ به‌وسیله نرم‌افزار انوی نسبت به هم منطبق شدند سپس با استفاده از تحلیل رگرسیون و ضریب همبستگی در نرم‌افزار ترست اعتبارسنجی صورت پذیرفت.

استخراج کاربری اراضی

به‌منظور استخراج کاربری‌های اراضی از تصویر ماهواره لندست ۹ استفاده شد. بدین منظور ابتدا تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری لازم بر روی تصویر اعمال شد سپس با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده SVM^۲ پوشش اراضی در کلاس‌های پوشش گیاهی، خاک لخت، سطوح ساخته‌شده و آب استخراج گردید. در ادامه جهت ارزیابی صحت هر یک از کاربری‌ها، تصاویر طبقه‌بندی‌شده با استفاده از تصاویر حاوی نقاط کنترل زمینی مقایسه گردید تا ضریب کاپا و ضریب صحت کلی مشخص گردد. سپس با دستور اطلاعات ناحیه‌ای^۳ میانگین دما برای کاربری‌ها استخراج شد. شکل ۴ و جدول ۶ نقشه کاربری‌های استخراج‌شده و مساحت آن‌ها را نمایش می‌دهد.

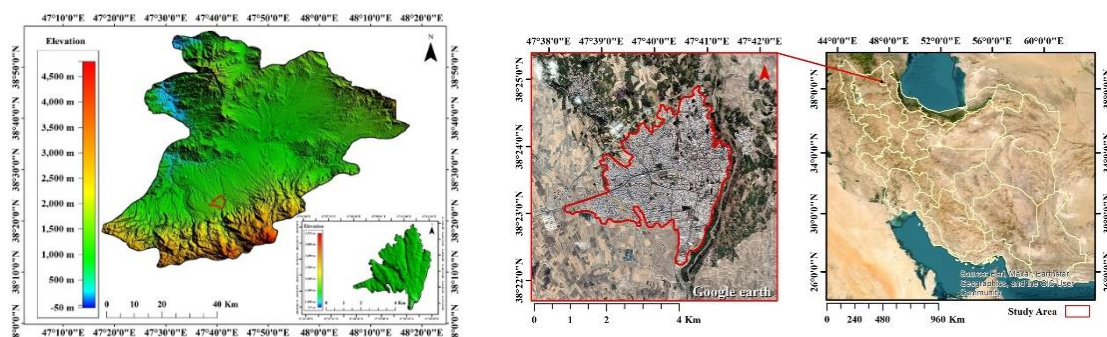
محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به نام شهر مشگین‌شهر یکی از شهرهای استان اردبیل است که در دامنه کوه سیلان واقع شده و از نظر تاریخی و طبیعی اهمیت زیادی دارد. این شهر با جمعیتی حدود ۱۸۶/۵۱۶ نفر، دومین شهرستان پرجمعیت استان

1. Brightness temperature
2. Support vector machine
3. Zonal statistics

اردبیل محسوب می‌شود. از نظر موقعیت جغرافیایی در بین عرض‌های جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی واقع شده است. محدوده مطالعاتی انتخاب شده وسعتی در حدود ۹/۸۳۴ کیلومترمربع را شامل می‌شود (شکل ۲).

از نظر مشخصات فیزیکی و جغرافیایی مساحتی در حدود ۳۷ کیلومترمربع. از لحاظ آب‌وهوا سردسیر، کوهستانی با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد است. بافت شهری مشگین‌شهر ترکیبی از معماری سنتی و مدرن است که به دلیل موقعیت جغرافیایی دارای بافت شهری متراکم در مرکز و مناطق روستایی گسترده در اطراف است و همواره مورد توجه پژوهشگران محیط‌زیست و مطالعات شهری بوده است. مشگین‌شهر به صورت دشت وسیعی است که با شیب تند به زمین‌های پست شمالی منتهی می‌شود. مرتفع‌ترین و پرشیب‌ترین قسمت این شهرستان بخش جنوبی آن یعنی دامنه‌های شمالی و شمال غربی توده‌های آتشفشانی سبلان است که به طور متوسط ۲۰۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد (شکل ۲).

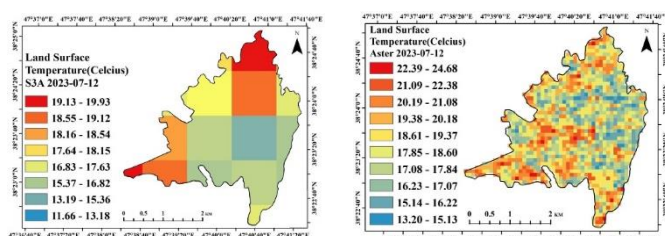


شکل ۲. موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی شهر مشگین شهر

یافته‌ها

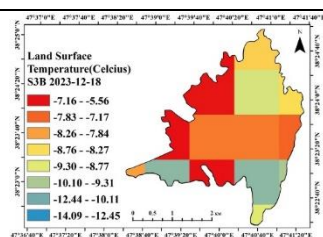
بررسی دمای سطح منطقه

جهت بازیابی دمای سطح زمین از باندهای حرارتی سنجنده استر و الگوریتم پنجره مجزا استفاده شد. سپس با استفاده از روابط ریاضی مربوط به این الگوریتم نقشه‌های دمایی مربوطه بازیابی گردید. همان‌طور که قبلاً ذکر شد در مورد ماهواره سنتیل ۳ برای تهیه نقشه توزیع مکانی دمای سطح زمین از پروداکت آماده سنجنده حرارتی (SLSTR) این ماهواره استفاده گردید (شکل ۳).

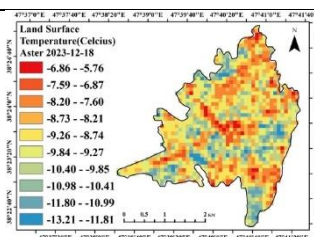


جدول ۶. مساحت کاربری اراضی

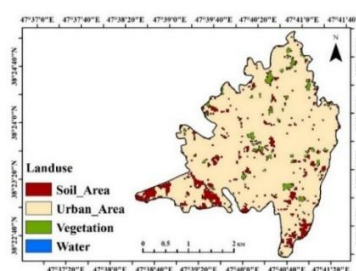
نوع کلاس	مساحت (km ²)
پوشش گیاهی	۴/۸۱
خاک لخت	۱۳/۲۸
سطوح ساخته شده	۹/۲۹
آب	۰/۰۰۰۹



(ب)



(الف)



شکل ۴. نقشه پوشش کاربری منطقه مورد مطالعه

شکل ۳. نقشه دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه، الف) سنجنده استر (روش الگوریتم پنجره مجزا)، ب) دمای به دست آمده از ماهواره سنتینل ۳.

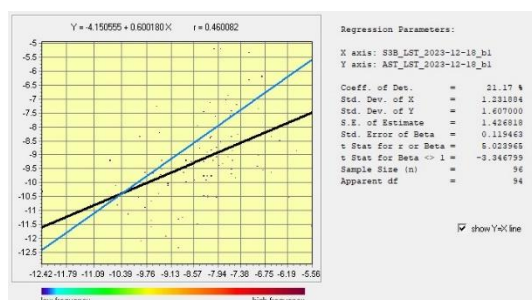
با توجه به

جدول ۷، در نقشه‌های نهایی حاصل از الگوریتم پنجره مجزا برای سنجنده استر (شکل ۳، الف) و سنجنده حرارتی ماهواره سنتینل ۳ (شکل ۳، ب) اختلاف حداقل و حداکثر دمای سطح زمین در زمان اخذ تصویر ماهواره‌ای (داده‌های شبانه) برای تاریخ ۲۰۲۳/۰۷/۱۲ به ترتیب ۱/۵۴ و ۴/۷۵ درجه سلسیوس و برای تاریخ ۲۰۲۳/۱۲/۱۸ به ترتیب منفی ۱/۶۹ و منفی ۰/۲ درجه سلسیوس مشاهده شد. همچنین بررسی اختلاف دمایی بین حداقل و حداکثر دما بین دمای بازبایی شده سنجنده استر و سنتینل ۳ نشان‌دهنده اختلاف دمایی کمتر در حداقل دما و اختلاف به نسبت بیشتر در حداکثر دما می‌باشد که این اختلاف دما علاوه بر پارامترهای فیزیکی منطقه می‌تواند تحت تأثیر قدرت تفکیک مکانی دو سنجنده نسبت به هم باشد.

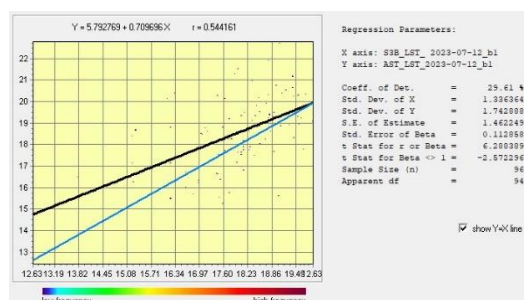
جدول ۷. مقایسه حداقل و حداکثر دما بین مقادیر بازبایی شده توسط الگوریتم پنجره مجزا و دمای سطح ماهواره سنتینل ۳

تاریخ	سنجنده استر (الگوریتم پنجره مجزا)		سنجنده SLSRT سنتینل ۳	
	حداقل دما (C°)	حداکثر دما (C°)	حداقل دما (C°)	حداکثر دما (C°)
۲۰۲۳/۰۷/۱۲	۱۳/۲۰	۲۴/۶۸	۱۱/۶۶	۱۹/۹۳
۲۰۲۳/۱۲/۱۸	-۱۳/۲۱	-۵/۷۶	-۱۴/۹	-۵/۵۶
اختلاف دما	۲۶/۴۱	۳۰/۴۴	۲۶/۵۵	۲۵/۴۹

همان‌طور که قبلاً ذکر شد جهت ارزیابی دقت الگوریتم برآورد دمای سطح زمین از تحلیل رگرسیون و ضریب همبستگی بین دمای سطح برآورد شده و دمای سطح سنتینل ۳ استفاده شد. در این تحلیل دمای سطح ماهواره سنتینل ۳ به عنوان متغیر مستقل و دمای سطح برآورد شده با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا به عنوان متغیر وابسته در نرم‌افزار TerrSet معرفی شدند. نتایج حاصل از این تحلیل (شکل ۵)، ضریب همبستگی و تعیین را برای تاریخ ۲۰۲۳/۰۷/۱۲ به ترتیب مقدار ۰/۷ و ۰/۵ و برای تاریخ ۲۰۲۳/۱۲/۱۸ به ترتیب ۰/۶ و ۰/۴ به دست آمده است که نشان‌دهنده رابطه مثبت و انطباق نزدیک بین این داده‌ها است.



ب



الف

شکل ۵. رگرسیون و ضریب همبستگی تصاویر استر؛ الف) ۲۰۲۳/۰۷/۱۲، ب) ۲۰۲۳/۱۲/۱۸

بررسی صحت طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای و استخراج نقشه کاربری اراضی

ارزیابی نتایج طبقه‌بندی یکی از مراحل مهم پس از طبقه‌بندی است. ارائه نتایج طبقه‌بندی بدون پارامتری که کیفیت یا صحت این نتایج را بیان کند از ارزش آن‌ها می‌کاهد و در بعضی مواقع آن‌ها را بدون استفاده می‌کند؛ بنابراین باید در نظر داشت که همیشه در کنار انجام طبقه‌بندی نتایج آن نیز ارزیابی شوند. متداول‌ترین روش برای ارزیابی کمی طبقه‌بندی، ضریب کاپا^۱ و ضریب صحت^۲ است (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۱). نتایج ارزیابی در جدول ۸ ارائه شده است.

بررسی دمای سطح پوشش‌های مختلف

برای کشف تأثیر پوشش اراضی مختلف سطح شهر (جدول ۹) بر روی دما از دستور Zonal Statistics که ابزاری برای بررسی اطلاعات آماری نواحی بر اساس فایل وکتوری در ArcGis می‌باشد استفاده شد. سپس اطلاعات مربوط به دمای سطح کاربری‌های مختلف استخراج گردید (

جدول ۱۰،

جدول ۱۱). در این تحلیل از مقدار میانگین کاربری‌های مختلف استفاده شد. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه بر اساس موقعیت جغرافیایی و شرایط توپوگرافی آن نسبت به شهرهای بزرگ کشور در طول سال دمای به نسبت بالایی را تجربه نمی‌کند و با در نظر گرفتن قدرت تفکیک مکانی هر دو سنجنده که دمای سطح آن‌ها حاصل دمای عوارض مختلف موجود در داخل پیکسل‌ها می‌باشد همچنین دقت کاربر و الگوریتم طبقه‌بندی در استخراج کاربری اراضی (جدول ۸)؛ در داده‌های شبانه سنجنده استر (شکل ۶) در تاریخ ۲۰۲۳/۰۷/۱۲ مناطق خاکی که درصد زیادی از آن در حومه شهر واقع شده در طول شب دمای بالایی را نسبت به دیگر کاربری‌ها از خود نشان می‌دهد که این مسئله می‌تواند از یک طرف به دلیل تبخیر و تعرق پوشش گیاهی در طول روز و ظرفیت حرارتی پایین مناطق ساخته شده باشد. همچنین برای تاریخ ۲۰۲۳/۱۲/۱۸ با توجه به فصل سال به خاطر افت دما در طول شب و تبادل حرارتی آرام پوشش گیاهی نسبت به محیط اطراف (ظرفیت حرارتی بالا) در نتیجه با دمای میانگین منفی ۸/۹۹ درجه سلسیوس نسبت به دیگر کاربری‌ها دمای بالا را به خود اختصاص داده است.

جدول ۸. نتایج حاصل از بررسی صحت طبقه‌بندی تصویر ماهواره لندست ۹

دقت	نوع کاربری		
	آب	خاک	پوشش گیاهی
کاربر	۱۰۰/۰۰	۸۲/۶۸	۹۹/۷۶
الگوریتم (SVM)	۸۴/۶۲	۱۰۰/۰۰	۹۹/۷۶

جدول ۹. درصد پوشش کاربری‌ها در محدوده مورد مطالعه

نوع کاربری			
مناطق ساخته شده	پوشش گیاهی	خاک	آب
۸۸/۳۳	۳/۲۴	۸/۴۰	۰/۰۰۹

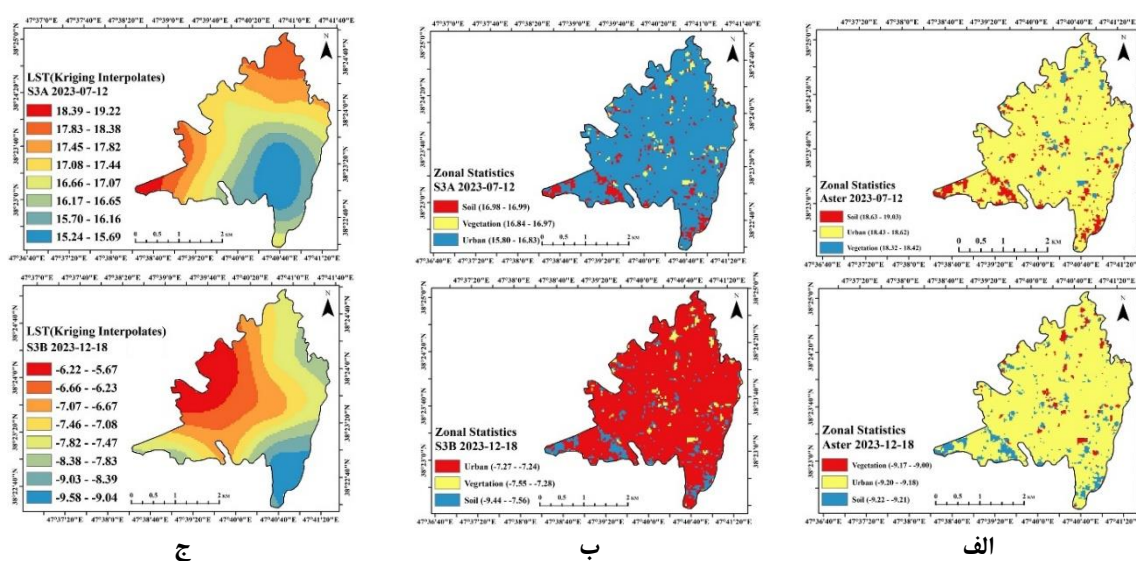
جدول ۱۰. آمار دمای پوشش کاربری اراضی بر اساس دمای سطح بازایی سنجنده استر

1. Kappa coefficient
2. Accuray assessment

سنجده	تاریخ	کاربری							
		پوشش گیاهی				مناطق ساخته شده			
		Min	Max	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std
استر	۲۰۲۳/۰۷/۱۲	۱۶/۳۱	۲۰/۹۸	۱۸/۴۰	۱/۰۵	۱۵/۷۱	۲۱/۴۱	۱۸/۴۲	۱/۰۶
	۲۰۲۳/۱۲/۱۸	-۱۱/۲۸	-۷/۲۴	-۸/۹۹	۰/۸۳	-۱۱/۶۲	-۷/۲۲	-۹/۲۱	۰/۷۹
		آب				خاک			
استر	۲۰۲۳/۰۷/۱۲	۱۸/۱۶	۱۸/۴۸	۱۸/۳۲	۰/۱۵	۱۶/۲۱	۲۱/۳۷	۱۹/۰۳	۱/۰۵
	۲۰۲۳/۱۲/۱۸	-۹/۰۳	-۹/۰۲	-۹/۰۲	۰/۰۰	-۱۱/۵۸	-۷/۳۱	-۹/۲۱	۰/۸۲
		آب				خاک			

جدول ۱۱. آمار دمای پوشش کاربری اراضی بر اساس دمای سطح سنجده حرارتی ماهواره سنتینل ۳

سنجده	تاریخ	کاربری							
		پوشش گیاهی				مناطق ساخته شده			
		Min	Max	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std
سنیتینل ۳	۲۰۲۳/۰۷/۱۲	۱۵/۳۳	۱۹/۰۲	۱۶/۹۴	۰/۸۹	۱۵/۲۳	۱۹/۱۹	۱۶/۸۱	۰/۸۴
	۲۰۲۳/۱۲/۱۸	-۹/۵۸	-۵/۶۷	-۷/۲۸	۰/۸۰	-۹/۵۶	-۵/۶۸	-۷/۲۳	۰/۸۸
		آب				خاک			
سنیتینل ۳	۲۰۲۳/۰۷/۱۲	۱۵/۷۹	۱۵/۷۹	۱۵/۷۹	۰/۰۰	۱۵/۳۱	۱۹/۲۲	۱۶/۹۸	۰/۹۶
	۲۰۲۳/۱۲/۱۸	-۹/۴۴	-۹/۴۴	-۹/۴۴	۰/۰۰	-۹/۵۷	-۵/۶۷	-۷/۵۸	۱/۰۲
		آب				خاک			



شکل ۶. الف) نقشه اطلاعات ناحیه‌ای سنجده استر، ب) نقشه اطلاعات ناحیه‌ای ماهواره سنتینل ۳، ج) نقشه سنتینل ۳

جهت نمایش بهتر دمای سطح یک کیلومتر سنجده حرارتی سنتینل ۳)

جدول ۱)، ابتدا پیکسل‌ها از حالت رستری به نقاط دمایی پردازش سپس با دستور نقشه‌نمایی به صورت لایه‌های دمایی تهیه گردید (شکل ۶). در ادامه جهت بررسی دمای کاربری اراضی، مشابه پردازش‌هایی که برای سنجده استر انجام شد برای این سنجده نیز تکرار شد. در تاریخ ۲۰۲۳/۰۷/۱۲ برای داده‌های حرارتی شبانه سنتینل ۳ طبق جدول ۱۱ میانگین دمای تمام کاربری‌ها اختلاف کمی نسبت به هم دارند با این حال همانند سنجده استر پوشش خاکی با دمای ۱۶/۹۸ درجه سلسیوس و برای مناطق انسان‌ساخت با دمای سطح منفی ۷/۲۳ درجه سلسیوس نسبت به دیگر کاربری‌ها دمای بالایی را داشته است. هر چند بین دمای کاربری‌ها در تاریخ ۲۰۲۳/۰۷/۱۲ بین هر دو سنجده نقطه

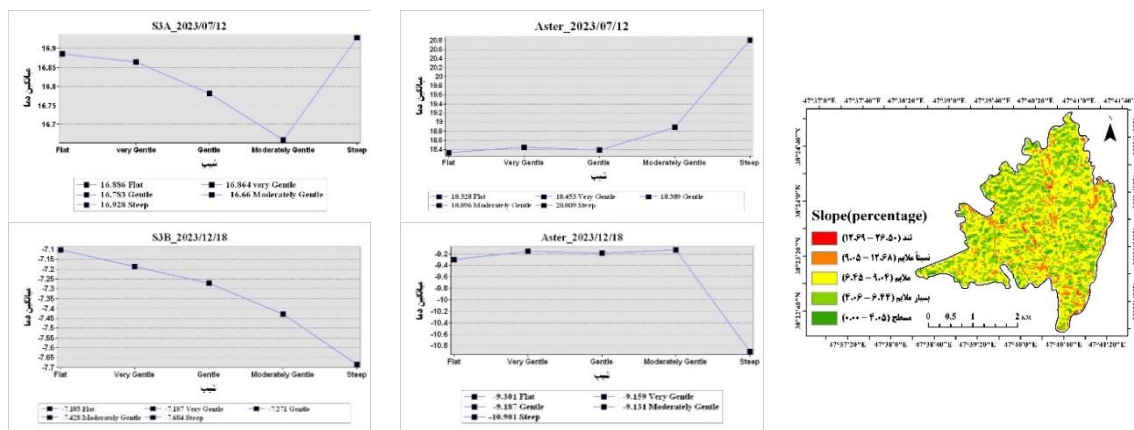
اشتراک وجود دارد اما به دلیل تفاوت در قدرت تفکیک مکانی سنجندها، وجود اختلاف در دمای کاربری‌ها برای تاریخ ۲۰۲۳/۱۲/۱۸ قابل توجیه می‌باشد. با بررسی‌های صورت گرفته این‌طور به نظر می‌رسد که رابطه بین دما و کاربری اراضی در شهر مورد مطالعه بیشتر تحت تأثیر توپوگرافی منطقه و خصوصیات حرارتی عوارض و پدیده‌ها می‌باشد.

بررسی ارتباط عوامل توپوگرافی (شیب و جهت شیب) با دما سطح زمین

برای بررسی نقش عوامل توپوگرافی در ارتباط با دما، از خروجی نقشه مدل رقومی ارتفاعی شامل نقشه شیب و جهت شیب استفاده گردید.

شیب

کلاس‌بندی لایه شیب منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS بر اساس کلاس‌بندی ارائه‌شده توسط پیرنظر ۱۳۹۴ انجام شد. سپس با اجرای دستور Zonal Statistics میانگین دمای سطح زمین برای هر کدام از کلاس‌های شیب به دست آمد.



ج

ب

الف

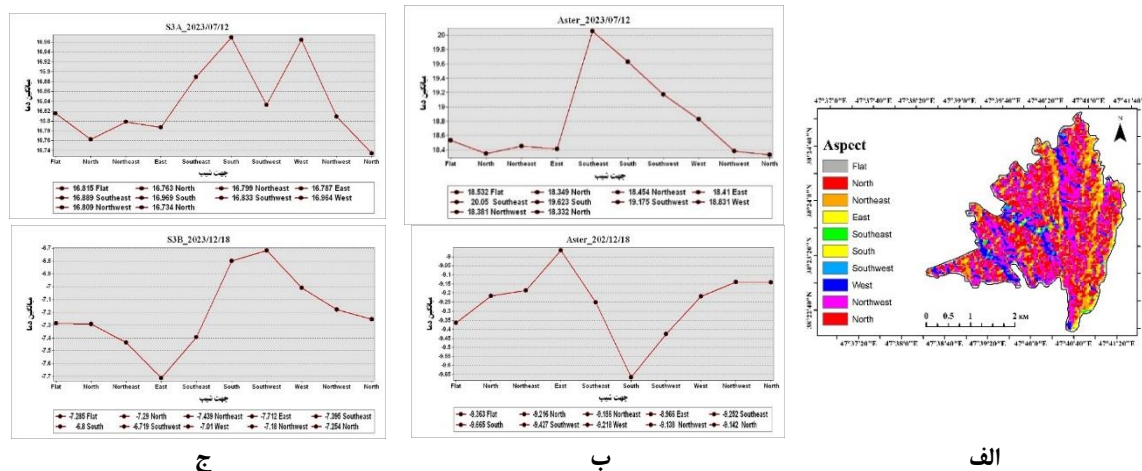
شکل ۷. الف) نقشه شیب، ب) رابطه بین دمای سطح زمین و شیب برای سنجنده استر، ج) رابطه بین دمای سطح زمین و شیب برای ماهواره سنتینل ۳

همان‌طور که در شکل ۷ (ب، ج) مشاهده می‌شود، به‌وضوح روشن است که به دلیل اختلاف در قدرت تفکیک مکانی سنجنده‌ها نسبت به هم اطلاعات آماری متفاوتی حاصل شده که این امر می‌تواند در صحت بررسی‌های انجام‌شده تأثیر مستقیم داشته باشد. بر همین اساس بدیهی است که در تجزیه تحلیل‌های سنجش‌ازدوری برای مناطق مطالعاتی کوچک‌تر نیاز به تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر می‌باشد. بنابراین سنجنده استر با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر در باندهای حرارتی نسبت به باند حرارتی یک کیلومتر سنتینل ۳، در این پژوهش به‌عنوان سنجنده با اولویت بالا در نظر گرفته شد. به دلیل اینکه محدوده مورد مطالعه بیشتر شامل مناطق ساخته‌شده است (جدول ۹) و بخصوص اینکه این مناطق می‌تواند نقشه شیب منطقه را تحت تأثیر قرار دهد همچنین وجود عوارض مختلف؛ در نمودار حاصل از سنجنده استر در شکل ۷ رابطه بین دمای سطح و شیب در فصل گرم رابطه مثبت و در فصل سرد رابطه معکوس را نشان می‌دهد.

جهت شیب

پس از کلاس‌بندی لایه جهت شیب به جهات اصلی و فرعی در محیط ArcGIS (شکل ۹، الف) همانند لایه شیب با

اجرای دستور Zonal Statistics، میانگین دمای سطح زمین برای هر کدام از جهات شیب محاسبه گردید.

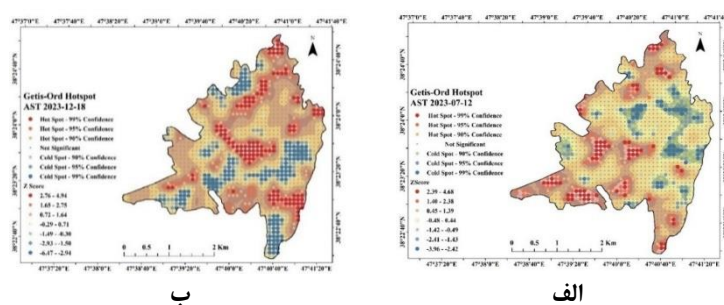


شکل ۸. الف) نقشه جهت شیب، ب) رابطه بین دمای سطح زمین و جهت شیب برای سنجده استر، ج) رابطه بین دمای سطح زمین و جهت شیب برای ماهواره سنتینل ۳

به علت واقع شدن منطقه مورد مطالعه در عرض‌های جغرافیایی بالاتر از خط استوا همان‌طور که در شکل ۹، ب و ج مشاهده می‌شود برای هر دو سنجده بیشترین دما در جهت‌های جغرافیایی جنوب، جنوب شرقی و غربی رخ داده است در نتیجه رابطه معناداری بین دما و جهات شیب در این مطالعه مشاهده می‌شود.

تحلیل لکه‌های داغ

شناسایی لکه‌های داغ حرارتی با اجرای الگوریتم گتیس - اورد در نرم‌افزار ArcGis انجام شد. این ابزار به هر عارضه در چارچوب عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند نگاه می‌کند و عارضه‌ای را لکه داغ می‌داند که هم خودش و هم همسایگانش از لحاظ آماری معنادار باشد. در این تحلیل، جمع محلی یک عارضه و همسایگانش به‌طور نسبی با جمع کل عارضه‌ها مقایسه می‌شود و امتیاز Z برای خروجی نهایی زمانی به دست می‌آید که جمع محلی به‌طور زیاد و غیرمنتظره‌ای از جمع محلی مورد انتظار بیشتر و اختلاف به‌اندازه‌ای باشد که نتوان آن را در نتیجه تصادف دانست. برای امتیاز Z مثبت و معنادار از نظر آماری، امتیاز Z بزرگ‌تر مقادیر بالا را به میزان زیادی خوشه‌بندی کرده و لکه داغ تشکیل می‌دهد. برای امتیاز Z منفی و معنادار از نظر آماری، امتیاز Z کوچک‌تر خوشه‌بندی بالای مقادیر پایین و در حقیقت نشان‌دهنده لکه‌های سرد هستند (انصاری و نوروزی، ۱۴۰۲). نتایج حاصل در شکل ۹ نشان داده شده است.



ب

الف



ج

شکل ۹. نقشه لکه‌های داغ حرارتی، (الف) سنجنده استر، (ب) نقشه منطقه مورد مطالعه و طبقه‌بندی شده

شهر مشگین‌شهر به خاطر اینکه در جهت شرق به دره و رودخانه خیاوچایی محدود است (شکل ۹، ج) شامل باغات و زمین‌های کشت شده می‌باشد. همچنین از سمت شمال مجدد توسط کاربری‌های ذکر شده احاطه شده است. شکل ۹ (الف، ب) موقعیت لکه‌های سرد و گرم شبانه را برای تاریخ‌های ۲۰۲۳/۰۷/۱۲ و ۲۰۲۳/۱۲/۱۸ نشان می‌دهد که در اصل مربوط به فصل گرم و سرد سال می‌باشند. جدای از تأثیر عرض جغرافیایی و توپوگرافی در آب‌وهوای منطقه مورد مطالعه با در نظر گرفتن اینکه شهر مورد نظر از یک طرف به پوشش گیاهی و از طرف دیگر در نتیجه گسترش شهر و تخریب کاربری اراضی به مناطق با پوشش بایر (خاکی) و دیمزارها محدود شده است. در نتیجه به لحاظ ترکیب نامتقارن پدیده‌های با خصوصیات و ظرفیت حرارتی متفاوت، پراکندگی نامنظم پوشش گیاهی و زمین‌های بایر در ساختار شهر می‌تواند توجیحی بر این باشد که خودنمایی لکه‌های شبانه شناسایی شده در نحوه توزیع و شناسایی نقاط سرد و گرم توسط الگوریتم گتیس-اورد تأثیرگذار بوده است.

بحث

به تناسب قدرت تفکیک سنجنده‌های مختلف می‌توان در زمینه‌های مطالعاتی متفاوتی از قابلیت آن‌ها بهره برد. قدرت تفکیک مکانی بالای سنجنده‌های سنجش‌ازدوری برای مطالعه مناطق ناهمگن با پدیده‌های متنوع به لحاظ اینکه با ابعاد و اندازه متفاوتی از پدیده‌ها سروکار داریم خصیصه مهم و تأثیرگذار در یافته‌های مطالعات محسوب می‌شود. از این رو در مطالعه حاضر جهت استخراج دمای سطح زمین برای منطقه مورد مطالعه در کنار سنجنده استر با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر برای باند حرارتی از سنجنده حرارتی یک کیلومتر سنتینل ۳ استفاده شد تا تفاوت جزئیات در یافته‌ها آشکارتر شود. با تکیه بر این نکته ارتباط کاربری اراضی با دمای سطح زمین برای محدوده شهری مورد نظر مطالعه شد. یافته‌های پژوهش نشان‌دهنده اثرات منفی تغییرات کاربری اراضی در نتیجه افزایش سطوح ساخته شده و عدم برنامه‌ریزی مدیران شهری در نقشه نهایی بود در شکل ۹ (الف) به وضوح دیده می‌شود مناطقی از شهر که نزدیک به نواحی دارای پوشش گیاهی هستند به صورت لکه‌های سرد مشخص شده‌اند هر چند نقاطی هم هستند که به صورت لکه‌های گرم دیده می‌شوند که این مورد می‌تواند تحت تأثیر مناطق ساخته نشده و یا خاک‌برداری در جهت ساخت‌وساز، گسترش و نوسازی شهر باشد. اما در همین تصویر نواحی بایر که پوشش طبیعی خود را از دست داده‌اند و یا پوشش طبیعی کمی دارند به صورت لکه‌های گرم نمایان هستند. البته نباید از خصوصیات حرارتی پدیده‌های موجود غافل شد چرا که اصل تأثیرگذار در تابش‌های حرارتی رسیده به سنجنده می‌باشد. سطوح با پوشش طبیعی همانند گیاهان، مناطق آبی و امثال آن‌ها که دارای رطوبت هستند می‌توانند در تعدیل دمای هوا و در نتیجه جلوگیری از کاهش بیش‌ازحد دمای سطح زمین در فصول سرد سال تأثیرگذار باشند در شکل ۹ (ب) مشاهده می‌شود که در نوار حاشیه شهر بخصوص در جنوب، جنوب شرقی و غرب که پوشش لازمه را ندارند در شب‌هنگام به صورت لکه‌های سرد شناسایی شدند و لکه‌های گرم بیشتر به سمت

مرکز و حاشیه شرقی تمایل دارند. با اینکه شهر مشکین‌شهر به لحاظ جمعیتی شهر بزرگی نیست اما در صورتی که مدیریت مناسبی برای حفظ پوشش طبیعی در کنار تغییرات کاربری در ضمن توسعه شهری صورت نگیرد به‌عنوان یک شهر توریستی که قابلیت توسعه و افزایش جمعیت دارد می‌تواند در آینده نه‌چندان دور با مشکل جدی جزایر گرمایی، افزایش بی‌رویه مصرف انرژی، تأثیر نامطلوب بر سلامت شهروندان و محیط‌زیست مواجه شود. یافته‌های پژوهش حاضر همسو با نتایج مطالعات پژوهشگرانی همچون وگت و اوکی (۱۹۹۷)، زیائو و مودی (۲۰۰۵)، سورش و همکاران (۲۰۱۶)، ونگ و همکاران (۲۰۱۹)، یاوروی (۱۳۹۳) و سبحانی و منصوری (۱۴۰۲) می‌باشد که به رشد شهرها در طول زمان به‌عنوان عاملی در تخریب کاربری اراضی، تغییر در الگوی توزیع دمای سطح زمین و افزایش مصرف انرژی فسیلی که باعث ایجاد آلودگی و تشکیل جزایر گرمایی بخصوص در فصل تابستان و نواحی با کاربری‌های متنوع و متراکم می‌باشد، تأکید داشتند. علاوه بر این استفاده از داده‌های حرارتی و تصاویر چند طیفی سنجش‌ازدوری که به‌عنوان عاملی مهم در درک خصوصیات مواد و به‌عنوان ابزاری مفید جهت نمایش و تجزیه تحلیل منابع و اثرات انرژی در محیط شهری در پژوهش علوی‌پناه (۱۳۸۳) و آخوندزاده و سراجیان (۱۳۸۶) استنتاج شده بود صحت استفاده از این ابزارها و داده‌ها توسط پژوهش حاضر را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

جزایر حرارتی شهری به خاطر اینکه می‌تواند بر روی محیط‌زیست، سلامت انسان‌ها و همچنین تشدید دمای هوای شهری در فصل‌های گرم سال تأثیر منفی بگذارد و مصرف انرژی الکتریکی یا سایر انرژی‌ها جهت خنک‌سازی منازل مسکونی، تجاری و اداری را در این فصول افزایش داده و چالش‌های اساسی برای مدیران، برنامه‌ریزان و تأمین‌کننده‌های انرژی در سطوح مختلف تصمیم‌گیری در کشور ایجاد می‌کند؛ بنابراین استفاده از نتایج پژوهش‌هایی مانند پژوهش حاضر که از روش‌های نوین (سنجش‌ازدور) جهت شناسایی لکه‌های داغ که مقدمه‌ای برای تشکیل جزایر حرارتی در داخل محیط شهری هستند هم از لحاظ زمان، هزینه و نیروی انسانی برای تصمیم‌گیران حوزه انرژی می‌تواند مفید واقع شود. در این پژوهش جهت بررسی و ارزیابی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح زمین علاوه بر برآورد دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های شبانه سنجنده استر از داده حرارتی ماهواره سنتینل ۳ هم برای ارزیابی صحت دمای سطح بازایی شده و هم جهت مقایسه دمای کاربری اراضی به‌دست‌آمده بین دو سنجنده استفاده گردید. در ادامه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصویر ماهواره لندست ۹ و الگوریتم SVM استخراج شد. همچنین صحت نقشه کاربری‌های استخراج‌شده با استفاده از روش ماتریس خطا ارزیابی شد که مقدار تخمین زده‌شده برای ضریب کاپا قابلیت بالای اعتماد به نقشه‌ها را نشان داد. نتایج حاصل از اعتبارسنجی دمای سطح برآورد شده ضریب همبستگی و تعیین را برای تاریخ ۲۰۲۳/۰۷/۱۲ مقدار ۰/۷ و ۰/۵ و برای تاریخ ۲۰۲۳/۱۲/۱۸ به ترتیب ۰/۶ و ۰/۴ ارائه کرد که نشان‌دهنده رابطه مثبت و انطباق نزدیک بین این داده‌ها بود. بررسی انجام‌شده در ارتباط با دمای کاربری‌ها بین هر دو سنجنده علاوه بر وجود نقطه اشتراک، بروز اختلاف در دمای کاربری‌ها برای تاریخ ۲۰۲۳/۱۲/۱۸ بود که با توجه به قدرت تفکیک مکانی سنجنده‌ها قابل توجیه بود. همچنین رابطه بین دما و کاربری اراضی نشان داد که دمای کاربری‌ها بیشتر تحت تأثیر توپوگرافی منطقه و خصوصیات حرارتی عوارض و پدیده‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از ارتباط دمای سطح با عوامل توپوگرافی (شیب و جهت شیب) وجود رابطه مثبت بین دمای سطح و شیب در فصل گرم و رابطه معکوس در فصل سرد بود. علاوه بر این برای هر دو سنجنده بیشترین دما در جهت‌های جغرافیایی جنوب، جنوب شرقی و غربی رخ‌داده بود که رابطه معناداری را بین دما و جهات شیب نشان می‌داد. در نهایت با اجرای الگوریتم گنیس - اورد در نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس توزیع مکانی لکه‌های داغ

مشخص شد و عواملی از قبیل ترکیب نامتقارن پدیده‌های با خصوصیات و ظرفیت حرارتی متفاوت، پراکندگی نامنظم پوشش گیاهی و زمین‌های بایر در نتیجه گسترش شهر توجیهی بر خودنمایی در نحوه توزیع و شناسایی نقاط سرد و گرم توسط الگوریتم گتیس - اورد استنتاج گردید.

نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان شهری را بر آن دارد که در حد امکان توسعه شهرهای کوچکی همچون مشگین‌شهر را که مستعد جذب جمعیت و گسترش شهری هستند، در چهارچوب حفظ پوشش طبیعی بخصوص توزیع منظم پوشش گیاهی، کنترل پراکندگی زمین‌های بایر (خاکی) در سطح شهر و پیرامون آن را مدنظر قرار دهند تا مناطقی از شهر که مستعد ایجاد نقاط داغ گرمایی و در نهایت تشکیل جزایر گرمایی هستند قبل از توسعه بیشتر شهر شناسایی و بهبود یابد تا در آینده به توسعه پایدار در محیط شهری و کاهش ناترازی در مصرف انرژی دست پیدا کنند.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

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

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه‌کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- ابراهیمی، هادی. (۱۳۹۸). *بررسی تغییرات جزایر حرارتی در نواحی شهر با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور؛ مطالعه موردی: شهر تهران*. پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد، رشته جغرافیای طبیعی-مخاطرات آب و هوایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی.
- 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)، ۱۴۱-۱۶۶. <https://doi.org/10.22108/gep.2023.136187.1564>
- آخوندزاده، مهدی و سراجیان، محمدرضا. (۱۳۸۶). کاربرد تصاویر ماهواره‌ای ASTER-Terra در نمایش جزایر حرارتی در مناطق شهری- شهر تهران. *دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، قطب علمی مهندسی نقشه‌برداری و مقابله با سوانح طبیعی، دانشکده فنی دانشگاه تهران*.
- پناهنده، عبدالباسط. (۱۳۹۵). *ارتباط بین کاربری‌های شهری و جزیره حرارتی در گرگان*. پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد. رشته آب و هواشناسی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران.
- پیرنظر، مجتبی. (۱۳۹۴). *شناسایی جزایر حرارتی سطحی و بررسی ارتباط مکانی آن‌ها با عوامل محیطی و انسانی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران)*. پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی - مطالعات آب‌و‌خاک، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

خدمت زاده، علی؛ موسوی، میرنجف؛ محمدی ترکمانی، حجت و محمدی، میر صادق. (۱۴۰۰). تحلیلی بر تغییرات کاربری زمین و شکل‌گیری جزایر حرارتی در حریم شهر ارومیه با استفاده از سنجش‌ازدور. فصلنامه علمی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۱۱(۴۱)، ۱۱۹-۱۳۴.

<https://doi.org/10.30495/jzpm.2021.3965>

رضایی، یوسف و فاطمی، سیدباقر. (۱۳۹۶). مبانی سنجش‌ازدور. تهران: انتشارات آژده (راهیان ارشد).
روکی، زهره؛ محمدی، حسین و زندی، رحمان. (۱۴۰۲). نقش تغییرات کاربری اراضی بر شکل‌گیری دمای سطح زمین در شهرها مطالعه موردی: شهر اصفهان. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۵(۳)، ۱-۸۸.

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2023.361681.1007779.۷>

زینالی، بتول؛ شکرزاده فرد، الهام و پیروزی و الناز. (۱۳۹۷). ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از مدل VIKOR، مطالعه موردی: شهر تبریز. مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۵)، ۶۷-۸۸.

زینالی، بتول؛ اصغری سراسکانرود، صباد؛ محمدزاده شیشه‌گران، مریم و قلعه، احسان. (۱۴۰۰). پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و ETM+ (مطالعه‌موردی: شهرستان‌های پارس‌آباد و اسلاندوز). نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۴۰۰(۴۶)، ۱۰۱-۱۱۴.

سبحانی، بهروز و منصوری، میلاد. (۱۴۰۲). واکاوی نقش تغییرات دما در کاربری‌های اراضی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی شهرستان آمل. مطالعات علوم محیط‌زیست، ۸(۴)، ۷۴۳۷-۷۴۴۸.

<https://doi.org/10.22034/jess.2023.392524.2000>

علوی پناه، سید کاظم؛ گودرزی مهر، سعید و خاکباز، باهره. (۱۳۹۰). فناوری سنجش از راه دور حرارتی و کاربرد آن در شناسایی پدیده‌ها. نشریه نشاء علم، ۲(۱)، ۲۵-۲۹.

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008935.1390.02.1.4.0>

قدسی مآب، زهره و افضل‌ی بهبهانی، خسرو. (۱۳۹۳). آشنایی با پدیده جزیره گرمایی در شهرها و راهکارهای پیشگیری از آن نمونه موردی شهر تهران. اولین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی، تهران، ۱-۷.

ملکی، محمد؛ احمدی، زهرا و دوستی، رحمن. (۱۳۹۸). تغییرات دمای سطح شهر کرمانشاه در دوره ۱۳۹۳-۱۳۹۷. نشریه جغرافیا و روابط انسانی، ۲(۳)، ۳۰۹-۳۱۹.

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26453851.1398.2.3.18.0>

ولیزاده کامران، خلیل؛ غلام نیا، خلیل؛ عینالی، گلزار و موسوی، سید محمد. (۱۳۹۶). برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی شهر زنجان). فصلنامه علمی و پژوهشی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۸(۳۰)، ۳۵-۵۰.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.22285229.1396.8.30.3.9>

References

- Abutaleb, K., Ngie, A., Darwish, A., Ahmed, M., Arafat, S., & Ahmed, F. (2015). Assessment of urban heat island using remotely sensed imagery over greater cairo, Egypt. *Advances In Remote Sensing*, 4(1), 35. <http://dx.doi.org/10.4236/ars.2015.41004>
- Akhoondzadeh, M & Serajian, M. R. (2007). Application of terra-aster satellite images in showing heat islands in urban areas - tehran city, second conference of natural disaster confrontation, *Scientific And Engineering Center For Mapping And Natural Disaster Confrontation*, faculty of engineering, university of tehran. [In Persian].
- Alavipannah, S. K., Goodarzi Mehr, S., & Khakbaz, B. (2011). Thermal remote sensing technology and its application to phenomena identification. *Science Cultivation*, 2(1), 25-29. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008935.1390.02.1.4.0> [In Persian].
- Ansari, M.R & Norouzi, A. (2023). Spatial autocorrelation of land surface temperature and its relationship with land use in ahvaz city, *Geography And Environmental Planning*, 34(3), 141-165. <https://doi.org/10.22108/gep.2023.136187.1564> [In Persian].
- Camilloni, I., & Barrucand, M. (2012). Temporal variability of the buenos aires, argentina, urban heat island. *Theoretical And Applied Climatology*, (107), 47-58. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0459-z>

- Darvishi, Sh. (2018). *Impact Of Urban Surface Characteristics On Spatiotemporal Patterns Of Surface Temperature (Case Study: Sanandaj City)*. thesis for master's degree, department of remote sensing and geographic information system, faculty of environmental sciences, Haraz, Amol. [In Persian].
- Ebrahimi, H. (2019). *An Investigation Of Temperature Distribution Patterns In Tehran Using Thermal Data Of Landsat-Tm Images, Investigation Of Changes In Thermal Islands In Urban Areas Using Remote Sensing Data (Case Study: Tehran)*. Thesis submitted in partial fulfillment for the degree of m.a. In weather hazards, faculty of literature and humanities department of natural geography, University of mohaghegh ardabili. [In Persian].
- Fatemi, S B., Rezaei, Y. (2012). *Basics of remote sensing*. Tehran: Azadeh Publications. [In Persian].
- Ghodsi Maab, Z., & Afzali Behbahani, Kh. (2017). Introduction to the thermal phenomenon in cities and strategies for its prevention(case study of tehran). *First National Conference On Sustainable Development In Geographical Sciences And Planning, Architecture And Urbanism*, Tehran, 1-7. [In Persian].
- Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Gillespie, A., Sabol, D., & Gustafson, W. T. (2006). Improved land surface emissivities over agricultural areas using aster ndvi. *Remote Sensing Of Environment*, 103(4), 474-487. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.04.012>
- Khedmatzadeh, A., Mousavi, M., Mohamadi Torkamani, H., Mohammadi, M.S. (2021). An analysis of land use changes and thermal island formation in urmia city exclusion using remote sensing, *Journal of Regional Planning*, 11(41), 119-134. <https://doi.org/10.30495/jzpm.2021.3965> [In Persian].
- Krishna, R. (1972). Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. *Bulletin of The American Meteorological Society*, (53), 647-648. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-53.7.648>
- Maleki, M., Ahmadi, Z., & Dosti, R. (2019). Kermanshah land surface temperature changes in during 1393-1397 periods. *Geography And Human Relationships*, 2(3), 309-319. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26453851.1398.2.3.18.0> [In Persian].
- Mao, K., Shi, J., Li, Z., Qin, Z., Wang, X., & Jiang, L. (2006). A multiple-band algorithm for separating land surface emissivity and temperature from aster imagery. In *2006 Ieee International Symposium On Geoscience And Remote Sensing*, 1358-1361. <http://dx.doi.org/10.1109/IGARSS.2006.351>
- Ndossi, M. I., & Avdan, U. (2016). Inversion of land surface temperature (lst) using terra aster data: a comparison of three algorithms. *Remote Sensing*, 8(12), 993. <https://doi.org/10.3390/rs8120993>
- Panahandeh, A. (2017). *The Relationship Between Urban Landuse And Urban Heat Island In Gorgan*. Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of m.sc in urban climatology, Faculty of humanities and social sciences, University of mazandaran. [In Persian].
- Pirnazar, M. (2015). *Identifying Surface Heat Islands And Investigating Their Spatial Relationship With Environmental And Human Factors Using Remote Sensing Data (Case Study: Tehran Metropolis)*. Thesis for master's degree, faculty of planning and environmental sciences, University of tabriz. [In Persian]. <https://elmnet.ir/doc/10868496-52409>
- Rongali, G., Keshari, A. K., Gosain, A. K., & Khosa, R. (2018). Split-window algorithm for retrieval of land surface temperature using landsat 8 thermal infrared data. *Journal Of Geovisualization And Spatial Analysis*, (2), 1-19.
- Rooki, Z., Mohammadi, H., & Zandi, R. (2023). The role of land use changes in shaping surface temperature in cities: a case study of isfahan. *Physical Geography Research*, 55(3), 1-17. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2023.361681.1007779> [In Persian].
- Sobhani, B., & Mansori, M. (2024). Analyzing the role of temperature changes in urban land uses using landsat satellite images (Case Study Of Amol City). *Journal Of Environmental Science Studies*, 8(4), 7437-7448. <https://doi.org/10.22034/jess.2023.392524.2000> [In Persian].

- Sobrino, J. A., Raissouni, N., & Li, Z. L. (2001). A comparative study of land surface emissivity retrieval from noaa data. *Remote Sensing Of Environment*, 75(2), 256-266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00171-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00171-1)
- Suresh, S., Ajay Suresh, V., Mani, K. (2016). Estimation of land surface temperature of high range mountain landscape of devikulan taluk using landsat 8 data. *International Journal Of Research In Engineering And Technology*, 5(1), 2321-7308.
- Valizadeh Kamran, K., Gholamnia, K., Eynali, G., & Moosavi, S.M. (2017). Estimation land surface temperature and extract heat islands using split window algorithm and multivariate regression analysis (Case Study Of Zanjan). *Journal Of Research And Urban Planning*, 8(30), 35-50. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22285229.1396.8.30.3.9> [In Persian].
- Voogt, J. A. (2004). Urban heat islands: hotter cities. *America Institute Of Biological Sciences*, 4-7. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1436823>
- Wang, R., Cai, M., Ren, Ch., Bechtel, B., Xu, Y., Ng, E. (2019). Detecting multitemporal land cover change and land surface temperature in pearl river delta by adopting local climate zone. *Urban Climate*, (28), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100455>
- 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(4), 467-483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- Xiao, J., & Moody, A. (2005). A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central new mexico, usa. *Remote Sensing Of Environment*, 98(2-3), 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.07.011>
- Zenali, B., Asghari Saraskanrood, S., Mohamadzadeh Shishegaran, M., & Ghale, E. (2021). Monitoring the land surface temperature and examining the relationship between land use and surface temperature using oli and etm+ sensor images (Case Study: Cities Of Parsabad And Aslanduz). *Journal Of Climate Research*, 1400(46), 101-114. [In Persian].
- Zhang, J., Wang, Y., & Li, Y. (2006). A c++ program for retrieving land surface temperature from the data of landsat tm/etm+ band6. *Computers & Geosciences*, 32(10), 1796-1805. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.05.001>
- Zhang, Y., Li, L., Chen, L., Liao, Z., Wang, Y., Wang, B., & Yang, X. (2017). A modified multi-source parallel model for estimating urban surface evapotranspiration based on aster thermal infrared data. *Remote Sensing*, 9(10), 1029. <https://doi.org/10.3390/rs9101029>
- Zhang, Y., Yiyun, C., Qing, D., & Jiang, P. (2012). Study on urban heat island effect based on normalized difference vegetated index: a case study of wuhan city. *Procedia Environmental Sciences*, (13), 574-581. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.048>