



Estimating land surface temperature using the rte algorithm and investigating its relationship with Land Use: A case study of Karaj city

Atefeh Tajabadi¹ , Marjan Mohammadzadeh² , Sepideh Saeidi³

1. Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Email: atefhtajabadi@gmail.com

2. (Corresponding Author) Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Email: marjan.mohammadzadeh@gmail.com

3. Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Email: saeidi@ymail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

30 November 2024

Received in revised form:

28 February 2025

Accepted:

7 April 2025

Available online:

26 April 2025

Keywords:

Land surface Temperature,
Normalized Difference
Vegetation Index,
Landuse/ cover,
Radiative Transfer
Equation.

ABSTRACT

Land surface temperature is essential in many fields, such as global climate changes, hydrological, agricultural, and land use. The relationship between land surface temperature and land use, especially vegetation, is one of the important issues in this field. This research aims to estimate the land surface temperature using the method of Radiative Transfer Equations and to investigate its locative heterogeneity in the city of Karaj. In this research, by analyzing the Landsat 8 satellite data, the land surface temperature map was extracted using the Radiative Transfer Equation (RTE) algorithm, and the land use/ cover map was extracted using the Support Vector Machine method. Investigating the contribution of each land use in temperature classes in Karaj city showed that bare lands with 43.04°C had the highest role in increasing the temperature of the north and southwest of Karaj. The gardens and green spaces land use with lower temperatures (27.08-30.31 °C) had the highest role in decreasing the temperature of central areas. Also, the results showed that high residential areas and roads with tree green belts around them have better conditions in terms of thermal comfort. In addition, the results revealed the importance of urban green spaces in regulating the earth's surface temperature, especially in urban areas. Therefore, due to the increasing urbanization and the importance of achieving favorable temperature conditions, the creation and development of green space in urban development plans by urban planners and designers can lead to the city's sustainability

Citation: Tajabadi, A., Mohammadzadeh, M., & Saeidi, S. (2025). Estimating land surface temperature using the rte algorithm and investigating its relationship with Land Use: A case study of Karaj city. *Geographical planning of space quarterly journal*, 15 (1), 143-157.
<http://doi.org/10.30488/gps.2024.426023.3696>



© The Author(s)

Publisher: Golestan University Press

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

Extended Abstract

Introduction

Estimating land surface temperature is crucial for understanding climate change, energy balance, and vegetation coverage. According to the vegetation, water, soil, and built-up areas, LST is variable, and its accurate estimation is complicated due to its many applications in different fields of knowledge. Research has shown that the type of land use can, directly and indirectly, affect LST; for example, industrial or urban use usually increases the temperature, while the levels of agricultural use or green spaces cause a decrease in LST. In addition, land cover indexes such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) also have a significant correlation with temperature changes, and these indexes significantly affect LST. Therefore, understanding the spatial relationships of LST and different land uses can be very important in urban studies and land planning. In order to estimate LST, various algorithms have been developed using the analysis of satellite images. Research has shown that the LST obtained from the radiative transfer equation algorithm is closer to the weather station temperature and provides acceptable results. Based on this, considering the importance of studying and investigating temperature changes in urban land use, the relationship between land surface temperature and types of land use and the normalized vegetation difference index was studied in Karaj city. This study aims to estimate LST using the RTE method to retrieve LST and analyze its spatial characteristics in relation to the land use/land cover of Karaj city. The results of this research can help to better understand the effect of land use and vegetation on the LST and could be used in decisions related to urban development and green space in this region.

Methodology

In this research, Landsat 8 satellite sensor data were utilized to extract land use maps, the Normalized Difference Vegetation Index and to generate Land Surface Temperature (LST) maps for August 2021. To conduct the present research, satellite image preprocessing was performed after collecting and obtaining the necessary data from the USGS website. This involved using the Atmospheric and Radiometric Correction tool (Flaash) in the ENVI 5.6 software environment to rectify systematic and non-systematic errors in the digital data acquired through satellite imaging. In the current study, focusing on changes in land surface temperature across different land use types, a Support Vector Machine (SVM)

classification method was employed to generate a land use/land cover map in the ENVI 5.6 software. Subsequently, the accuracy and precision of the classified map were assessed using the error matrix function. In the next step, considering the relationship between spectral indices and land surface temperature, the NDVI index was utilized to investigate the correlation between Land Surface Temperature and vegetation cover. For spatial analysis of temperature changes, the Land Surface Temperature was initially estimated using the Radiative Transfer Equation (RTE) and an open-source Python-based software called "LST." The Natural Breaks function calculates the average Land Surface Temperatures for different land use categories. Subsequently, a matching process was conducted utilizing the Zonal Statistics function in the ArcGIS software for each of the various land use categories within the urban area.

Results and discussion

The study findings indicate that the type of land use (such as residential and urban green spaces) directly and indirectly impacts Land Surface Temperature. As mentioned, the Land Surface Temperature was calculated using the RTE algorithm. The RTE algorithm is more accurate than similar algorithms in retrieving Land Surface Temperature because it relies on physics-based Radiative Transfer Equations. Then, by generating a land use map to determine the contribution of each land use to Land Surface Temperature changes, it was demonstrated that the majority of the area in Karaj city is attributed to residential land use (42.67%), followed by orchards and urban green spaces, covering 14.85% of the area. In the context of the relationship between urban form and land surface temperature in arid and semi-arid regions, residential areas and roads in the central regions of Karaj city fell into the second thermal zone (30.31), registering lower temperatures compared to other areas. The reason for this is the presence of tall and dense buildings with surrounding vegetation in these areas, which, by creating shade, have taken on the role of temperature moderation. Urban green spaces effectively reduce ambient temperature through their evaporation and transpiration processes. By examining the study area on the outskirts of Karaj city, higher temperatures were observed compared to the city centers. This may be because of the lack of green space development on the city's outskirts and the presence of land without vegetation cover.

Conclusion

This study was conducted to analyze the spatial characteristics of Land Surface Temperature and its relationship with land use/land cover in Karaj city for August 2021. As mentioned, with the high precision of the Radiative Transfer Equation method, the Land Surface Temperature was calculated. Based on the current research findings, in arid and semi-arid regions, especially in urban areas, the Land Surface Temperature is lower compared to other land uses. The reason for this is the presence of tall and dense buildings with surrounding vegetation in these areas, which, by creating shade, have taken on the role of temperature moderation. However, this does not mean that urban green spaces and orchards do not play a role in cooling the city. On the contrary, plants contribute to temperature reduction through shading and high evaporation and transpiration rates. Furthermore, this research identified that bare lands play the most significant role in increasing Land Surface Temperature. These bare lands are situated as large patches on the outskirts of Karaj city. Information about Land Surface Temperature and its relationship with land surface features can be obtained by analyzing satellite images. Therefore,

understanding the spatial relationships between LST and land use can be important in future studies and urban planning. Urban planners and designers can take effective steps in achieving sustainable urban development against temperature changes by predicting and planning for future changes.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

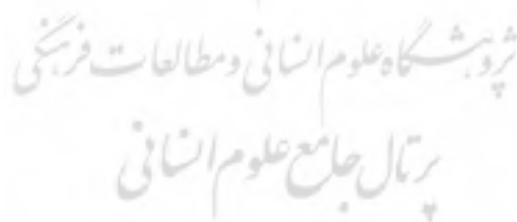
Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

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





برآورد دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم RTE و بررسی ارتباط آن با کاربری‌های زمین، مطالعه موردی: شهر کرج

عاطفه تاج‌آبادی^۱، مرجان محمدزاده^۲ ✉، سپیده سعیدی^۳

- ۱- گروه طراحی و ارزیابی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: ateftehtajabadi@gmail.com
 ۲- نویسنده مسئول، گروه طراحی و ارزیابی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: arjan.mohammadzadeh@gmail.com
 ۳- گروه طراحی و ارزیابی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: s.saeidi@ymail.com

چکیده	اطلاعات مقاله
دمای سطح زمین یک پدیده مهم در بسیاری از زمینه‌ها مانند تغییرات جهانی اقلیم، هیدرولوژیکی، کشاورزی و کاربری زمین محسوب می‌شود. ارتباط بین دمای سطح زمین و کاربری زمین به‌ویژه پوشش گیاهی، از جمله مسائل موردتوجه در این زمینه است. هدف پژوهش حاضر، برآورد دمای سطح زمین با استفاده از روش معادلات انتقال تابشی و بررسی ناهمگنی مکانی آن در شهر کرج است. در این پژوهش، با تحلیل داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸، نقشه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم معادله انتقال تابشی و نقشه پوشش زمین شهر کرج با روش ماشین‌بردار پشتیبان استخراج شد. نتایج نشان داد تصاویر ماهواره‌ای کارایی بالایی در برآورد دمای سطح زمین و بررسی ارتباط آن با کاربری زمین و پوشش گیاهی دارد. بررسی سهم هر کاربری در طبقات دمایی سطح شهر کرج آشکار ساخت زمین‌های بایر با دمای ۴۳/۰۴ درجه سانتی‌گراد، بیشترین نقش را در افزایش دمای شمال و جنوب غرب شهر کرج و کاربری باغات و فضای سبز با دمای کمتر (۳۰/۳۱-۲۷/۰۸ درجه سانتی‌گراد) بیشترین نقش را در کاهش دمای نواحی مرکزی داشتند. همچنین نتایج نشان داد مناطق مسکونی و انسان‌ساخت مرتفع و جاده‌ها با کمربند سبز درختی اطراف خود، وضعیت بهتری از نظر شرایط دمایی دارند. علاوه بر آن، نتایج به‌دست‌آمده اهمیت وجود فضاهای سبز شهری را در تعدیل دمای سطح زمین به‌ویژه در مناطق شهری آشکار ساخت. بنابراین، با توجه به افزایش شهرنشینی و اهمیت دستیابی به شرایط دمایی مطلوب، ایجاد و توسعه فضاهای سبز در برنامه‌های توسعه شهری توسط برنامه‌ریزان و طراحان شهری می‌تواند پایداری شهر را به دنبال داشته باشد.	نوع مقاله: مقاله پژوهشی
	تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۰
	تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۰۸
	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸
	تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶
	واژگان کلیدی: دمای سطح زمین، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده، کاربری/پوشش زمین، معادله انتقال تابشی.

استناد: تاج‌آبادی، عاطفه؛ محمدزاده، مرجان و سعیدی، سپیده. (۱۴۰۴). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم RTE و بررسی ارتباط آن با کاربری‌های زمین، مطالعه موردی: شهر کرج. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۵ (۱)، ۱۵۷-۱۴۳.

<http://doi.org/10.30488/gps.2024.426023.3696>



مقدمه

تغییرات اقلیمی و گرمای جهانی یکی از چالش‌های بزرگ جهان در دهه‌های اخیر بوده و تأثیرات آن بر توسعه شهری و کشاورزی قابل توجه است. تغییرات دمای سطح زمین به عنوان یکی از نشانه‌های اصلی تغییرات اقلیمی به شمار می‌آید (Lu et al., 2020: 14). در دنیای امروز، برآورد دمای سطح زمین در تعیین و پیش‌بینی پدیده‌های مانند تغییرات آب‌وهوا، تعادل انرژی و تعیین میزان پوشش گیاهی بسیار مهم است. با توجه به پوشش گیاهی، آب، خاک و نواحی ساخته شده، دمای سطح زمین متغیر است و تخمین دقیق آن به دلیل کاربردهای متعددی که در حوزه‌های مختلفی از دانش دارد، بسیار پیچیده است (Guha et al., 2020:15).

دمای سطح زمین (LST)^۱ یک متغیر اساسی اقلیم و یک پارامتر حیاتی برای فرایندهای سطح زمین در مقیاس‌های محلی و جهانی است. دمای سطح زمین تحت تأثیر متغیرهای مختلفی از جمله متغیرهای اقلیمی و جوی، توپوگرافی و کاربری زمین است (پرور و همکاران، ۱۴۰۲: ۲۲۹). اطلاعات مربوط به کاربری و پوشش زمین به عنوان یک جز اصلی و مهم از داده‌های مورد استفاده در جنبه‌های مختلف برنامه‌ریزی منطقه‌ای، پژوهش‌های مربوط به تغییرات جهانی و برنامه‌های نظارت بر محیط‌زیست شناخته شده است (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۲). انواع کاربری زمین بر میزان LST تأثیر می‌گذارد و به عنوان شاخصی برای بررسی روند آن قلمداد می‌شود. تحقیقات نشان داده است که نوع کاربری زمین می‌تواند تأثیر مستقیم و غیرمستقیمی بر دمای سطح زمین داشته باشد. برای مثال، کاربری صنعتی یا شهری معمولاً دما را افزایش می‌دهند، در حالی که سطوح کاربری کشاورزی یا فضای سبز باعث کاهش دمای سطح زمین می‌شود، این تأثیرات می‌توانند تغییرات آب‌وهوایی محلی را نیز موجب شود (Halima et al., 2020: 164). عوامل بسیاری مانند آب‌وهوا، انواع پوشش گیاهی، کاربری/پوشش زمین و شهرنشینی بر دمای سطح زمین تأثیر می‌گذارند (Guha et al., 2020: 3). در پژوهش عیسی‌زاده و همکاران (۱۴۰۰) در شهر تهران ارتباط نزدیکی بین دمای سطح زمین و همچنین کاربری‌های شهری و ساخت‌وسازهای مصنوع وجود دارد و کاربری اراضی یا پوشش زمین یک منطقه پارامتر مهمی در دمای سطح زمین است. فعالیت‌های طبیعی و مصنوع شرایط فیزیکی یک منطقه را تغییر می‌دهد و این فعالیت همچنین بر مقداری دمای سطح زمین منطقه مورد مطالعه تأثیرگذار بوده است. در پژوهش فنگ^۲ و همکاران (۲۰۱۹) روابط بین LST و شاخص‌های مختلف پوشش زمین در یک منطقه شهری بررسی شد، نتایج نشان داد که نه تنها شاخص‌های پوشش زمین بلکه، عوامل مجاورت و نزدیکی فضایی مانند فواصل تا مرکز شهر و جاده‌های اصلی نیز به طور قابل توجهی بر LST تأثیرگذار بودند. همچنین در پژوهش میسرا و چاودهری^۳ (۲۰۱۶) رابطه بین کاربری/پوشش زمین و دمای سطح زمین در یک بازه زمانی ۳۳ ساله بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد شاخص‌های کاربری/پوشش زمین مانند شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)^۴، شاخص ساخت‌وساز تفاضلی نرمال شده (NDBI)^۵ و شاخص آب تفاضلی نرمال شده (NDWI)^۶ با تغییرات دما همبستگی معنی‌داری دارند و تغییرات در این شاخص‌ها تأثیر قابل توجهی بر LST می‌گذارند. در مطالعات محمدی و همکاران (۱۴۰۰) در زنجان با توجه به اهمیت بالای محاسبه دقیق LST، روش گسیلمندی با استفاده از NDVI برای چهار الگوریتم اجرا شد. برای صحت‌سنجی نتایج الگوریتم‌های LST، از داده‌های دمای سطح ایستگاه هواشناسی زنجان در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ استفاده

1. Land surface temperature (LST)

2. Feng

3. Mishra and Chaudhuri

4. Normalized difference vegetation index (NDVI)

5. Normalized Difference Built-up Index (NDBI)

6. Normalized difference water index (NDWI)

گردید. در نهایت روش آماری جذر میانگین مربعات^۱ (RMSE) به منظور برآورد خطای الگوریتم‌ها اجرا شد. بر اساس نتایج، الگوریتم‌های تک کانال، رابطه معکوس تابع پلانک تک پنجره بهبودیافته و معادله انتقال تابشی دارای کمترین خطا بودند. از جمله نوآوری‌های دیگر این پژوهش، استفاده از نرم‌افزارهای آماری بود که با فراهم‌سازی محیطی مناسب در پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای، نتایج مناسبی را در تهیه و طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی ارائه داده است.

بر این اساس با توجه به اهمیت مطالعه و بررسی تغییرات دمایی در کاربری شهری، بررسی ارتباط دمای سطح زمین با انواع کاربری زمین و شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده در شهر کرج مورد مطالعه قرار گرفت. کلان‌شهر کرج به دلیل آب‌وهوای مناسب و همسایگی با شهر تهران همواره مورد توجه مهاجرین بوده و رشد و توسعه روزافزون شهر کرج موجب افزایش دمای سطح زمین و مشکلات ناشی از آن گردیده است. بنابراین به دلیل افزایش جمعیت و کاهش منابع طبیعی و قرارگیری در برابر بلایای طبیعی و انسان‌ساخت ناشی از تخریب روزافزون طبیعت شهر در چند دهه گذشته بررسی ارتباط دمای سطح زمین با کاربری زمین و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده در شهر کرج ضروری به نظر می‌رسد و می‌تواند به توسعه دانش و بهبود شرایط زیستی کمک کند. از این رو درک روابط فضایی LST و کاربری‌های مختلف می‌تواند اهمیت بالایی در مطالعات شهری و برنامه‌ریزی سرزمین داشته باشد. هدف از این مطالعه بررسی الگوی مکانی دمای سطح زمین منطقه شهری با تأکید بر نقش کاربری/پوشش زمین است. این تحقیق می‌تواند به شناخت و درک بهتر نقش کاربری زمین و پوشش گیاهی در تغییرات دمای سطح زمین در شهر کرج کمک کرده و به عنوان یک منبع ارزشمند در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با توسعه شهری و کشاورزی در این منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

اهمیت بالایی در مطالعات شهری و برنامه‌ریزی سرزمین داشته باشد. هدف از این مطالعه بررسی الگوی مکانی دمای سطح زمین منطقه شهری با تأکید بر نقش کاربری/پوشش زمین است. این تحقیق می‌تواند به شناخت و درک بهتر نقش کاربری زمین و پوشش گیاهی در تغییرات دمای سطح زمین در شهر کرج کمک کرده و به عنوان یک منبع ارزشمند در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با توسعه شهری و کشاورزی در این منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

مبانی نظری

برآورد دمای سطح زمین و تحلیل ارتباط آن با کاربری‌های شهری یک موضوع مهم در زمینه علوم زمین و محیط‌زیست است. اندازه‌گیری دما و درک تغییرات آن در مقیاس‌های مختلف، از جمله مقیاس سطح زمین، درک بهتری از پدیده‌های طبیعی و انسانی را ممکن می‌سازد (Hussain & Karuppannan, 2021: 46). با استفاده از سنجش‌ازدور می‌توان دمای سطح زمین را اندازه‌گیری کرد و ویژگی‌های حرارتی سطح زمین و همچنین روابط آن با کاربری‌ها/پوشش زمین را مورد بررسی قرار داد.

ساختار، شکل، بافت و کاربری‌های مختلف شهر تأثیر بسزایی در دمای سطح زمین دارند (Azmi et al., 2021: 3). با توجه به قابلیت بسیار بالای سنجنده‌های ماهواره‌ای در جمع‌آوری اطلاعات از پدیده‌های زمینی از جمله طیف مادون قرمز حرارتی، امکان بررسی وضعیت دمای سطح زمین و کاربری‌های متعدد در مناطق مختلف شهری وجود دارد. بازیابی LST از داده‌های تصویری دورسنجی فروسرخ حرارتی در مقیاس جهانی، منطقه‌ای و شهری دارای مزایای بی‌نظیر است و یکی از روش‌های رایج برای مطالعه تأثیر جزیره گرمایی شهری است (Jiang & Lin, 2021: 2). باندهای TIRS لندست ۸

1. Root Mean Square Error

امکان برآورد دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم‌های مختلف را فراهم می‌کند (García-Santos et al., 2018: 1840;1450 Jimenez-Munoz et al., 2014).

تکنولوژی سنجش‌ازدور با ثبت انرژی بازتابی از سطح زمین و جو پیرامون آن برای دستیابی به انواع مختلف داده‌های موردنیاز برای تحلیل دمای سطح زمین و کاربری‌ها، کاربردهای فراوانی دارد. به‌منظور برآورد دمای سطح زمین، الگوریتم‌های مختلفی مانند معادله انتقال تابشی^۱ (RTE)، الگوریتم تک پنجره^۲ (MWA)، الگوریتم پنجره مجزا^۳ (SWA) و الگوریتم تک کاناله^۴ (SCA) با استفاده از تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای توسعه داده شده است (jiang & Lin, 2021: 5). در مطالعه گارسیا سانتوز و همکاران^۵ (۲۰۱۸) دقت برآورد دمای سطح زمین در هر کدام یک از روش‌ها مانند معادله انتقال تابشی، الگوریتم پنجره مجزا و روش تک کاناله مقایسه شد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که روش مبتنی بر RTE با استفاده از باند ۱۰ بیشترین دقت را با خطای جذر میانگین مربعات^۶ کمتر از ۱ درجه سانتی‌گراد دارد. رونگالی^۷ و همکاران (۲۰۱۸) نیز تا ۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف در مقایسه دمای سطح زمین با داده‌های ایستگاه هواشناسی مشاهده نمودند که گاهی اوقات بسته به عوامل مختلف و شرایط آب‌وهوایی این اختلاف می‌تواند بیشتر باشد. مطالعات گوناگونی به‌منظور تجزیه و تحلیل مکانی تغییرات دمای سطح زمین از روش‌های معادله انتقال تابشی، الگوریتم تک کانال، الگوریتم پنجره مجزا و الگوریتم تک پنجره استفاده کردند. نتایج مطالعه پرور و همکاران (۱۴۰۲) نیز نشان داد که LST به‌دست‌آمده از الگوریتم معادله انتقال تابشی، به دمای ایستگاه هواشناسی نزدیک‌تر بوده و نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. برآورد دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم RTE بر اساس اصول انتقال تابشی و سنجش‌ازدور حرارتی است و به‌عنوان یکی از روش‌های دقیق برای تخمین دمای سطح زمین در تصاویر سنسورهای حرارتی معتبر شناخته شده است (Ali et al., 2023: 2). بنابراین در پژوهش حاضر، روش RTE برای تخمین دمای سطح زمین به دلیل اثربخشی و دقت آن در اندازه‌گیری دمای سطح زمین و بررسی ارتباط آن با تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی شهر کرج در نظر گرفته شد.

روش پژوهش

در این پژوهش، به‌منظور استخراج نقشه کاربری زمین، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده و تهیه نقشه دمای سطح زمین از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سال ۱۴۰۰ استفاده شده است. اطلاعات هواشناسی منطقه نیز از ایستگاه سینوپتیک موجود در محدوده مورد مطالعه مربوط به سال ۱۴۰۰ اخذ گردید. جهت ارزیابی و صحت سنجی نقشه دمای سطح زمین از داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر کرج (سایت سازمان هواشناسی کشور، بی‌تا)^۸ استفاده شد. برای انجام تحقیق حاضر پس از جمع‌آوری و تهیه داده‌های موردنیاز (سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا، بی‌تا)^۹ پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای شامل شناسایی و رفع خطاهای موجود در تصاویر انجام و سپس تصاویر اصلاح شده در پردازش به کار گرفته شدند. لازم به توضیح است برای تهیه نقشه کاربری/پوشش زمین، دمای سطح

1. Radiative Transfer Equation

2. Mono Window algorithm

3. Split Window algorithm

4. Single Channel algorithm

5. García-Santos

6. root-mean-square error (RMSE)

7. Rongali

8. <https://data.irimo.ir/withoutlogin/index.aspx>

9. <https://earthexplorer.usgs.gov>

زمین و نیز افزایش صحت اطلاعات رقومی داده‌های حاصل از تصویربرداری ماهواره‌های سنجنش‌ازدور، پس از آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور رفع خطاهای سیستماتیک و غیر سیستماتیک، از روش تصحیح جزئی اتمسفری (Flaash) در محیط نرم‌افزار ENVI5.6 استفاده شد. در تصحیح اتمسفری اثر پخش و جذب امواج الکترومغناطیسی از روی باندهای بازتابی حذف تا از این طریق بازتاب‌های طیفی به‌درستی تصحیح‌شده و امکان انجام پردازش‌های طیفی نیز در گام‌های بعدی فراهم شود.

پس از آماده‌سازی اطلاعات ورودی برای تهیه نقشه کاربری/ پوشش زمین از روش طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان که نسبت به روش‌های دیگر دارای دقت بالاتری است و از رایج‌ترین الگوریتم‌های طبقه‌بندی نیز به شمار می‌آید (Rwanga & Ndambuki, 2017: 612)، استفاده شد. به این منظور با استفاده از این روش و به‌کارگیری نقشه‌های موجود و تصاویر Google earth در محیط نرم‌افزار ENVI 5.6 کاربری‌های موجود در منطقه در ۷ طبقه شامل پهنه آبی، مناطق مسکونی و انسان‌ساخت، مراتع، کشاورزی، باغات و فضاهای سبز شهری، زمین‌های بایر و جاده‌ها تقسیم‌بندی شدند. سپس ارزیابی صحت و دقت نقشه طبقه‌بندی‌شده با تابع ماتریس خطا^۱ با استفاده از ضرایب کاپا، دقت کلی^۲، دقت تولیدکننده و دقت کاربر محاسبه شد. ضریب کاپا و تحلیل آماری مبتنی بر آن اندازه‌ای عددی بین -۱ تا +۱ است، که هر چه به +۱ نزدیک‌تر باشد بیانگر وجود توافق متناسب و مستقیم است. اندازه‌های نزدیک به -۱ نشان‌دهنده وجود توافق وارون و عکس و اندازه‌های نزدیک به صفر عدم توافق را نشان می‌دهد (Hussain et al., 2021: 47).

در گام بعدی با توجه به ارتباط بین شاخص‌های طیفی و دمای سطح زمین (Lu et al., 2020: 18; Mishra & Chaudhuri, 2016: 68)، برای بررسی رابطه دمای سطح زمین با پوشش گیاهی از شاخص NDVI استفاده شد. شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده، به‌عنوان یکی از محبوب‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی و یک‌راه ارزشمند برای درک سلامت پوشش گیاهی با استفاده از سنجنش زمین از راه دور است (Chen et al., 2014: 645). شاخص NDVI مطابق رابطه ۱ در نرم‌افزار Arc GIS 10.7 محاسبه شد که در آن NIR و RED به ترتیب باند مادون قرمز نزدیک^۳ و قرمز را نشان می‌دهند.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

رابطه ۱)

مقدار شاخص NDVI همیشه بین -۱ و +۱ است؛ مقادیر بین ۰ و -۱ نشان‌دهنده گیاهان مرده یا اجسام غیرآلی مانند سنگ‌ها، جاده‌ها و خانه‌ها و یا آب و مقادیر شاخص NDVI برای گیاهان زنده بین ۰ تا ۱ است که ۱ سالم‌ترین و ۰ کمترین مقدار سلامت پوشش گیاهی است. همچنین اگر مقادیر NDVI بین ۰ و ۰/۲ باشد نشان می‌دهد که زمین پوشیده از خاک است. مقادیر بین ۰/۲ و ۰/۵ نیز به‌عنوان پوشش گیاهی و مقادیر بالاتر از ۰/۵ پوشش گیاهی پرتراکم در نظر گرفته می‌شود (Lu et al., 2020: 18; Guha et al., 2020: 15).

پس از انجام مدل تصحیح اتمسفری و رفع خطاهای طیفی بالای اتمسفر در تصاویر ماهواره‌ای، اعداد دیجیتالی تصویر به رادیانس طیفی و سپس به دمای روشنایی تبدیل شدند. برای تجزیه و تحلیل مکانی تغییرات دمایی، ابتدا با استفاده از معادله انتقال تابشی (RTE) و نرم‌افزار منبع باز و مبتنی بر پایتون با نام LST (پرور و همکاران، ۱۴۰۲) دمای سطح زمین برآورد شد و سپس نقشه LST، از باند ۱۰ سنجنده TIRS تصاویر لندست برای مردادماه سال ۱۴۰۰ تهیه گردید. محاسبه RTE برای یک باند حرارتی و در یک طول موج خاص را $C(\lambda)$ می‌توان بر اساس رابطه (۲) به دست آورد (Diaz et al.,

1. Confusion matrix
2. Overall accauracy
3. Near infrared (NIR)

(2021: 1436).

$$L_{\lambda}^{sen} = [\varepsilon B_{\lambda}(T_s) + (1 - \varepsilon)L_{\lambda}^{\downarrow}] \tau + L_{\lambda}^{\uparrow} \quad \text{رابطه ۲}$$

L_{λ}^{sen} رادیانس ثبت شده در سنجنده باند حرارتی مربوطه (باند ۱۰) است، B_{λ} رادیانس جسم سیاه است، بنابراین رادیانس ساطع شده برای یک جسم سیاه در دمای T_s با معکوس نمودن رابطه قبل و بر اساس رابطه (۳) به دست می آید:

$$B_{\lambda}(T_s) = \frac{L_{\lambda}^{\downarrow} - L_{\lambda}^{\uparrow} - \tau(1 - \varepsilon)L_{\lambda}^{\downarrow}}{\tau\varepsilon} \quad \text{رابطه ۳}$$

T_s را می توان با معکوس کردن قانون پلانک در رابطه قبل و بر اساس رابطه (۴) به دست آورد. K_1 و K_2 ثابت های کالیبراسیون باند حرارتی برای تصاویر ماهواره ای لندست است.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{\frac{L_{\lambda}^{sen} - L_{\lambda}^{\uparrow} - \tau(1 - \varepsilon)L_{\lambda}^{\downarrow}}{\tau\varepsilon}} + 1\right)} \quad \text{رابطه ۴}$$

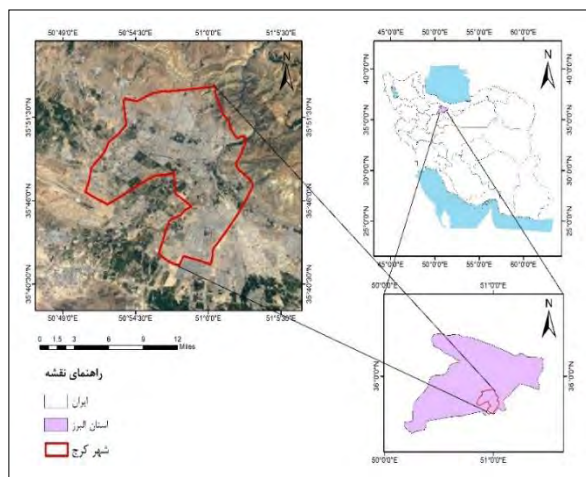
به منظور صحت سنجی و مقایسه نقشه LST به دست آمده با داده های ایستگاه هواشناسی، نیاز به داده های زمینی موجود در سازمان هواشناسی است که از سایت <https://www.irimo.ir> اخذ گردید. جهت صحت سنجی نقشه تهیه شده، دمای سطح زمین به دست آمده با استفاده از رابطه ۵ ابتدا به دمای هوا تبدیل و سپس با دمای هوای به دست آمده از ایستگاه هواشناسی شهر کرج مقایسه گردید که در آن T_a دمای هوا و T_s دمای ایستگاه هواشناسی را نشان می دهد. مقدار خطای جذر میانگین مربعات نیز به کمک نرم افزار اکسل به دست آمد.

$$T_a = 0.44 + 1.4/6 * T_s \quad \text{رابطه ۵}$$

با توجه به مطالعات پیشین و اهمیت فضای سبز در تعدیل دمای سطح زمین، به کمک نقشه شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین، برای بررسی تأثیرات تعاملی بین متغیرها و دستیابی به تأثیر NDVI بر LST از روش رگرسیون خطی و از نرم افزار اکسل کمک گرفته شد که نقشه دمای سطح زمین به عنوان متغیر وابسته و نقشه پوشش گیاهی نرمال شده به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. در این پژوهش برای ارزیابی و مقایسه دمای سطح زمین در هر کاربری زمین، طبقات کاربری های مختلف را انتخاب و میانگین دمای سطحی پیکسل های متناظر با هر طبقه محاسبه شد. میانگین طبقات دمایی سطح زمین با استفاده از تابع Natural Breaks محاسبه و سپس با استفاده از تابع Zonal statistics در نرم افزار Arc GIS با هر یک کاربری های مختلف سطح شهر تطابق انجام شد.

محدوده مورد مطالعه

شهر کرج مرکز استان البرز و یکی از کلان شهرهای ایران است. این شهر در ارتفاع ۱۳۰۰ متری از سطح دریا و در دامنه رشته کوه البرز واقع شده است (شکل ۱). کرج چهارمین شهر پرجمعیت ایران و بیست و دومین کلان شهر پرجمعیت خاورمیانه است. به طور کلی کرج نیز مانند سایر نقاط استان البرز متأثر از سیستم های اقلیمی شمالی، شمال غربی، غربی و جنوب غربی در فصول سرد سال بارندگی آن از آبان و آذرماه آغاز و تا اواسط اردیبهشت ماه ادامه دارد. میانگین بارندگی سالانه کرج حدود ۲۵۱ میلی متر با ضریب تغییرات ۲۴/۱ درصد و حداقل ۸۹/۳ میلی متر و حداکثر ۳۷۴/۴ میلی متر است. جمعیت کرج بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، ۱۵۹۳۴۹۲ نفر است که با توجه به ساکنان حومه شهر ۱۹۷۳۴۷۰ نفر برآورد شده است (سالنامه آماری استان البرز، ۱۳۹۵). حداقل مطلق دما ۲۰- و حداکثر مطلق دما ۴۲ درجه سانتی گراد و میانگین سالانه آن ۱۴/۱ درجه سانتی گراد است. گرم ترین و سردترین ماه های سال، تیر با میانگین ۲۶ و دی با ۱/۲ درجه سانتی گراد است (Nasiri et al., 2022: 833) و از لحاظ اقلیمی در منطقه خشک و نیمه خشک قرار گرفته شده است.

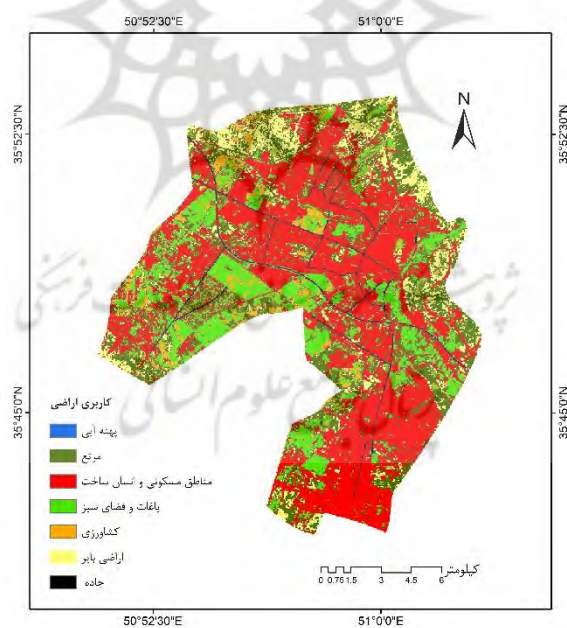


شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

یافته‌ها

نقشه کاربری / پوشش زمین

به‌منظور بررسی الگوی مکانی دمای سطح زمین در کاربری‌های مختلف شهر کرج، نقشه کاربری/پوشش زمین منطقه مورد مطالعه برای مردادماه سال ۱۴۰۰ تهیه شد. کاربری‌های موجود در منطقه در ۷ طبقه شامل پهنه آبی، مناطق مسکونی و انسان‌ساخت، مراتع، کشاورزی، باغات و فضاهای سبز شهری، زمین‌های بایر و جاده‌ها شناسایی و تقسیم‌بندی گردید. نتایج طبقه‌بندی تصویر محدوده شهر کرج با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲. نقشه کاربری / پوشش زمین شهر کرج

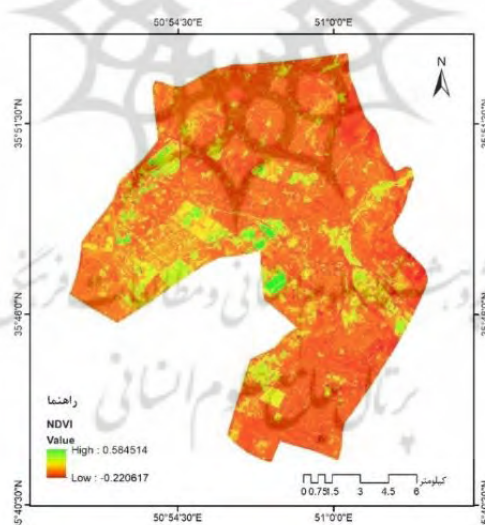
با توجه به آماره‌های استخراج‌شده (جدول ۱)، بیشترین درصد مساحت شهر کرج مربوط به کاربری مناطق مسکونی و انسان‌ساخت (۴۲/۶۷٪) و پس‌از آن مراتع و باغات و فضای سبز شهری است که به ترتیب ۲۴/۷۴ و ۱۴/۸۵ درصد از منطقه را پوشش می‌دهند. این نشان می‌دهد که مناطق مسکونی و انسان‌ساخت در شهر کرج به‌طور چشمگیری از سایر

کاربردها بیشتر و نقش مهمی در توسعه و رشد شهری ایفا می‌کند.

جدول ۱. درصد مساحت هر یک از طبقات کاربری‌های موجود در شهر کرج

طبقه	مساحت (Km ²)	درصد مساحت
پهنه آبی	۰/۰۲۶۱	۰/۰۱۱
مرتع	۵۶/۱۷۱۷	۲۴/۷۴
مناطق مسکونی و انسان‌ساخت	۹۶/۸۷۹۶	۴۲/۶۷
باغات و فضای سبز شهری	۳۳/۷۱۴	۱۴/۸۵
کشاورزی	۱۵/۱۲۹	۶/۶۶
زمین‌های بایر	۲۱/۶۱۸	۹/۵۲
جاده	۳/۵۱۱	۱/۵۵

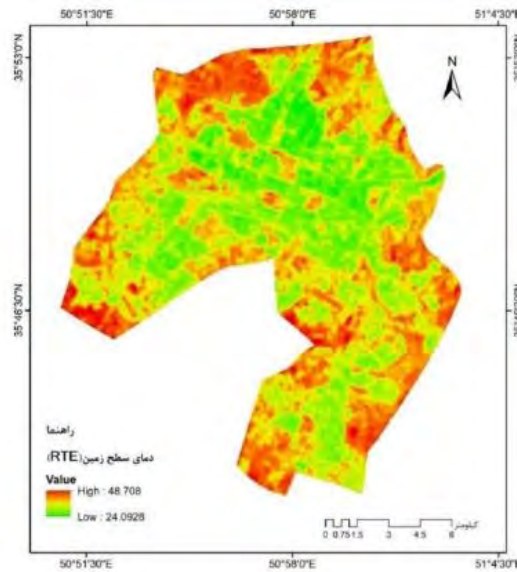
همان‌طور که ذکر گردید در پژوهش حاضر از روش محاسبه ماتریس خطا جهت ارزیابی صحت طبقه‌بندی برای تمامی تصاویر طبقه‌بندی‌شده مورداستفاده قرار گرفت و میزان دقت کل تصویر با استفاده از پارامتر Overall accuracy استخراج شد. در این پژوهش، ضریب کاپا و دقت کلی تصویر طبقه‌بندی‌شده شهر کرج برای سال ۱۴۰۰، ۹۴/۷۳۶۸٪ و ضریب کاپا ۰/۹۳۸۱ برآورد گردید که نشان‌دهنده دقت بالا و تطابق مطلوب با داده‌های واقعی زمینی است. نتایج شاخص NDVI نیز نشان داد که میزان تراکم پوشش گیاهی شهر کرج ۰/۲- تا ۰/۵۸+ است. کلاس ۰/۲ تا ۰/۵، پوشش گیاهی متراکم با مساحت ۱۸۵/۶۸ کیلومترمربع از منطقه و مقادیر بالاتر از ۰/۵ مناطق دارای پوشش گیاهی بسیار متراکم با مساحت ۴/۱۲۷ کیلومترمربع، طبقه باغات و فضای سبز شهر کرج را شامل می‌شود (شکل ۳). پوشش گیاهی نیمه متراکم در نواحی جنوب غرب و حاشیه شمال غرب شهر کرج، زمین‌های کشاورزی را نشان می‌دهد.



شکل ۳. شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده شهر کرج

نقشه دمای سطح زمین

شکل ۴ نقشه حاصل از بررسی دمای سطح زمین (LST) با روش الگوریتم انتقال تابشی (RTE) و با استفاده از نرم‌افزار منبع باز و مبتنی بر پایتون را نشان می‌دهد. دمای سطح زمین در شهر کرج بین ۲۴/۰۹ تا ۴۸/۷ درجه سانتی‌گراد است. برآورد دمای سطح زمین در شهر کرج نشان داد که هر چه از مرکز شهر به سمت حاشیه شهر پیش‌روی شود، دما نیز به میزان قابل‌توجهی افزایش پیدا می‌کند.

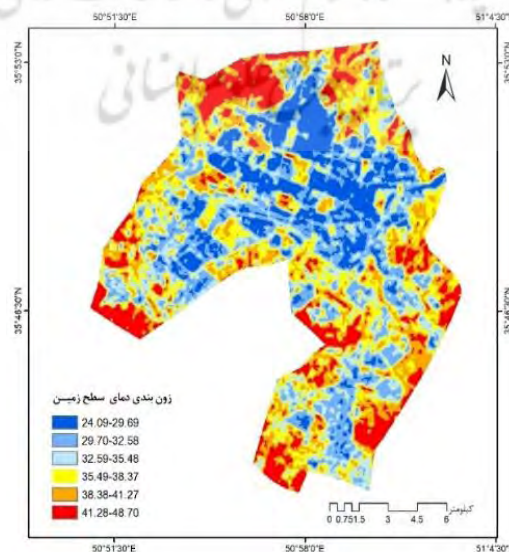


شکل ۴. نقشه دمای سطح زمین با روش الگوریتم انتقال تابشی

به‌منظور بررسی صحت نقشه دمای سطح زمین تهیه‌شده از باند ترمال تصویر لندست ۸، تفاوت مقدار پیش‌بینی‌شده و مقدار واقعی داده‌های ایستگاه هواشناسی با استفاده از روش خطای جذر میانگین مربعات محاسبه شد. در این پژوهش، مقدار خطای جذر میانگین مربعات برابر با $1/93$ به دست آمد که نشان‌دهنده کمترین اختلاف بین دمای محاسبه‌شده با دمای زمینی است.

توزیع مکانی LST در هر یک از کاربری‌ها/ پوشش زمین شهر کرج

در این پژوهش برای ارزیابی و مقایسه دمای سطح زمین در هر کاربری/ پوشش زمین، طبقات کاربری‌های مختلف انتخاب و سپس میانگین دمای سطحی پیکسل‌های متناظر با هر طبقه محاسبه شد. به این منظور دمای سطح زمین به ۶ طبقه شامل $(24/09-29/69)$ ، $(29/70-32/58)$ ، $(32/59-35/48)$ ، $(35/49-38/37)$ ، $(38/38-41/27)$ ، $(41/28-48/70)$ بر حسب درجه سانتی‌گراد تقسیم‌بندی شد (شکل ۵).



شکل ۵. نقشه طبقه‌بندی‌شده دمای سطح زمین شهر کرج (بر حسب درجه سانتی‌گراد)

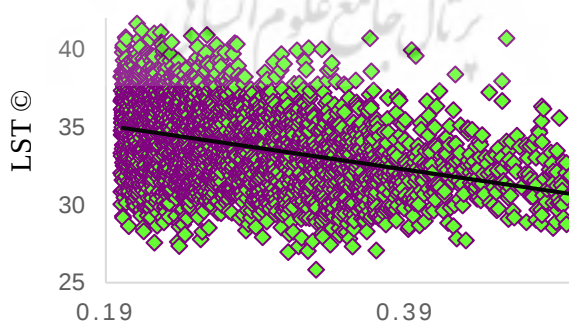
میانگین طبقات دمایی سطح زمین با استفاده از تابع Zonal statistics محاسبه و سپس با هر یک کاربری‌های مختلف سطح شهر تطابق انجام شد. بیشترین درصد کاربری‌های موجود در منطقه که کمترین میانگین دما ($30/31$ سانتی‌گراد) را نشان دادند شامل باغات و فضای سبز شهری، مناطق مسکونی و انسان‌ساخت و جاده‌ها هستند که به ترتیب $29/65$ ، $26/13$ و $31/72$ درصد از مساحت شهر کرج را تحت پوشش قرار داده‌اند. همچنین بیشترین میانگین دما مربوط به کاربری زمین‌های بایر با درصد مساحت $45/3$ است که در طبقه ۶ تقسیم‌بندی دمایی قرار گرفته است. جدول ۲ درصد مساحت هر یک از کاربری‌ها در طبقات دمایی شهر کرج را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مساحت و درصد کاربری‌ها در طبقات دمای سطح زمین شهر کرج

طبقه دمایی	میانگین دما	واحد	لکه آبی	مرتج	مناطق مسکونی و انسان‌ساخت	باغات و فضای سبز شهری	کشاورزی	اراضی بایر	جاده
۱	۲۷/۰۸	درصد مساحت (Km^2)	۱۰/۳۴ ۰/۰۰۸۷	۶/۵۰ ۱۱/۷۸	۲۳/۳۸ ۷۳/۲۸	۱۰/۶۸ ۱۱/۵۶۵	۲/۸۹ ۱/۴۱	۰/۴ ۰/۲۷	۱۳/۷۱ ۱/۵۵
۲	۳۰/۳۱	درصد مساحت (Km^2)	۵۵/۱۷ ۰/۰۳۳	۹/۶۸ ۱۲/۵۱	۲۶/۱۳ ۵۸/۳۸	۲۹/۶۵ ۲۳/۰۵	۸/۲۱ ۲/۳۳۸۶	۱/۱۵ ۰/۵۸	۳۱/۷۲ ۲/۵۷
۳	۳۳/۳۰	درصد مساحت (Km^2)	۲۷/۵۸ ۰/۰۱۷	۱/۳۷ ۱۹/۳۷	۱۹/۲۳ ۴۴/۸۸	۳۰/۸۶ ۲۵/۰۷	۱۶/۷۹ ۶/۱۱	۴/۵۳ ۲/۳۵	۲۵/۸۳ ۲/۱۸
۴	۳۶/۲۹	درصد مساحت (Km^2)	۳/۴۵ ۰/۰۰۲۰	۲۱/۹۴ ۲۸/۲۴	۱۵/۷۷ ۳۵/۱۲	۲۱/۵۳ ۱۶/۶۸	۲۹/۹۰ ۱۰/۳۸	۱۵/۹۰ ۷/۸۷	۲۰/۸۳ ۱/۶۸
۵	۳۹/۵۲	درصد مساحت (Km^2)	۳/۴۵ ۰/۰۰۰۲	۲۴/۹۱ ۳۶/۳۸	۱۱/۴۳ ۲۸/۸۸	۶/۳۴ ۵/۵۷	۲۵/۷۱ ۱۰/۱۳	۳۲/۶۷ ۱۸/۳۷	۷/۰۷ ۰/۶۴
۶	۴۳/۰۴	درصد مساحت (Km^2)	۰ ۰	۲۲/۵۸ ۴۳/۳۲	۴/۰۶ ۱۳/۴۸	۰/۹۳ ۱/۰۷	۱۶/۴۹ ۸/۵۳	۴۵/۳۱ ۳۳/۴۷	۰/۸۲ ۰/۰۹۸

همبستگی LST و شاخص NDVI به روش رگرسیون خطی

طبق نتایج، همبستگی و مقایسه شاخص NDVI و دمای سطح زمین با استفاده از روش رگرسیون خطی (شکل ۶) منفی است. به عبارتی همان‌طور که در شکل دیده می‌شود رابطه بین دمای سطح زمین و تراکم پوشش گیاهی معکوس است، به‌طوری‌که در مناطق دارای پوشش حفاظتی گیاهی متراکم‌تر، دمای سطحی کاهش پیدا کرده است.



شکل ۶. همبستگی LST و شاخص NDVI به روش رگرسیون خطی

بحث

این مطالعه با هدف تجزیه و تحلیل ویژگی‌های مکانی LST و رابطه آن با کاربری/ پوشش زمین شهر کرج برای مردادماه سال ۱۴۰۰ انجام شد. همان‌طور که ذکر گردید، دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم RTE محاسبه شد. الگوریتم RTE دقیق‌تر از الگوریتم‌های مشابه در بازیابی دمای سطح زمین است، زیرا از معادله‌های انتقال تابشی مبتنی بر فیزیک استفاده می‌کند. این روش از طریق تجزیه و تحلیل ریاضی و آزمون‌های آماری دقت معادلات را برای سیگنال‌های ماهواره تأیید می‌کند که این امر با اندازه‌گیری‌های آماری مانند خطای جذر میانگین مربعات اثبات شده است (García-Santos et al, 2018: 1450; Rongali et al, 2018: 829). پس از تهیه نقشه دمای سطح شهر کرج با استفاده از الگوریتم RTE، بررسی نقشه کاربری و پوشش زمین به منظور تعیین سهم هر کاربری بر تغییرات دمای سطح زمین نشان داد که ۴۲/۶۷ درصد مساحت شهر کرج را کاربری مناطق مسکونی و انسان‌ساخت و ۱۴/۸۵ درصد از منطقه را باغات و فضای سبز شهری شامل می‌شوند. بر این اساس کاربری مسکونی نسبت به سایر کاربری‌ها در شهر کرج به صورت قابل توجهی افزایش داشته است که این امر نقش مهمی در توسعه و رشد شهری ایفا می‌کند (مختاری و همکاران، ۱۴۰۰: ۵۳). دمای سطح زمین در این مناطق و به‌طور ویژه در محدوده شهری، کمتر از سایر کاربری‌ها است که دلیل آن وجود ساختمان‌های بلند و متراکم و پوشش گیاهی اطراف این مناطق است که با ایجاد سایه، نقش تعدیل دما را به عهده گرفته‌اند. اما این بدین معنی نیست که فضاهای سبز شهری و باغات نقشی در خنک کردن شهر ندارند، بلکه گیاهان با اثر سایه و تبخیر و تعرق بالا باعث کاهش دما می‌شوند. عزمی^۱ و همکاران (۲۰۲۱)، هاشمی^۲ و همکاران (۲۰۱۶) و ناصحی و همکاران (۱۴۰۱) در زمینه رابطه بین فرم شهری و دمای سطح زمین به این نتیجه رسیدند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، دمای کاربری‌های مناطق مسکونی و انسان‌ساخت به دلیل ارتفاع زیاد، تراکم و سایه‌اندازی می‌تواند محدوده دمایی پایین‌تری نسبت به سایر کاربری‌ها داشته باشد. نتایج مطالعات در زمینه دمای سطح زمین با توجه به تأثیرپذیری از کاربری‌ها نشان داد که در فصول گرم دمای مناطق مسکونی و انسان‌ساخت قدیمی و متراکم، پایین و به صورت جزیره برودتی است (مختاری و همکاران، ۱۴۰۰: ۵۴). در پژوهش شجاعی و همکاران (۱۳۹۸) بررسی تفاوت الگوی ارتباط دمای سطح زمین و کاربری/ پوشش زمین در دو شهر با هوای مرطوب و خشک آشکار ساخت که در آب‌وهوای خشک دمای مناطق مسکونی و انسان‌ساخت کمتر از مناطق توسعه‌نیافته است. در تحقیق حاضر، جاده‌های نواحی مرکزی شهر کرج در زون دو حرارتی (۳۰/۳۱ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند که نسبت به مناطق دیگر دمای پایین‌تری را نشان داده‌اند؛ علت این امر را می‌توان وجود کمربندهای سبز درختی در محیط‌های خیابانی دانست. طبق بررسی کوتس^۳ و همکاران (۲۰۱۶)، سایه‌اندازی درختان با قرارگیری آن‌ها در دو طرف خیابان‌های عریض (خیابان‌های مشجر) شهر ملبورن استرالیا، تأثیر مثبتی بر دما و بهبود شرایط دمایی در این شهر داشته است. نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر نشان داد که در حاشیه شهر کرج دما به نسبت مراکز شهر بالاتر است که دلیل این امر می‌تواند عدم توسعه فضای سبز در حاشیه شهر و وجود زمین‌های بدون پوشش گیاهی باشد، زیرا سطوح بدون پوشش در جذب انرژی و افزایش دمای سطح زمین تأثیرگذار هستند (Ndossi & Avdan, 2016: 413). در مطالعات تاکارا و موخرجی^۴ (۲۰۱۷) و

1. Azmi

2. Hashemi

3. Coutts

4. Mukherjee & Takara

چو^۱ و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داده شد که مناطق حاشیه شهر به دلیل عدم وجود پوشش گیاهی دمای بالاتری نسبت به مراکز شهر دارند و فضاهای سبز شهری با تبخیر و تعرق خود در کاهش دمای محیطی اثرگذار هستند.

نتیجه گیری

بر مبنای یافته‌های این پژوهش، در منطقه مورد مطالعه با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک شهر کرج، مناطق مسکونی و انسان‌ساخت متراکم و مرتفع با قابلیت سایه‌اندازی و دارای درختان سایه‌انداز و مقاوم در برابر گرما، دمای خنک‌تری نسبت به سایر کاربری‌ها داشته و فضاهای سبز موجود در نواحی مرکزی شهر نیز باعث کاهش دمای محیطی و کاهش دمای برخی از کاربری‌های مناطق مسکونی و انسان‌ساخت و عوارض اطراف خود شده‌اند. همچنین باغات و فضای سبز شهری با اثر سایه‌اندازی بیشتر و تبخیر و تعرق خود دمای خنک‌تری از اراضی کشاورزی داشته و اراضی کشاورزی نواحی مرکزی نیز دمای خنک‌تری از اراضی کشاورزی حاشیه‌ای نشان داده‌اند. علاوه بر آن، در این پژوهش مشخص گردید زمین‌های بایر بیشترین نقش را در افزایش دمای سطح زمین دارند که به صورت لکه‌های بزرگ در نواحی حاشیه شهر کرج قرار گرفته‌اند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که با تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای می‌توان اطلاعاتی درباره دمای سطح زمین و ارتباط آن با عوارض سطح زمین به دست آورد و عوامل تأثیرگذار بسیاری مانند پوشش گیاهی و کاربری / پوشش زمین را بر تغییرات دما شناسایی نمود. بر این اساس درک روابط مکانی LST و کاربری‌های مختلف می‌تواند اهمیت بالایی در مطالعات آتی و برنامه‌ریزی‌های شهری داشته باشد و ادارات و سازمان‌هایی مانند شهرداری‌ها، سازمان پارک‌ها و فضاهای سبز و یا جهاد کشاورزی و نیز طراحان منظر می‌توانند با پیش‌بینی و برنامه‌ریزی تغییرات آتی برای دستیابی به توسعه شهری پایدار در برابر تغییرات دما گام‌های مؤثر بردارند.

حامی مالی

این اثر حامی مالی ندارد.

سهم نویسندگان در پژوهش

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

منابع

- پرور، زهرا و سلمان ماهینی، عبدالرسول. (۱۴۰۱). یک برنامه کاربردی مبتنی بر پایتون برای بازیابی دمای سطح زمین (LST) از تصاویر لندست. *مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*, DOI. 10.30495/GIRS.2023.1973819.2025
- پرور، زهرا؛ محمدزاده، مرجان و سعیدی، سپیده. (۱۴۰۲). ارزیابی کمی پویایی مکانی-زمانی کاربری/پوشش زمین و دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم‌های مختلف و داده‌های لندست. *نشریه محیط‌زیست طبیعی*, ۷۶(۲), ۲۳۹-۲۴۳. DOI. 10.22059/JNE.2023.350109.2484
- شجاعی، مرضیه؛ شایسته، کامران و عطائیان، بهناز. (۱۳۹۸). تأثیر الگوهای سیمای سرزمین بر تغییرات دمای شهری در همدان. *مجله جغرافیا و پایداری محیط*, ۹(۳), ۹۹-۱۱۴. DOI. 10.22126/GES.2020.3069.1816
- عظیمی، عزیز؛ رنگزن، کاظم؛ کابلی زاده، مصطفی و خرمیان، محمد. (۱۳۹۴). برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از سنجش‌ازدور، شبکه‌های عصبی مصنوعی و مقایسه نتایج آن با روش پنمن-مانتیت-فائو در باغات مرکبات شمال خوزستان. *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در علوم منابع طبیعی)*, ۶(۴), ۶۱-۷۵.
- عیسی‌زاده، وحید؛ قنبری، ابوالفضل و ولیزاده، خلیل. (۱۴۰۰). ارزیابی شاخص‌های طیفی و استخراج عوارض ساخته‌شده و ساخته نشده شهری و مقایسه آن با دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ مطالعه موردی: شهر تهران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*, ۱۱(۴۲), ۳۹-۲۳. DOI. 10.30488/GPS.2021.243118.3283
- محمدی، علیرضا؛ خدابخنده‌لو، بهروز و بابایی، پریسا. (۱۴۰۰). ارزیابی تغییرات دمایی کاربری اراضی شهر زنجان در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ با استفاده از مقایسه الگوریتم‌های برآورد دمای سطح زمین. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*, ۱۱(۴۱), ۱۴۴-۱۲۷. DOI. 10.30488/GPS.2021.250592.3313
- مختاری، زهرا؛ برق جلوه، شهین دخت و سیاح نیا، رومینا. (۱۴۰۰). بررسی الگوی ناهمگنی محیط حرارتی شهر و ارزیابی اکولوژیک آن در منطقه شهری کرج. *جغرافیا و پایداری محیط (پژوهشنامه جغرافیایی)*, ۱۱(۴۱), ۳۷-۵۸.
- ناصری، سعید؛ یآوری، احمدرضا و صالحی، اسماعیل. (۱۴۰۱). بررسی ارتباط بین تغییرات مورفولوژی شهری با دمای سطح زمین به‌منظور مدیریت جزیره حرارتی شهری (مطالعه موردی: شهر تهران). *جغرافیا و پایداری محیط (پژوهشنامه جغرافیایی)*, ۱۲(۴۴), ۱۳۰-۱۰۷.

References

- Ali, S.K., Parvin, F., & Ahmad, A. (2023). Retrieval of Land Surface Temperature from Landsat 8 OLI and TIRS: A Comparative Analysis Between Radiative Transfer Equation-Based Method and Split-Window Algorithm. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 6, 1–21. DOI. 10.1007/s41976-022-00079-0
- Azimi, A., Rangzan, K., Kaboulizade, M., & Khoramian, M. (2016). Estimating of evapotranspiration using remote sensing, artificial neural network and comparison with the experimental method (Penman-Monteith- FAO). *RS & GIS for Natural Resources*, 6(4), 61-75. DOI. 10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:2(83) [in Persian].
- Azmi, R., Tekouabou Koumetio, C.S., Diop, E.B., & Chenal, J. (2021). Exploring the relationship between urban form and land surface temperature (LST) in a semi-arid region case study of Ben Guerir city - Morocco. *Environmental Challenges*, 5, 100229. DOI. 10.1016/j.envc.2021.100229
- Chaudhuri, G., & Mishra, N., (2016). Spatio-temporal dynamics of land cover and land surface temperature in Ganges-Brahmaputra delta: A comparative analysis between India and Bangladesh. *Applied Geography*, 68, 68-83. DOI. 10.1016/j.apgeog.2016.01.002
- Chen, A., Yao, X., & Sun, R. (2014). Effect of urban green patterns on surface urban cool islands and its seasonal variations. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(4), 646-654. DOI. 10.1016/j.ufug.2014.07.006
- Choi, H.A., Lee, W.K., & Byun, W.K. (2012). Determining the Effect of Green Spaces on Urban Heat Distribution Using Satellite Imagery. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 6(2), 127-135. DOI. 10.5572/ajae.2012.6.2.127

- Coutts, A.M., White, E., Tapper, N., Beringer, J., & Livesley, S. (2015). Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three contrasting street canyon environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 124, 55–68. DOI. [10.1007/s00704-015-1409-y](https://doi.org/10.1007/s00704-015-1409-y)
- Diaz, L., Caetano Santos, D., Suélen Käfer, P., Souza da Rocha, N., Tâmara Lemos da Costa, S., Andre Kaiser, E., & Beatriz Alves Rolim, S. (2021). Land Surface Temperature Retrieval Using High-Resolution Vertical Profiles Simulated by WRF Model. *Atmosphere*, 12, 1436. DOI. [10.3390/atmos12111436](https://doi.org/10.3390/atmos12111436)
- Feng, Y., Gao, C., Tong, X., Chen, S., Lei, Z., & Wang, J. (2019). Spatial patterns of land surface temperature and their influencing factors: A case study in Suzhou, China. *Remote Sensing*, 11(2), 182–182. DOI. <https://doi.org/10.3390/rs11020182>
- García-Santos, V., Cuxart, J., Martínez-Villagrasa, D., Jiménez, M., & Simó, G. (2018). Comparison of Three Methods for Estimating Land Surface Temperature from Landsat 8-TIRS Sensor Data. *Remote Sens*, 10(9), 1450. DOI. [10.3390/rs10091450](https://doi.org/10.3390/rs10091450)
- Guha, S., Govil, H., & Diwan, P. (2020). Monitoring LST-NDVI Relationship Using Premonsoon Landsat Datasets. *Advances in Meteorology*, 4539684, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2020/4539684>
- Haashemi, S., Weng, Q., Darvishi, A., & Alavipanah, S.K. (2016). Seasonal variations of the surface urban heat island in a semi-arid city. *Remote Sensing*, 8(4), 352-352. <https://doi.org/10.3390/rs8040352>
- Halima, G., Imen, G., & Djamel, A. (2020). Quantifying the effects of spatial patterns of green spaces on urban climate and urban heat island in a semi-arid climate. *Bulletin de la Societe Royale des Sciences de Liege*, 89(1), 164-185. DOI. [10.25518/0037-9565.9821](https://doi.org/10.25518/0037-9565.9821)
- Hussain, S., & Karuppannan, S. (2021). Land use/land cover changes and their impact on land surface temperature using remote sensing technique in district Khanewal, Punjab Pakistan. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 7, 46-58. DOI. [10.1080/24749508.2021.1923272](https://doi.org/10.1080/24749508.2021.1923272)
- Isaya Ndossi, M., & Avdan, U. (2016). Application of Open Source Coding Technologies in the Production of Land Surface Temperature (LST) Maps from Landsat: A PyQGIS Plugin. *Remote Sensing*, 8(5), 413. DOI. [10.3390/rs8050413](https://doi.org/10.3390/rs8050413)
- Isazade, V., ghanbari, A., & Valizadeh, Kh. (2022). Evaluation of spectral indices and extraction of constructed and non-constructed urban features and its comparison with ground surface temperature using Landsat 7 and 8 satellite images (Study area, Tehran). *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 11(42), 23-39. DOI. [10.30488/GPS.2021.243118.3283](https://doi.org/10.30488/GPS.2021.243118.3283). [in persian]
- Jiang, Y., & Lin, W. (2021). A Comparative Analysis of Retrieval Algorithms of Land Surface Temperature from Landsat-8 Data: A Case Study of Shanghai, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 5659. DOI. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115659>
- Jimenez-Munoz, J.C., Sobrino, J.A., Skokovic, D., Mattar, C., & Cristobal, J. (2014). Land surface temperature retrieval methods from landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geosci. Remote Sens Lett*, 11, 1840–1843. DOI. [10.1109/LGRS.2014.2312032](https://doi.org/10.1109/LGRS.2014.2312032)
- Lu, L., Weng, Q., Xiao, D., Guo, H., Li, Q., & Hui, W. (2020). Spatiotemporal Variation of Surface Urban Heat Islands in Relation to Land Cover Composition and Configuration: A Multi-Scale Case Study of Xi'an, China. *Remote sensing*, 12, 2713. DOI. [10.3390/rs12172713](https://doi.org/10.3390/rs12172713)
- Mohammadi, A., Khodabandehlou, B., & Babaie, P. (2021). Geographical Planning of Space Quarterly Journal, 11(41), 127-144. DOI. [10.30488/GPS.2021.250592.3313](https://doi.org/10.30488/GPS.2021.250592.3313). [in persian]
- Mokhtari, Z., Barghjelveh, S., & Sayahnia, R. (2021). Heterogeneity of the Thermal Environment and its Ecological Evaluation in the Urban Region of Karaj. *Geography and Sustainability of Environment*, 11 (4), 37-58. DOI. [10.22126/GES.2021.6654.2418](https://doi.org/10.22126/GES.2021.6654.2418). [in persian]
- Mukherjee, M., & Takara, K. (2018). Urban green space as a countermeasure to increasing urban risk and the UGS-3CC resilience framework. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 854-861. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.01.027>
- Nasehi, S., Yavari, A., & Salehi, E. (2022). The Investigation of the Relationship between Urban Morphology Changes and Land Surface Temperature for Urban Heat Island Management (A Case Study: Tehran). *Geography and Environmental Sustainability*, 12 (3), 107-130. DOI. [10.22126/GES.2022.7625.2517](https://doi.org/10.22126/GES.2022.7625.2517). [in persian]
- Nasiri, A., Zandi, R., & Khosravian, M. (2022). Evaluating Urban Heat Islands Using the Urban Viability Index (Case Study: Karaj Metropolis). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50, 833-847. DOI. [10.1007/s12524-021-01489-1](https://doi.org/10.1007/s12524-021-01489-1)
- National Meteorological Organization. (nd). Meteorology data. <https://data.irimo.ir/withoutlogin/index.aspx>.
- National portal of statistics. (nd). Statistical yearbook of Alborz province. <https://www.amar.org.ir/Portals/0/PropertyAgent/3909/Files/95-30-02.pdf>.

- Parvar, Z., & SalmanMahini, A.R. (2023). A python-based application for retrieving Land Surface Temperature (LST) from landsat imagery. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, in Press. DOI. [10.21203/rs.3.rs-3797118/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3797118/v1). [in persian]
- Parvar, Z., Mohammadzadeh, M., & Saeidi, S. (2023). Quantitative assessment of spatio-temporal dynamics of land use/land cover and land surface temperature using different algorithms and landsat imagery. *Journal of Natural Environment*, 76 (2), 229-243. DOI. [10.22059/JNE.2023.350109.2484](https://doi.org/10.22059/JNE.2023.350109.2484). [in persian]
- Rongali, G., Keshari, A.K., Gosain, A., & Khosa, R. (2018). A mono-window algorithm for land surface temperature estimation from landsat 8 thermal infrared sensor data. Conference: A Case Study of the Beas River Basin, India. *Pertanika J. Sci. & Technol*, 26 (2), 829 – 840. DOI. [10.1007/s41651-018-0021-y/](https://doi.org/10.1007/s41651-018-0021-y/).
- Rwanga., S., & Ndambuki, J. (2017). Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. *Scientific Research Publishing*, 8, 611-622. DOI. [10.4236/ijg.2017.84033](https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84033).
- Shojaei, M., Shayesteh, K., & Attaeian, B. (2019). The Effect of Landscape Pattern on Urban Temperature Changes in Hamadan. *Geography and Sustainability of Environment*, 9(3), 99- 114. DOI. [10.22126/GES.2020.3069.1816](https://doi.org/10.22126/GES.2020.3069.1816). [In Persian]
- United States Geological Survey. (n d). *Earth Explorer*. <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

