Vol.14, No.2, Summer 2025, p.122-144 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2025.88391.1492 OPEN ACCESS

Calculating the Urban Thermal Field Variance Index and Classifying Thermal Comfort Based on Land Surface Temperature (Case Study: Sari City)

Kaka Shahedi [1*], Arman Kiani [1], Salah Mohammadi Sarvaleh [1]

[1] Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 14 June 2024

Revised: 29 December 2024

Accepted: 15 January 2025

Available Online: 16 January 2025

Keywords:

Land Surface Temperature(LST)

Urban Heat Island (UHI)

Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI)

Thermal Comfort Zoning

Remote Sensing

ABSTRACT

Given the significance of urban heat islands, this study examines Sari City's thermal comfort classification and the Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI). After obtaining eleven years of Landsat 8 satellite imagery, the urban area's thermal variance index was extracted based on land surface temperature (LST) and mean temperature, and thermal comfort was classified accordingly. The results showed that the lowest recorded average surface temperature in Sari City was 30.1 °C on August 8, 2013, while the highest recorded average temperature was 40.62 °C on July 12, 2018. Therefore, it can be seen that areas with residential and commercial buildings and artificial surfaces exhibit the highest temperatures. At the pixel level, the lowest Urban Thermal Field Variance Index was 0.352 on August 1, 2022, while the highest value was 0.122 on August 7, 2016. The greatest extent of thermal comfort, covering 58.49% of the area, was recorded on July 10, 2023, for the excellent, good, and normal comfort classes. The lowest comfort level, covering 50.39% of the area, was recorded on August 8, 2023. On August 8, 2013, the bad, worse, and worst thermal comfort classes covered the largest area (49.61%), while on July 10, 2023, they covered the smallest area (41.51%). Based on these results, it can be concluded that the central areas of Sari and other parts of the city with limited green cover or unplanned construction conducted without regard to urban life standards fall into the lower comfort categories.

* Corresponding author: Kaka Shahedi E-mail address: k.shahedi@sanru.ac.ir

How to cite this article: Shahedi, K., Kiani, A., & Mohammadi Sarvaleh, S. (2025). Calculating the Urban Thermal Field Variance Index and Classifying Thermal Comfort based on Land Surface Temperature (Case Study: Sari City). *Journal of Geography and Environmental Hazards, 14*(2), 122-144. https://doi.org/10.22067/geoeh.2025.88391.1492

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Due to the fact that many people live in urban areas, it is critical to consider urban temperature when making decisions regarding urban management. Urban heat islands are a phenomenon caused by changes in the thermal energy balance of urban areas as a result of burning fossil fuels, high vehicle density, expanding impermeable surfaces, and a lack of proper vegetation cover. Therefore, it is essential to monitor land surface temperature (LST) and categorize it quantitatively and qualitatively using standard indices to measure thermal comfort. The Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI), which is used to categorize LST in terms of thermal satisfaction in urban contexts, is one such criterion.

Material and Method

In this research, Landsat 8 satellite images of Sari City for 11 summer seasons (2013–2023) were downloaded from the USGS website. Then, ENVI 5.3 software was used to preprocess the images (geometric and radiometric corrections). Segment-by-segment calculations of spectral radiance, black body temperature, NDVI, and vegetation cover were carried out using the digitized data of each image and the urban area map. The land surface temperature and emissivity were estimated using the split-window approach. The Urban Thermal Field Variance Index was evaluated using ArcGIS 10.5 software, which took into account the LST of each pixel as well as the average LST of all pixels. A zoning map of this index was then created in six classes (excellent, good, normal, bad, worse, and worst) using the UTFVI.

Results and Discussion

The results showed a negative correlation between temperature and vegetation cover. The lowest recorded average surface temperature in Sari City was 30.1 °C on August 8, 2013, while the highest recorded average temperature was 40.62 °C on July 12, 2018. At the pixel scale, the lowest UTFVI was –0.352 on August 1, 2022, while the highest value was 0.122 on August 7, 2016. However, the average of this index over all years was nearly zero.

The highest level of thermal comfort, covering 58.49% of the area, was recorded on July 10, 2023, for the excellent, good, and normal classes; and the lowest level, covering 50.39% of the area, was recorded on August 8, 2023. On August 8, 2013, the bad, worse, and worst thermal comfort classes covered the largest area (49.61%), while on July 10, 2023, they covered the smallest area (41.51%).

Considering the overall upward temperature trend over the study period, it may seem paradoxical that thermal comfort zones in the normal, good, and excellent classes have expanded over the 11 years. This contradiction lies in the structure of the UTFVI equation. The average LST of the urban area and the pixel-level LST are the two key parameters in this index. Thermal comfort is classified as excellent, good, or normal when the pixel-level LST is lower than the urban average. Conversely, if pixel-level LST exceeds the urban average, thermal comfort falls into the bad, worse, or worst categories. As the difference between pixel-level and average LST increases, thermal comfort shifts from normal to worst.

Conclusion

Thermal comfort, heat islands, and variations in land surface temperature are all significant indicators for evaluating the sustainability of the urban environment. Given the general trend of rising urban temperatures and climate change, attention must be given to construction practices, land-use changes, and the development of green spaces such as parks and gardens—all of which can significantly reduce LST.

Other factors affecting temperature variation in urban areas include cloud cover, solar radiation intensity, vehicle density, refrigeration and air conditioning systems, and electric energy consumption. Addressing these elements within the context of urban management is key to achieving sustainable urban development.

Acknowledgements

This study was supported by funding from Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. We are grateful to all the scientific advisors who contributed to this research.

جلد ۱۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۱۴۴-۱۲۲ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2025.88391.1492 دسترسی آزاد

برآورد شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری و طبقه‌بندی آسایش حرارتی با استفاده از دمای سطح زمین (مطالعه موردی: شهر ساری)

کاکا شاهدی[۱*]، آرمان کیانی[۱]، صلاح محمدی سروآله[۱]

[۱] گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۶

کلمات کلیدی:

دمای سطح زمین (LST)

جزیره گرمایی شهری (UHI)

شاخص واریانس میدان حرارتی شهری (UTFVI)

زون‌بندی آسایش حرارتی

سنجش از دور

چکیده

با توجه به اهمیت جزایر حرارتی شهری، در این پژوهش شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری و طبقه‌بندی آسایش حرارتی در شهر ساری مورد مطالعه قرار گرفت. پس از اخذ تصاویر ماهواره لندست ۸ برای ۱۱ سال، شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری براساس دمای سطح زمین و میانگین دما استخراج، و آسایش حرارتی براساس آن طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد میانگین دمای سطح زمین شهر ساری، در تاریخ ۱۷ مرداد ۱۳۹۲ دارای کمترین میزان یعنی ۳۰/۱ درجه سلسیوس و بیشترین میانگین دما در ۲۱ تیر ۱۳۹۷ به میزان ۴۰/۶۲ درجه سلسیوس می‌باشد. بنابراین می‌توان دریافت که، مناطق دارای ساختمان‌های مسکونی و تجاری و پوشش‌های مصنوعی بیشترین دما را دارا می‌باشند. کمترین میزان شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری در سطح پیکسل در ۱۰ مرداد ماه ۱۴۰۱ برابر با ۰/۳۵۲- و بیشترین مقدار آن در ۱۷ مرداد ۱۳۹۵ به مقدار ۰/۱۲۲ محاسبه شد. طبقه عالی، خوب و نرمال آسایش حرارتی در ۱۹ تیر ۱۴۰۲ دارای بیشترین پهنه به میزان ۵۸/۴۹ درصد مساحت و کمترین میزان آن در ۱۷ مرداد ۱۳۹۲ یعنی ۵۰/۳۹ درصد مساحت را دارا می‌باشد. طبقه بد، بدتر و بدترین آسایش حرارتی در ۱۷ مرداد ۱۳۹۲ دارای بیشترین پهنه به میزان ۴۹/۶۱ درصد مساحت و کمترین میزان آن در ۱۹ تیر ۱۴۰۲ به میزان ۴۱/۵۱ درصد را شامل می‌شود. براساس این نتایج می‌توان دریافت که، مناطق مرکزی شهر ساری و دیگر مناطقی از شهر که پوشش سبز کمتری دارند یا در آن‌ها ساخت و سازهای غیراصولی بدون توجه به الگوهای زیست شهری انجام گرفته در طبقه پایینی از آسایش قرار می گیرند.

* نویسنده مسئول: دکتر کاکا شاهدی E-mail: k.shahedi@sanru.ac.ir

مقدمه

در طول سه دهه آینده، پیش‌بینی می‌شود که مناطق شهری، بیش از ۷۰ درصد جمعیت جهان را در خود جای دهند (Al Rakib et al., 2021). تغییرات اقلیمی در شهرها براساس دو عامل متمایز به وجود می‌آید: عامل اول در مقیاس کل کره زمین و عامل دیگری در مقیاس شهری و منطقه‌ای می‌باشد (Walsh et al., 2014). جایگزینی مواد و مصالح ساختمانی مانند بتن و آسفالت در توسعه شهری به جای درختان و دیگر پوشش طبیعی، میزان جذب و ذخیره انرژی حرارتی را در شهرها نسبت به مناطق روستایی افزایش می‌دهد (Pouramin, Khatami & Shamsodini, 2020) بنابراین محدوده‌های شهری دارای بیلان انرژی و آبی متفاوتی در قیاس با نواحی غیر شهری هستند (Esmaeeli, 2022). برای داشتن شهری با توانایی زیست پذیری بالا باید مسائلی مانند عوامل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی را در نظر گرفت. در میان این عوامل، بعد محیط زیستی مهم‌تر از سایر عوامل است (Aghdar, Shayesteh, Mohammadyari & Rangzan, 2020). از آنجایی که فضای سبز و دمای سطح زمین[1] از پارامترهای محیط زیست شهری محسوب می‌شوند (Esmaeeli, 2022)، مطالعات تغییرات زمانی پوشش گیاهی و درجه حرارت در مناطق شهری به عنوان شاخص نشان دهنده شرایط زیست محیطی حاکم بر آن از اهمیت خاصی برخوردار است (Aghdar et al., 2020). تغییرات زیاد کاربری و پوشش اراضی سبب ایجاد جزایر حرارتی در شهرها گشته است (Mansourmoghaddam et al., 2023). جزایرحرارتی شهری در یک محدوده شهری با دمای بالاتر از مناطق اطراف آن شناخته می‌شود (Jumari et al., 2023). عوامل مهمی مانند رطوبت نسبی مورد نیاز برای تبخیر و تعرق، تغییرات در شار تابشی، جریان‌های نزدیک به سطح زمین و انتشار گرمای انسان ساز نیز در تشکیل و تشدید جزیره حرارتی شهری مؤثر می‌باشند (Khosravi, Heidari, Tavakoli & Zamani, 2017). از سوی دیگر شهر به دلیل وجود ذرات معلق، کمتر از نواحی روستایی آفتاب دریافت می‌کند و با این حال گرم‌تر از نواحی روستایی مجاور است. زیرا محیط شهر، هم به علت تولید حرارت بیشتر ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و هم به علت وجود سطوح نفوذ ناپذیر و ساختمان‌های بلند به عنوان جمع کننده حرارت عمل کرده و جزیره حرارت شهری بر روی شهر تشکیل می‌شود (Niliyeh Brojeni & Ahmadi Nadoushan, 2019). برآورد دمای سطح زمین یکی از موضوعات مهم مطالعات محیطی و فعالیت های مدیریت شهری محسوب می‌شود (Sobrino, Jimenez & Paolinib, 2004). روش‌های سنتی برآورد دمای سطح مثل ایستگاه‌های هواشناسی و دیگر دیده‌بانی‌های بخش‌های خصوصی و عمومی برای همه انواع شرایط زمینی امکان ناپذیر و زمان‌بر هستند (Niliyeh Brojeni & Ahmadi Nadoushan, 2019). لذا علم سنجش از دور یکی از بهترین ابزار برای مشخص نمودن این پدیده و برطرف نمودن مشکلات ناشی از روش اندازه‌گیری زمینی می‌باشد (Khedmatzadeh, Mousavi, Mohamadi Torkamani & Mohammadi, 2021). امروزه سنجش از دور ماهواره‌ای می‌تواند امکان بررسی دمای سطح زمین را فراهم آورد و به درک جریان‌های انرژی در منطقه‌های شهری کمک کند (Niliyeh Brojeni & Ahmadi Nadoushan, 2019). الگوریتم‌های بسیاری به وسیله محققان برای محاسبه دمای سطح زمین مانند پنجره مجزا، ثابت پلانک، زاویه دوتایی و غیره ارائه شده‌اند، که کارشناسان و برنامه‌ریزان را تا حد زیادی در مدیریت و زیست شهری کمک می‌کند. دمای سطح زمین، لازم است توصیفی کمی و کیفی از پایداری دمای محیط نسبت به دمای سطح زمین و جزایر حرارتی را ارائه دهد (Tomlinson, Chapman, Thornes & Baker, 2011). این مهم با استفاده از شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری[2] انجام می‌پذیرد، در واقع این شاخص پهنه‌های آسایش حرارتی را براساس رضایت از دما در مناطق شهری مورد بررسی و طبقه‌بندی قرار می‌دهد (Wang, Zhang, Tsou & Li, 2017).

برآورد دمای سطح زمین در محدوده‌های شهری با استفاده از تصاویر لندست ۷ و ۸ توسط نرم افزارهای کاربردی ENVI و Arc GIS در مناطق مختلفی از شهرهای جهان توسط محققان گوناگونی مورد بررسی قرار گرفته است، به طوریکه، اکثر این مطالعات تغییرات دمای سطحی در مناطق شهری را با شاخص پوشش گیاهی و کاربری اراضی مرتبط می‌دانند، که بیان کننده یک رابطه

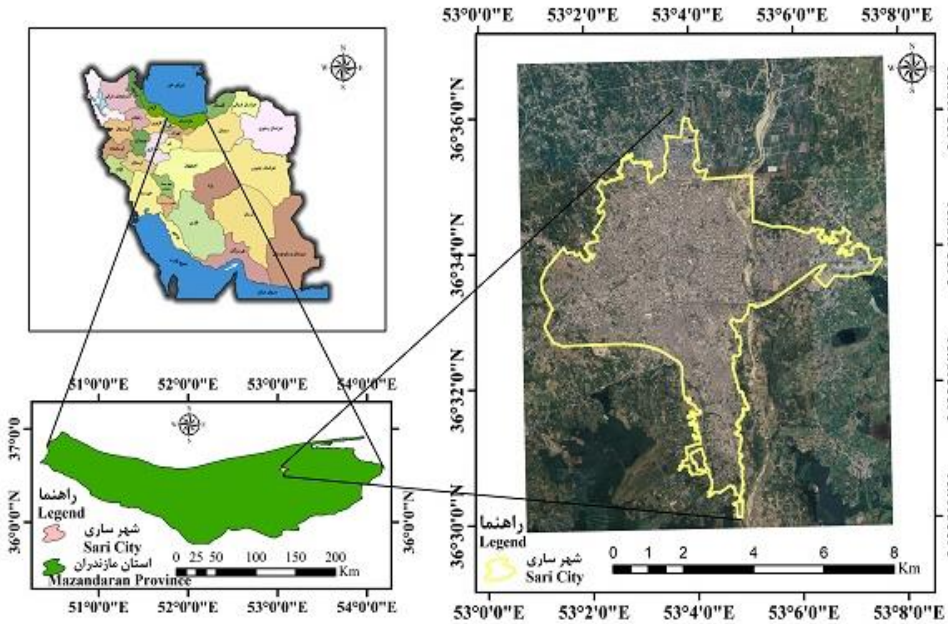
1- Land Surface Temperature (LST)
2- Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI)

معکوس، بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی است. لذا افزایش توده گیاهی را عامل کاهش دمای سطح زمین در مناطق شهری بیان می‌کنند و همچنین توسعه مناطق شهری را عامل بالا رفتن دما در این مناطق می‌دانند (Khedmatzadeh et al., 2021; Asghari Sarasekanrood & Asadi, 2021; Marcel & Villot, 2021; Esmaeeli, 2022; Moazzam, Doh & Lee, 2022; Azimi, Akbari & Armin, 2023; Jumari et al., 2023). در شماری از این مطالعات علاوه بر موثر دانستن عامل شاخص پوشش گیاهی و کاربری اراضی، عوامل دیگر و متنوعی چون عوامل ژئومورفولوژیکی (ارتفاع، شیب و غیره) و اقلیمی (باد، تبادلات جوی) را مؤثر بر تغییرات دمای سطح زمین می‌دانند (Khedmatzadeh et al, 2021; Asghari Sarasekanrood & Asadi, 2021; Esmaeeli, 2022; Jumari et al, 2023). همچنین در بعضی از پژوهش‌ها بیان شد که دمای سطح زمین در چندین روز از سال به تنهایی نمی‌تواند نگرش کلی و منطقی برای مدیران و برنامه‌ریزان فراهم کند (Marcel & Villot, 2021; Moazzam et al., 2022; Azimi et al., 2023). بعضی از پژوهشگران در تحقیقات خود نیز با استفاده از دمای سطح زمین اقدام به برآورد شاخص واریانس حرارتی محدوده‌های شهری کرده و ترسیم پهنه آسایش حرارتی در ۶ طبقه عالی، خوب، نرمال، بد، بدتر و بدترین انجام دادند. آن‌ها دریافتند این طبقه‌بندی کیفی به سبب راحتی در ارائه نتایج و تفسیر و تحلیل تا حد زیادی می‌تواند برای مدیران قابل درک و متقاعد کننده‌تر باشد (Ahmed, 2018; Kafy et al., 2021; Sejati, Buchori & Rudiarto, 2022; Kikon, Kumar & Ahmed, 2023; Jumari et al., 2023).

بنابراین در این پژوهش، یکی از مباحث زیست شهری یعنی جزایر حرارتی و آسایش حرارتی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ در شهر ساری، برای یک دوره زمانی ۱۱ ساله در فصل تابستان مورد مطالعه قرار می‌گیرد. شهر ساری یکی از شهرهای ایران است که رشد و توسعه سریع و شتاب زده آن طی دهه‌های اخیر به علت رشد جمعیت، مهاجرت سریع، سیاست‌های زمین شهری (Nikpour & Yarahmadi, 2023) تغییر سبک زندگی و افزایش رفاه عمومی داشته است، از سوی دیگر نتایج مطالعات متعدد بیانگر تغییر متوسط دما در محیط شهری می‌باشد (Kikon et al., 2023).

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش شهر ساری در استان مازندران به وسعت ۳۵۱۴ هکتار که در موقعیت جغرافیایی ″۰۹ ′۰۱°۵۳ تا ″۳۶ ′۰۷°۵۳ طول شرقی و ″۰۲ ′۳۰°۳۶ تا ″۵۷ ′۳۵°۳۶ عرض شمالی قرار دارد، به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید (شکل ۱). میانگین بارش سالانه ساری برابر ۷۸۹ میلی‌متر (Shahinejad & Dehghani, 2016)، میانگین دمای هوا ۱۷/۲درجه سلسیوس و ارتفاع متوسط از سطح دریا برابر ۳۲ متر می‌باشد (Kamyabi & Abdi, 2016). این شهر در تمامی دوره‌های سرشماری پر جمعیت‌ترین شهر استان مازندران بوده است. در سال ۱۳۳۵ این شهر ۲۶۲۷۸ نفر جمعیت داشته که این رقم در سال ۱۳۹۵ به ۳۲۵۷۸۷ نفر رسیده است (Nikpour & Yarahmadi, 2023).



شکل ۱- موقعیت شهر ساری در ایران و استان مازندران

Fig.1. Location of Sari city in Iran and Mazandaran province

مواد و روش‌ها

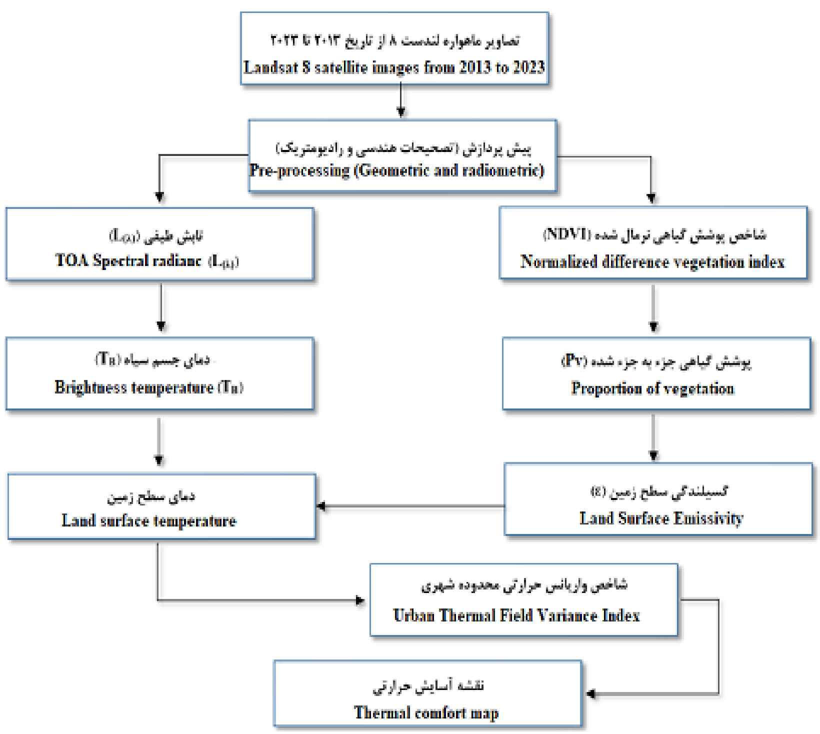
در این پژوهش، ابتدا تصاویر ماهواره لندست ۸ برای ۱۱ سال بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ در فصل تابستان از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا[1] اخذ گردید (جدول۱). سپس با استفاده از نرم افزار ENVI 5.3 با استفاده از ۱۵ نقطه زمینی هندسه تصاویر برای اعمال تصحیحات هندسی مورد ارزیابی قرار گرفت با توجه به آنکه خطای آن مقادیر تقریبا ناچیزی می‌باشد، لذا از آن چشم پوشی گردید. تصحیح اتمسفری فلش در راستای تصحیحات رادیومتریک انجام پذیرفت. براساس مقادیر رقومی هر تصویر پارامترهایی چون تابش طیفی، دمای جسم سیاه، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده و پوشش گیاهی جزء به جزء شده در محدوده شهری برش داده شده برآورد می‌گردد. بعد از آن گسیل‌مندی سطح زمین و دمای سطح زمین نیز براساس الگوریتم تابع پلانک در باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ محاسبه خواهد شد. با استفاده از دمای سطح زمین مربوط به هر پیکسل و میانگین دمای سطح زمین کل پیکسل‌ها با استفاده از نرم افزار Arc GIS 10.5 شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری به صورت کمی برآورد شده و با استفاده از جدول طبقه‌بندی مربوطه آن نقشه پهنه کیفی این شاخص در ۶ طبقه ترسیم می‌شود (شکل۲).

1- http://earthexplorer.usgs.gov

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده برای شهر ساری

Table 1- Specifications of satellite images obtained for the Sari city

شماره Number	تاریخ Calendar	ردیف Row	گذر Path	خطا هندسی Geometric error
1	17 مرداد 1392 (August 8, 2013)	35	163	0.02
2	10 مرداد 1393 (August 2, 2014)	34	164	0.02
3	14 مرداد 1394 (August 5, 2015)	34	164	0.05
4	17 مرداد 1395 (August 7, 2016)	34	164	0.02
5	19 مرداد 1396 (August 10, 2017)	35	164	0.01
6	21 تیر 1397 (July 12, 2018)	34	164	0.04
7	9 مرداد 1398 (July 31, 2019)	35	164	0.05
8	21 مرداد 1399 (August 11, 2020)	35	163	0.02
9	14 مرداد 1400 (August 5, 2021)	34	164	0.03
10	10 مرداد 1401 (August 1, 2022)	35	163	0.03
11	19 تیر 1402 (July 10, 2023)	34	164	0.03



شکل ۲- مراحل محاسبه دمای سطح زمین و شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری برای آسایش حرارتی

Fig.2. Steps to calculate land surface temperature and urban area thermal variance index for thermal comfort

تبدیل عدد رقومی[1] به تابش طیفی

برای استخراج دمای سطوح در ماهواره لندست ۸ اولین اقدام تبدیل عدد رقومی به تابش طیفی است. این الگوریتم ارزش رقومی تصویر خام را به تابش طیفی تبدیل می‌کند، که براساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Jumari et al., 2023):

$$L_{(\lambda)} = M_L \times Q_{cal} + A_{(L)} \quad (۱)$$

$L_{(\lambda)}$ رادیانس طیفی لایه بالای اتمسفر یا باندها ($Wm^{-2}\ sr^{-1}\mu m^{-1}$)، $M_{(L)}$ عامل مقیاس‌سازی ضربی باند، $A_{(L)}$ عامل مقیاس سازی جمعی باند و $Q_{(cal)}$ ارزش رقومی باند می‌باشد. مقادیر $M_{(L)}$ و $A_{(L)}$ از فایل مرجع تصویر استخراج می‌گردند.

تبدیل رادیانس طیفی به دمای جسم سیاه

داده‌های باند حرارتی با استفاده از رابطه پلانک، از تابش طیفی به دمای جسم سیاه (BT) که در آن توان تشعشعی یک (حداکثر توان تشعشعی) فرض می شود، تبدیل می شود (Hashemi, Alavipanah & Dinarvandi, 2013). سپس دمای موثر در ماهواره به صورت رابطه (۲) برآورد می‌گردد (Avdan & Jovanovska, 2016):

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad (۲)$$

که BT دمای مؤثر ماهواره بر حسب کلوین، K_1 ثابت کالیبراسیون اول معادله یعنی ۷۷۴/۸۹ بر حسب ($Wm^{-2}\ sr^{-1}\mu m^{-1}$)، K_2 ثابت کالیبراسیون دوم معادل یعنی ۱۳۲۱/۰۸ بر حسب ($Wm^{-2}\ sr^{-1}\mu m^{-1}$)، $L_{(\lambda)}$ رادیانس پیکسل مورد نظر بر حسب ($Wm^{-2}\ sr^{-1}\mu m^{-1}$) می‌باشد.

شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده[2] و پوشش گیاهی جزء به جزء شده(P_V)

پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، برای بررسی تراکم و میزان پوشش گیاهی از طریق نسبت‌گیری باندی بین باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز براساس رابطه (۳) انجام می‌پذیرد. مقادیر این شاخص بین اعداد ۱- تا ۱+ متغیر می‌باشد، که مقادیر عددی بالا نشان دهنده وجود پوشش گیاهی سالم و انبوه و مقادیر عددی کوچک و منفی نشان دهنده پوشش گیاهی تنک، فقیر یا بدون پوشش گیاهی می‌باشد.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (۳)$$

حال با استفاده از پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، پوشش گیاهی جزء به جزء منطقه که نشان دهنده نسبتی از مناطق دارای پوشش گیاهی است برآورد می‌گردد (Mahmoudzadeh, Naghdbishi & Momeni, 2018) پوشش گیاهی سبز جزء به جزء شده با استفاده از رابطه (۴) برآورد می‌گردد (Jumari et al., 2023):

$$P_V = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}\right)^2 \quad (۴)$$

1- Digital Number (DN)

2 - Normalized difference vegetation index (NDVI)

گسیل‌مندی سطح زمین

نسبت بین گسیلش از یک شیء یا عارضه به گسیلش از جسمی سیاه در دمای ثابت را گسیل مندی می‌گویند. گسیلندگی سطح زمین معیاری از ویژگی‌های ذاتی سطح خاک و توانایی آن برای تبدیل انرژی حرارتی یا گرمایی به انرژی تشعشعی است (Azimi et al., 2023). یکی از روش‌های مؤثر برای تخمین گسیل مندی سطح زمین، مدل ترکیبی درصد پوشش زمین است، با این فرض که خاک لخت و پوشش گیاهی مقدار گسیلمندی مشخصی دارند (Shakiba, Firoozabadi, Ashourloo & Namdari, 2009) گسیلندگی سطح زمین (ε) با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$\varepsilon = mP_v + n \tag{۵}$$

در رابطه بالا P_V پوشش گیاهی جزء به جزء است که در رابطه (۴) برآورد شده و مقدار m و n به وسیله روابط (۶) و (۷) تعیین می‌شوند:

$$m = \varepsilon_v - \varepsilon_s - (1 - \varepsilon_s)F\varepsilon_v \tag{۶}$$

$$n = \varepsilon_S + (1 - \varepsilon_S)F\varepsilon_v \tag{۷}$$

در روابط بالا ε_v گسیل‌مندی پوشش گیاهی به طور معمول برابر ۰/۹۹ و ε_s گسیل‌مندی خاک براساس کتابخانه طیفی ماهواره استر برابر ۰/۹۷ می‌باشد (Sobrino et al., 2004)، F ضریب شکل می‌باشد (Sobrino, Caselles & Becker, 1990) که عمدتاً مقدار ثابت آن ۰/۵۵ می‌باشد.

محاسبه دمای سطح زمین

دمای سطح زمین به صورت رابطه (۸) برآورد می‌گردد (Jumari et al., 2023):

$$LST = \frac{BT}{\left\{1 + \left[\left(\frac{\lambda BT}{\rho}\right) ln\varepsilon\right]\right\}} - 273.15 \tag{۸}$$

در رابطه بالا LST دما بر حسب درجه سلسیوس، λ طول موج رادیانس بر حسب متر و ρ ضریب ثابت می‌باشد که از رابطه $\rho=hck^{-1}$ به دست می آید که h ثابت پلانک یعنی مقدار $۶/۶۲۶×۱۰^{-۳۴}$ ژول ثانیه، c سرعت نور برابر $۲/۹۹۸×۱۰^{۴}$ متر بر ثانیه و k ثابت استفان- بولتزمن $۱/۳۸×۱۰^{-۲۳}$ ژول بر کلوین می باشد.

شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری

شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری یک معیار کمی است که وجود آسایش حرارتی در محیط را برای تعیین وضعیت محیط و شرایط سلامت شهری ارزیابی می‌کند. این شاخص بازگو کننده محدوده‌ای است که افراد در محیط اطراف خود احساس راحتی بیشتری می‌کنند. همچنین به مسئولان شهری این امکان را می‌دهد که خطرات ناشی از گسترش جزایر حرارتی شهری را شناخته و راهکارهایی برای کاهش دمای مناطق شهری پیشنهاد نمایند (Kafy et al., 2021). رابطه (۹) به عنوان پایه و اساس محاسبه شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری عمل می‌کند (Jumari et al., 2023) و براساس دمای سطح زمین برآورد می‌گردد (Kikon et al., 2023):

$$UTFVI = \frac{LST - LST_{mean}}{LST_{mean}} \quad (۹)$$

که طبقه‌بندی آن به صورت بیان آسایش حرارتی در شش طبقه مجزا با هدف آشکارسازی سطوح کیفی و ارائه الگوهای شرایط محیطی در محدوده شهرها بیان می‌شود (جدول۲) (Guha, Govil, Dey & Gill, 2018).

جدول ۲- طبقه بندی آسایش حرارتی بر مبنای شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری (Guha et al, 2018)

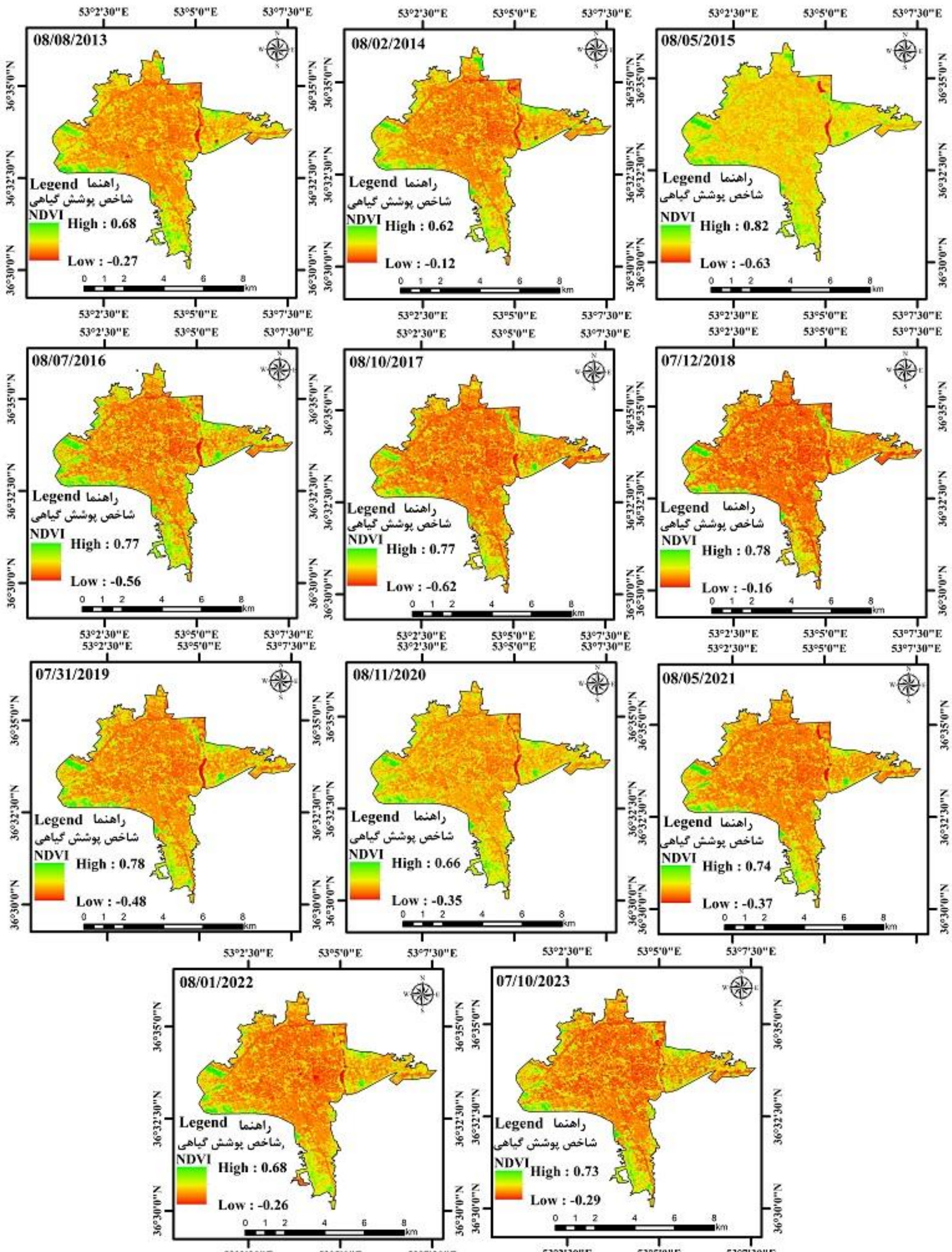
Table 2-Thermal comfort classification based on the urban thermal field variance index

شماره **Number**	شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری **Urban thermal field variance index**	طبقه آسایش حرارتی **Thermal comfort classification**
1	< 0.0	عالی (Very good)
2	0.000 – 0.005	خوب (Good)
3	0.005 – 0.010	نرمال (Normal)
4	0.010 – 0.015	بد (Bad)
5	0.015 – 0.020	بدتر (Worse)
6	> 0.020	بدترین (Worst)

نتایج و بحث

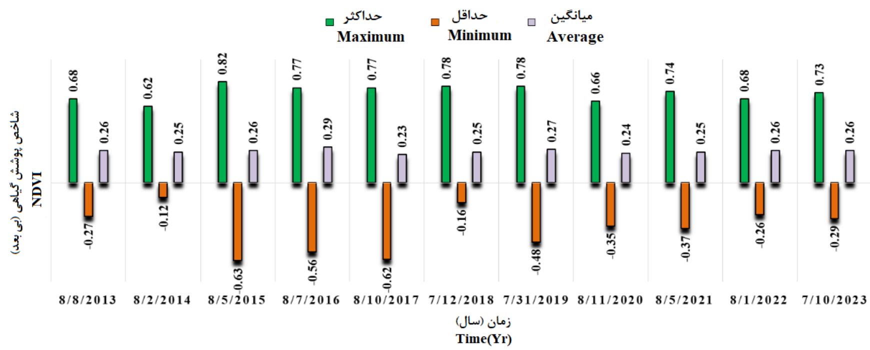
شاخص پوشش گیاهی استخراج شده

با استفاده از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ و نسبت‌گیری باندی بین باند مادون قرمز نزدیک و قرمز، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) محاسبه شد (شکل۳). حداقل، میانگین و حداکثر مقادیر عددی شاخص پوشش آن در تاریخ‌های مورد نظر نیز استخراج شد (شکل۴). از آنجایی که شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی نمایانگر شدت تراکم پوشش گیاهی است، نتایج نشان داد برای تمامی تصاویر در ۱۱ سال آماری مقادیر منفی و پایین NDVI در سطح گستره‌ای از محدوده شهری مشهود است، که این مقادیر منفی و پایین NDVI به علت وجود ساختمان‌های مسکونی و تجاری یا سطوح صاف و صیقلی مانند آسفالت یا ایزوگام و فاقد پوشش گیاهی می‌باشد. بیان مقادیر در سطح پیکسل از آن جهت دارای اهمیت است که در تصاویر ماهواره لندست ۸ مساحت هر پیکسل برابر ۹۰۰ متر مربع می‌باشد، که این گستره از مساحت در مطالعات شهری تقریبا مقدار بالایی بوده و همچنین قرارگیری کاربری‌های مصنوعی فاقد پوشش گیاهی در مجاورت بوستان‌ها، اراضی کشاورزی و پارک‌ها می‌تواند پیکسل‌ها با مقادیر متنوع با اختلاف زیاد در همسایگی همدیگر را نشان دهد. کمترین میزان شاخص NDVI در مجموع بازه زمانی ۱۱ ساله در سطح پیکسل در محدوده شهر ساری به مقدار ۰/۶۳- در تاریخ ۱۹ مرداد ماه ۱۳۹۴ و بیشترین میزان شاخص NDVI در سطح پیکسل برابر با ۰/۸۲ نیز در تاریخ ۱۹ مرداد ماه ۱۳۹۴ محاسبه شد. همچنین میانگین شاخص NDVI در کل محدوده شهر ساری، دارای کمترین میانگین NDVI به میزان ۰/۲۳ در تاریخ ۱۹ مرداد ماه ۱۳۹۶ و دارای بیشترین میانگین NDVI به میزان ۰/۲۹ در تاریخ ۱۷ مرداد ماه ۱۳۹۵ می‌باشد. میانگین شاخص پوشش گیاهی NDVI در طول سال‌های آماری تقریبا اعداد نزدیک به همدیگر را نشان می‌دهد و اختلاف قابل توجهی در آن دیده نمی‌شود که نشان‌دهنده تغییر کاربری شدید در محدوده شهر ساری باشد، ولی به صورت محدود تغییر کاربری در قسمت شرقی و قسمت شمالی شهر دیده می شود که ناشی از ساخت و سازها و گسترش مناطق تجاری و بازرگانی است. تغییرات جزئی میانگین شاخص NDVI را می‌توان به دلیل تغییر در میزان و زمان بارش‌های بهاره یا رگبارهای تابستانه، آبیاری پارک‌ها، بوستان‌ها یا مزارع داخل محدوده شهری دانست که بسته به میزان آب در دسترس و یا مقادیر پایین شاخص پوشش گیاهی در منطقه‌های شهری بطور کلی منجربه افزایش مقادیر دما در مناطق شهری می‌شود.



شکل ۳- شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) در محدوده ساری (۲۰۱۳-۲۰۲۳)

Fig.3. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Sari city (2013-2023)

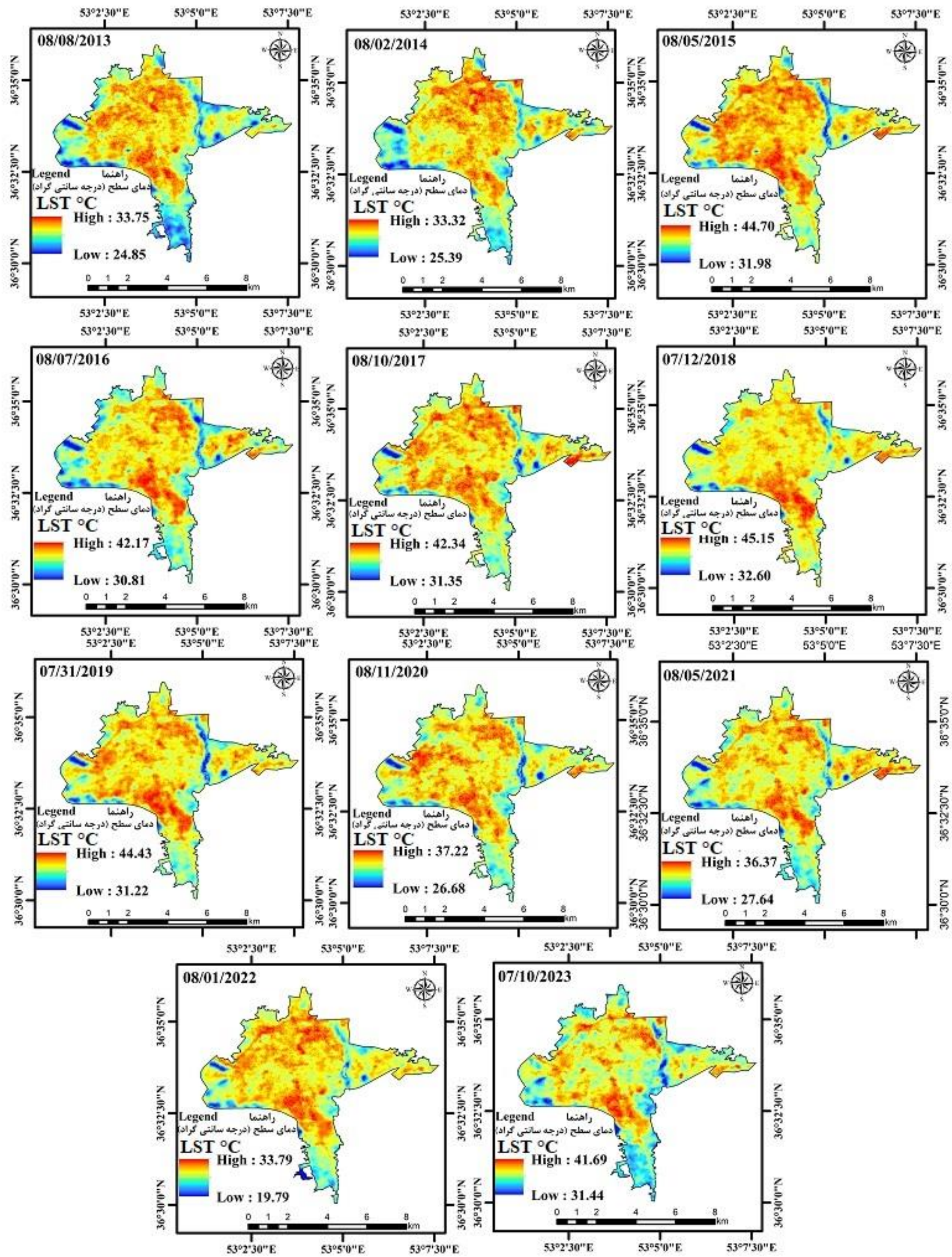


شکل ۴- نمودار حداقل، حداکثر و میانگین شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (۲۰۱۳-۲۰۲۳)

Fig.4. Graph of minimum, maximum and average of Normalized Difference Vegetation Index

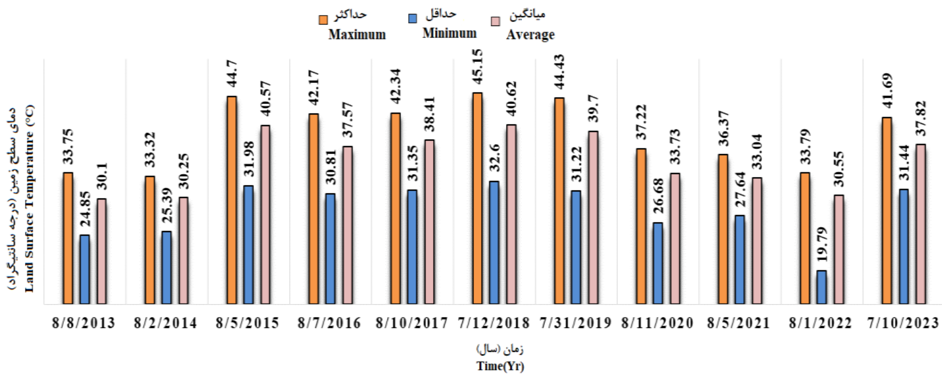
دمای محاسبه شده سطح زمین

بعد از محاسبه پوشش گیاهی جزء به جزء شده از طریق شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده و گسیلمندی سطح زمین، دمای سطح زمین برآورد گردید (شکل۵). همچنین تغییرات حداقل، حداکثر و میانگین دما مقادیر آن برای سال‌های ترسیم شد (شکل۶). کمترین دمای برآورده شده در بازه زمانی ۱۱ ساله در محدوده شهر ساری در سطح پیکسل در تاریخ ۱۰ مرداد ماه ۱۴۰۱ برابر با ۱۹/۷۹ و بیشترین دمای برآورد شده در تاریخ ۲۱ تیرماه ۱۳۹۷ به مقدار ۴۵/۱۵ درجه سلسیوس محاسبه شد. همچنین میانگین دمای سطح زمین در کل محدوده شهر ساری، در تاریخ ۱۷ مرداد ۱۳۹۲ دارای کمترین میانگین به میزان ۳۰/۱ و بیشترین میانگین دما به میزان ۴۰/۶۲ درجه سلسیوس در تاریخ۲۱ تیر ۱۳۹۷ می‌باشد. تغییرات کلی میانگین دمای سطح زمین در طول دوره آماری به صورتی است که در سال‌های ابتدایی مطالعه یعنی سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ میانگین حدود ۳۰/۱ درجه سلسیوس وجود دارد. این درحالی است که میانگین دمای سطح زمین بین سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۸ مقدار ۳۹/۳۷ درجه سلسیوس می‌باشد. از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۱ نیز میانگین دمای سطح زمین به مقدار ۳۲/۴۴ تنزل پیدا می‌کند. این عدد در سال ۱۴۰۲ به عدد ۳۷/۸۲ درجه سلسیوس می‌رسد. تغییرات این اعداد در چهار بازه زمانی نشان می‌دهد که از ابتدا تا انتهای دوره آماری میانگین دمای سطح زمین اگر چه تغییرات افزایشی و کاهشی از خود نشان داده، ولی می توان دریافت که دمای سطح زمین در محدوه شهری، در حالت کلی افزایشی بوده است. بیشترین مقادیر دماهای محاسبه شده سطح زمین در تمام دوره آماری، مناطقی چون میدان ساعت، راهبندان، کوی کارگران، کمربندی شهر ساری در حوالی پایانه دولت و تقاطع خیابان معلم، خیابان ملا مجدالدین تا میدان شهدا، منطقه بین خیابان امیر مازندرانی تا خیابان جمهوری و خیابان مدنی می‌باشد، که علت آن را می‌توان وجود مراکز مسکونی، تجاری، خیابان‌ها، افزایش تراکم جمعیت، وجود وسایل نقلیه موتوری، استفاده از وسایل سرمایشی و همچنین کمبود پوشش گیاهی و فضای سبز مانند بوستان‌ها و به طور کلی سطوح نفوذناپذیر در نظر گرفت. بعضی نقاط شهر ساری مانند میدان خزر تا خیابان بهار و به سمت خیابان معلم در کمربندی ساری، منطقه محصور بین خیابان سی متری، وصال شیرازی و بلوار شهید سلیمانی، منطقه بین خیابان معلم و خیابان رسالت و همچنین مناطق حاشیه محدوده شهری چون ششصد دستگاه، پارک بانوان ساری، کمربندی شمالی، میدان مالیات و حوالی آن یعنی بزرگراه ساحلی و کمربندی جنوبی و قسمت عمده جنوب شهر ساری، شهرک شهرداری، خیابان‌های اطراف پارک ملل دارای دمای پایین می‌باشند که دلیل آن را می‌توان نزدیکی به پارک‌ها و بوستان‌ها، اراضی کشاورزی یا برخی مناطق سایه گیر و ساختمان‌های مرتفع که در معابر با عرض کم توجیه نمود. به طور کلی می توان دریافت که نوسانات دمایی که در شهر ساری وجود دارد در واقع از میزان توزیع توده گیاهی تبعیت می نماید. کاهش پوشش گیاهی در نتیجه تغییر کاربری به تنهایی باعث افزایش دما نمی‌شود، بلکه با افزایش مصرف انرژی در کاربری مسکونی و تجاری جدید ساخته شده، افزایش جمعیت ساکن شهری و همچنین افزایش آلودگی و مانداگاری و تولید دی اکسید کربن باعث بالا رفتن دما در این مناطق می‌شود.



شکل ۵- دمای سطح زمین در شهر ساری (۲۰۱۳-۲۰۲۳)

Fig.5. Land surface temperature with in the Sari city (2013-2023)



شکل ۶- نمودار حداقل، حداکثر و میانگین دمای سطح زمین شهر ساری (۲۰۱۳-۲۰۲۳)

Fig.6. Graph of minimum, maximum and average land surface temperature in the Sari city (2013-2023)

همبستگی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین

همبستگی بین شاخص NDVI و دمای سطح زمین برای تمام ۱۱ سال مقادیر منفی را از خود نشان می دهد (جدول۳). مقدار منفی همبستگی در واقع نشان می‌دهد که دو متغیر روابط معکوسی را با همدیگر دارند، به طوری که اگر یک متغیر مقدار افزایشی را نشان دهد، متغیر دیگر مقدار کاهشی از خود بروز می‌دهد. از آنجایی که روابط همبستگی منفی بین تراکم و توده گیاهی و دمای شهر ساری وجود دارد، بنابراین می‌توان دریافت که بین دو عامل رابطه معکوس برقرار می‌باشد، و افزایش پوشش گیاهی موجب کاهش دما می‌شود. علاوه بر پوشش گیاهی عوامل دیگری چون تغییر شدت تابش خورشیدی، تغییرات اقلیمی، میزان فعالیت وسایل نقلیه، استفاده از وسایل سرمایشی و همچنین رطوبت به علت نزدیکی به دریا و غیره همگی بر میزان دمای هوا و به تبعیت از آن بر دمای سطح زمین اثر گذار بوده و می‌توانند مقادیر دمای سطح زمین را تغییر دهند.

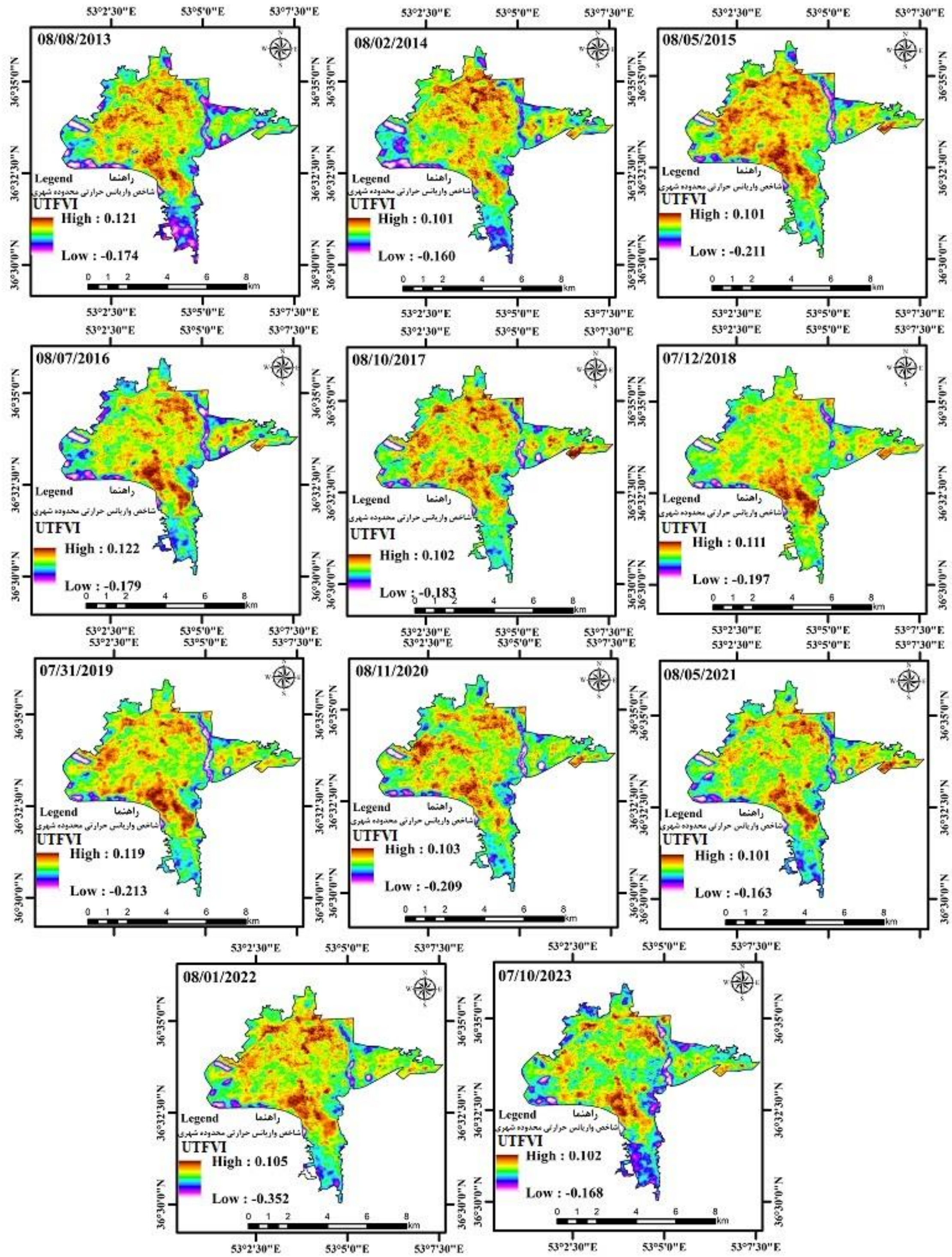
جدول۳- همبستگی بین NDVI و دمای سطح زمین

Table 3- Correlation between NDVI and land surface temperature

همبستگی Correlation	تاریخ calendar	شماره Number
-0.68	August 8, 2013	1
-0.65	August 2, 2014	2
-0.55	August 5, 2015	3
-0.63	August 7, 2016	4
-0.62	August 10, 2017	5
-0.66	July 12, 2018	6
-0.52	July 31, 2019	7
-0.52	August 11, 2020	8
-0.61	August 5, 2021	9
-0.57	August 1, 2022	10
-0.54	July 10, 2023	11

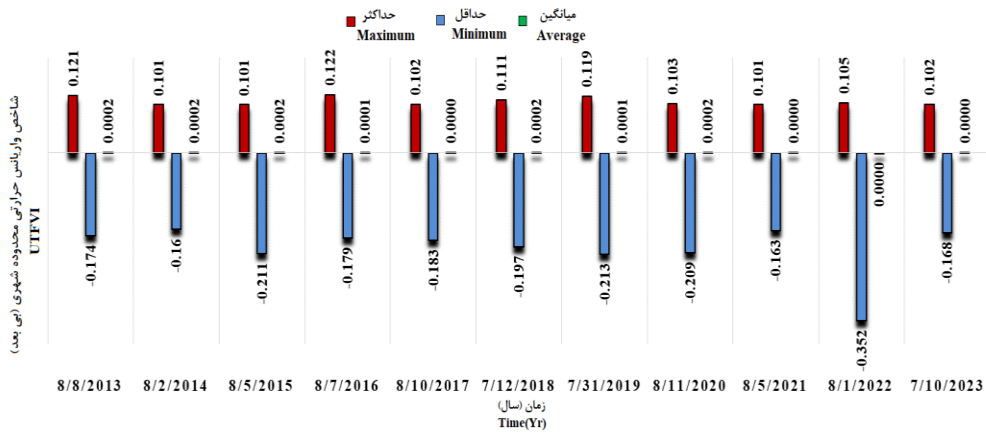
شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری و آسایش حرارتی

شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری محاسبه و طبقه‌بندی آن در محیط نرم افزارArc GIS 10.5 ترسیم شد (شکل۷). کمترین شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری در بازه زمانی ۱۱ ساله در سطح پیکسل مربوط به تاریخ ۱۰ مرداد ماه ۱۴۰۱ برابر با ۰/۳۵۲- و بیشترین میزان آن در تاریخ ۱۷ مرداد ماه ۱۳۹۵ به مقدار ۰/۱۲۲ محاسبه شد. همچنین میانگین این شاخص برای تمامی سال‌ها اعداد بسیار کوچک و نزدیک به صفر را نشان می‌دهد (شکل۸). طبقه‌بندی آسایش حرارتی نشان داد که طبقه عالی آسایش حرارتی در ۱۹ تیرماه ۱۴۰۲ دارای بیشترین پهنه به وسعت ۱۶۸۵/۵۷ هکتار و طبقه بدترین آسایش در همان تاریخ دارای کمترین مساحت به میزان ۱۱۱۷/۹۸ هکتار بوده است. طبقه عالی آسایش همچنین در ۱۴ مرداد ۱۳۹۴ دارای کمترین پهنه یعنی ۱۵۲۰/۸۵ هکتار بوده، ولی طبقه بدترین آسایش در ۱۷ مرداد ۱۳۹۲ دارای بیشترین پهنه به وسعت ۱۴۹۸/۶۸ هکتار بوده است (شکل۹، جدول۴، شکل۱۰). با توجه به آنکه روند کلی افزایش دما در طول دوره آماری نسبتا صعودی بوده ولی با استخراج شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری که یک شاخص سنجش از دور برای بررسی تغییرات فضایی دمای سطح در نواحی شهری می‌باشد، می‌توان دریافت که پهنه‌های آسایش حرارتی در طبقه نرمال، خوب و عالی در طول دوره زمانی ۱۱ ساله گسترش داشته و یک دوگانگی را ایجاد کرده، که با افزایش دما چگونه امکان گسترش پهنه آسایش حرارتی وجود دارد، که علت را باید در معادله شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری جستجو کرد. در معادله شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری دمای سطح زمین در مقیاس پیکسل و میانگین دمای سطح زمین محدوده شهری دو عامل تاثیر گذار می‌باشند. به طوری که هر چه دمای سطح زمین در سطح پیکسل مقادیر کمتری نسبت به میانگین کل دمای سطح زمین در محدوده شهری داشته باشد آسایش حرارتی در طبقه عالی تا نرمال قرار می‌گیرد و هرچه دمای سطح زمین در سطح پیکسل مقادیر بیشتری نسبت به میانگین کل دمای سطح زمین را نشان دهد، آسایش حرارتی در طبقه بد، بدتر و بدترین قرار می‌گیرد. از سوی دیگر هر چه اختلاف مقادیر بین دمای سطح زمین در مقیاس پیکسل و میانگین دمای سطح زمین در محدوده شهری بیشتر باشد، طبقه آسایش حرارتی از طبقه نرمال به طبقه عالی‌ترین و بدترین از منظر آسایش حرارتی میل می‌کند. ولی به طور کلی شاخص واریانس حرارتی محدوده شهر ساری در دو منطقه (شمال شرقی و مرکزی متمایل به جنوب) در طول ۱۱ سال آماری تغییرات عددی محسوس و رو به رشدی را از لحاظ آسایش نشان نداده و همیشه در ضعیف‌ترین حالت خود قرار داشته، که این خود نشان دهنده تخریب تدریجی سکونتگاه شهری در این محدوده از لحاظ زیست شهری می باشد.



شکل ۷- شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری در شهر ساری (۲۰۱۳-۲۰۲۳)

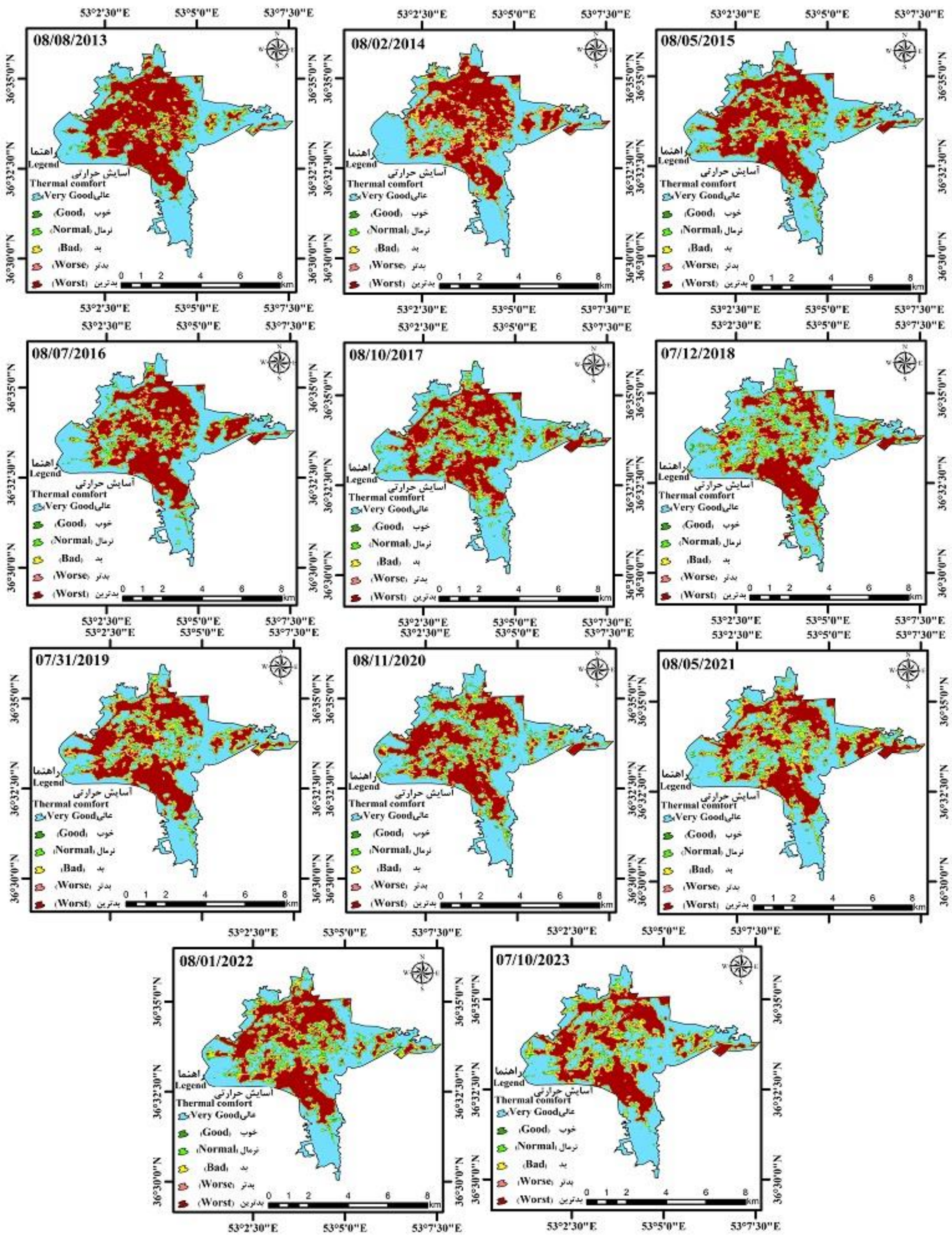
Fig.7. urban thermal field variance index in Sari city (2013-2023)



شکل ۸- نمودار حداقل، حداکثر و میانگین شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری در ساری (دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۳)

Fig.8. Graph of minimum, maximum and average urban thermal field variance index in Sari city (2013-2023)

نتایج این پژوهش با یافته‌های اصغری سراسکانرود و اسدی (Asghari Sarasekanrood & Asadi, 2021)، خدمت‌زاده و همکاران (Khedmatzadeh et al., 2021) ، مارسل و ویللوت (Marcel & Villot, 2021) ، اسماعیلی (Esmaeeli, 2022) ، موازامن و همکاران (Moazzamn et al., 2022) و عظیمی و همکاران (Azimi et al., 2023) از آن جهت که افزایش تغییرات پوشش گیاهی بر میزان دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شهری اثر گذار بوده و رابطه معکوس وجود دارد، دارای مطابقت است. همچنین استخراج شاخص واریانس محدوده شهری استخراج شده و ترسیم پهنه آسایش حرارتی به سبب راحتی در ارائه نتایج و تفسیر و تحلیل تا حد زیادی با پژوهش‌های احمد (Ahmed, 2018)، جوماری و همکاران (Jumari et al., 2023) و کیکون و همکاران (Kikon et al., 2023) همخوانی و تطابق دارد.



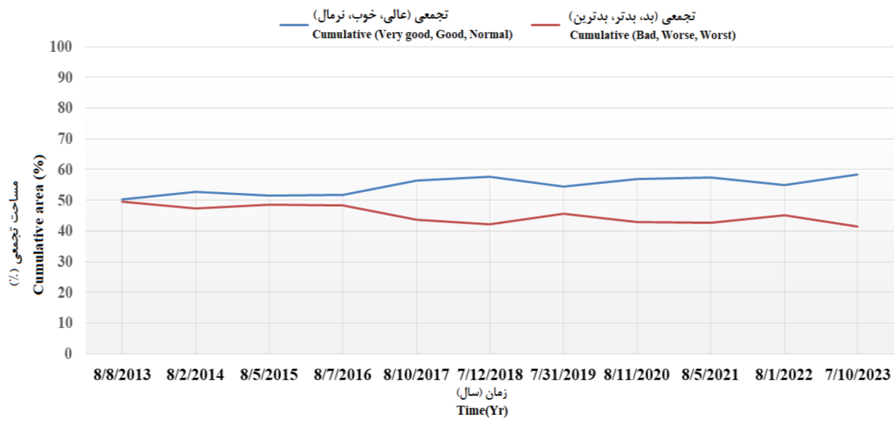
شکل ۹- طبقه‌بندی آسایش حرارتی براساس شاخص واریانس حرارتی محدوده شهر ساری (۲۰۱۳-۲۰۲۳)

Fig.9. Thermal comfort classification based on the urban thermal field variance index in Sari city (2013-2023)

جدول ۴- وسعت طبقات کیفی پهنه‌های آسایش حرارتی شهر ساری (۲۰۱۳-۲۰۲۳)

Table 4- The extent of the quality classes of thermal comfort zones in Sari city (2013-2023)

بدترین Worst	بدتر Worse	بد Bad	نرمال Normal	خوب Good	عالی Very good	مساحت Area	تاریخ Calendar
Class طبقه							
1498.68	118.81	125.54	117.90	116.83	1536.24	هکتار(Hectar)	17 مرداد 1392 August 8, 2013
4265	3.38	3.57	3.36	3.32	43.72	٪	
1315.36	176.60	167.49	159.61	146.96	1547.98	هکتار(Hectar)	10 مرداد 1393 August 2, 2014
37.43	5.03	4.77	4.54	4.18	44.05	٪	
1379.22	167.66	159.76	144.32	137.19	1525.85	هکتار(Hectar)	14 مرداد 1394 August 5, 2015
39.25	4.77	4.55	4.11	3.90	43.42	٪	
1405.33	150.39	139.39	136.07	122.51	1560.31	هکتار(Hectar)	17 مرداد 1395 August 7, 2016
39.99	4.28	3.97	3.87	3.49	44.40	٪	
1182.38	175.80	179.77	168.39	167.87	1642.79	هکتار(Hectar)	19 مرداد 1396 August 10, 2017
33.65	5	5.03	4.79	4.78	46.75	٪	
1068.66	195.02	220.83	199.53	217.61	1612.35	هکتار(Hectar)	21 تیر 1397 July 12, 2018
30.41	5.55	6.28	5.68	6.19	45.88	٪	
1274.04	160.64	166.06	175.30	155.47	1582.33	هکتار(Hectar)	9 مرداد 1398 July 31, 2019
36.26	4.57	4.73	4.99	4.42	45.03	٪	
1168.09	165.68	176.51	182.61	175.57	1645.54	هکتار(Hectar)	21 مرداد 1399 August 11, 2020
33.24	4.71	5.02	5.20	5	46.83	٪	
1130.96	170.50	195.96	189.85	184.83	1641.90	هکتار(Hectar)	14 مرداد 1400 August 5, 2021
32.18	5.85	5.58	5.40	5.26	46.72	٪	
1210.90	180.81	192.39	185.96	175.98	1567.96	هکتار(Hectar)	10 مرداد 1401 August 1, 2022
33.46	5.15	5.47	5.29	5.01	44.62	٪	
1117.98	185.71	181.85	185.91	183.98	1685.57	هکتار(Hectar)	19 تیر 1402 July 10, 2023
31.82	4.52	5.18	5.29	5.24	47.97	٪	



شکل ۱۰- درصد مساحت تجمعی آسایش حرارتی شهر ساری (دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۳)

Fig.10. Percentage of Cumulative area thermal comfort in Sari city (2013-2023)

نتیجه گیری

دمای سطح زمین یک شاخص مرجع برای بررسی تاب‌آوری زیست شهری محسوب می‌شود. به طوری که افزایش این عامل باعث ایجاد مشکلاتی از لحاظ تامین منابع آب، برق، آلودگی هوا، تشدید بیماری‌ها، کیفیت زندگی، کسب و کار و غیره می‌شود. با گسترش روش‌های نوین پایش و ارزیابی دمای سطح زمین تا حد زیادی می توان این تغییرات را مورد بررسی قرار داد. مطالعه دما و آسایش حرارتی و عوامل اثر گذار بر آن‌ها، نگرش‌های ارزشمندی را برای تجزیه و تحلیل محیط شهری و همچنین کمک به فرآیندهای تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی در جهت رسیدن به توسعه پایدار شهری را فراهم می‌کند. روش‌های سنجش از دوری یکی از این روش‌هاست که، به واسطه دقت قابل قبول آن، در این پژوهش برای بررسی دمای سطح زمین و شاخص واریانس حرارتی محدوده شهری که کیفیت سلامت شهری و بوم‌شناسی را از نظر درجه حضور آسایش حرارتی در محیط در شهر ساری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ استخراج دمای سطح زمین برای یک دوره زمانی ۱۳ ساله استخراج شد، که با تبعیت از آن نقشه آسایش حرارتی ترسیم گردید. با توجه به روند کلی افزایش دمای محدوده شهری و تغییرات اقلیمی لزوم توجه به نوع ساخت و سازها، تغییر کاربری اراضی، ایجاد و گسترش پوشش سبز مانند پارک‌ها و بوستان‌ها تا حد زیادی می‌تواند در جهت کاهش دمای سطح زمین موثر باشد. همچنین می توان دریافت علاوه بر عامل پوشش گیاهی عوامل دیگری نیز مانند شدت تابش خورشیدی، ابری بودن، تعداد و حجم تردد وسایل نقلیه، استفاده از وسایل سرمایشی و برودتی، استفاده از انرژی الکتریکی همگی بر میزان تغییرات دمای سطح زمین در محیط شهری موثر بوده که توجه به آن‌ها در راستای مدیریت شهری نیل به توسعه پایدار را تسهیل می‌کند.

تعارض منافع

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

حامی مالی

حامی مالی این اثر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری می باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان از تمامی کسانی که در انجام این پژوهش همفکری داشتند و بنحوی یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

Aghdar, H., Shayesteh, K., Mohammadyari, F., & Rangzan, K. (2020). Evaluation of spatial distribution of earth surface temperature in Behbahan during 2000 - 2014 period using thermal remote sensing. *Human Geography Research*, *52*(3), 817-832. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jhgr.2019.236547.1007487

Ahmed, S. (2018). Assessment of urban heat islands and impact of climate change on socioeconomic over Suez Governorate using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *21*(1), 15-25. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.08.001

Al Rakib, A., Ayan, S. M., Orthy, T. T., Sarker, O., Intisar, L., & Arnob, M. A. (2020). In Depth-Analysis of Urban Resident-Satisfaction Level of Mirpur. Dhaka, Bangladesh: A Participatory Approach. *In Proceedings of the 1st International Student Research Conference*. Dhaka, Bangladesh.

Asghari Sarasekanrood, S., & Asadi, B. (2021). Analysis of land use changes and their effects on the creation of thermal islands in Isfahan City. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, *8*(2), 217-246. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.2345332.1399.8.2.9.6

Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, *2016*(1), 1-8. https://doi.org/10.1155/2016/1480307

Azimi, E., Akbari, R., & Armin, M. (2023). Explaining the Relationship between Thermal Islands and a Number of Morphological Factors of the City Using Remote Sensing and GIS (Case Study: Ahvaz*). Journal of Geography and Environmental Studies*, *11*(44), 42-57. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087845.1401.11.44.3.6

Esmaeeli, S. (2022). The application of thermal remote sensing and GIS in the assessment of the spatial distribution of land surface temperature in urban environments (The case of study of Tabriz city). *Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, *2*(3), 1-23. [In Persian] https://jzpm.marvdasht.iau.ir/article_3992.html

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

Hashemi, S. M., Alavipanah, S. K., & Dinarvandi, M. (2013). LST assessment using thermal remote sensing in urban environment. *Journal of Environmental Studies*, *39*(1), 81-92. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jes.2013.30392

Jumari, N. A. S. K., Ahmed, A. N., Huang, Y. F., Ng, J. L., Koo, C. H., Chong, K. L., ... & Elshafie, A. (2023). Analysis of urban heat islands with landsat satellite images and GIS in Kuala Lumpur Metropolitan City. *Heliyon*, *9*(8). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18424

Kafy, A. A., Al Rakib, A., Akter, K. S., Jahir, D. M. A., Sikdar, M. S., Ashrafi, T. J., ... & Rahman, M. M. (2021). Assessing and predicting land use/land cover, land surface temperature and urban thermal field variance index using Landsat imagery for Dhaka Metropolitan area. *Environmental Challenges*, *4*, 100192. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100192

Kafy, A. A., Rahman, M. S., Islam, M., Al Rakib, A., Islam, M. A., Khan, M. H. H., ... & Sattar, G. S. (2021). Prediction of seasonal urban thermal field variance index using machine learning algorithms in Cumilla, Bangladesh. *Sustainable Cities and Society*, *64*, 102542. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102542

Kamyabi, S., & Abdi, K. (2020). Detection and analysis of the trend of climate change (precipitation and temperature) within the boundaries of Sari. *Journal of Environmental Science and Technology*, *7*(22), 165-179. [In Persian] https://doi.org/10.22034/jest.2019.43898.4642

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. *Regional Planning*, *11*(41), 119-134. [In Persian] https://dx.doi.org/10.30495/jzpm.2021.3965

Khosravi, Y., Heidari, M. A., Tavakoli, A., & Zamani, A. A. (2017). Analyzing of the Relationship Between Land Surface Temperature Temporal Changes and Spatial Pattern of Land Use changes. *The Journal of Spatial Planning*, *21*(3), 119-144. [In Persian] http://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-4560-fa.html

Kikon, N., Kumar, D., & Ahmed, S. A. (2023). Quantitative assessment of land surface temperature and vegetation indices on a kilometer grid scale. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(49), 107236-107258. https://doi.org/10.1007/s11356-023-27418-y

Mahmoudzadeh, H., Naghdbishi, A., & Momeni, S. (2018). The Impact of Urban Use on Creation of Thermal Islands (Case Study: Mashhad City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *7*(3), 105-119. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.68150

Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Zamani, M. S., Mokhtari, M. H., Karimi Firozjaei, M., & Alavipanah, S. K. (2023). Investigating and Modeling the Effect of the Composition and Arrangement of the Landscapes of Yazd City on the Land Surface Temperature Using Machine Learning and Landsat-8 and Sentinel-2 Data. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, *15*(3), 1-26. [In Persian] https://doi.org/10.48308/gisj.2023.102195

Marcel, C., & Villot, J. (2021). Urban Heat Island index based on a simplified micro scale model. *Urban Climate*, *39*, 100922. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100922

Moazzam, M. F. U., Doh, Y. H., & Lee, B. G. (2022). Impact of urbanization on land surface temperature and surface urban heat Island using optical remote sensing data: A case study of Jeju Island, Republic of Korea. *Building and Environment*, *222*, 109368. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109368

Nikpour, A., & Yarahmadi, M. (2022). Measurement and evaluation of urban sprawl (Case study: Sari city). *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, *10*(2), 189-204. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2022.336711.1643

Niliyeh Brojeni, M., & Ahmadi Nadoushan, M. (2019). The relationship between urban vegetation and land surface temperature in Isfahan city using Landsat TM and OLI satellite images and LST index. *Environmental Sciences*, *17*(4), 163-178. [In Persian] https://doi.org/10.29252/envs.17.4.163

Pouramin, K., Khatami, S. M., & Shamsodini, A. (2020). Effective Factors of Forming Urban Heat Islands; With an Emphasis on Urban Design Challenges and Features. *Urban Design Discourse-a Review of Contemporary Litreatures and Theories*, *1*(1), 69-83. [In Persian] http://udd.modares.ac.ir/article-40-35601-fa.html

Sejati, A. W., Buchori, I., & Rudiarto, I. (2019). The spatio-temporal trends of urban growth and surface urban heat islands over two decades in the Semarang Metropolitan Region. *Sustainable Cities and Society*, *46*, 101432. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101432

Shahinejad, B., & Dehghani, R. (2016). Application of Wavelet Neural Network for Estimation of Mean Daily Temperature in Sari Area. *Journal of Climate Research*, *1395*(27), 75-86. [In Persian] https://clima.irimo.ir/article_54786.html

Shakiba, A., Firoozabadi, P., Ashourloo, D., & Namdari, S. (2009). Analysis of relationship between land use/cover and urban heat island, using ETM+. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, *1*(1), 39-56. [In Persian] https://gisj.sbu.ac.ir/article_94232.html

Sobrino, J. A., Caselles, V., & Becker, F. (1990). Significance of the remotely sensed thermal infrared measurements obtained over a citrus orchard. *ISPRS Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, *44*, 343-354. https://doi.org/10.1016/0924-2716(90)90077-O

Sobrino, J. A., Jimenez, M., & Paolinib, C. J. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM5. *Remote Sensing of Environment*, *90*, 434-440. https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003

Tomlinson, C. J., Chapman, L., Thornes, J. E., & Baker, C. J. (2011). Including the urban heat island in spatial heat health risk assessment strategies: a case study for Birmingham, UK. *International Journal of Health Geographics*, *10*(42), 1-14. https://doi.org/10.1186/1476-072x-10-42

Walsh, J., Wuebbles, D., Hayhoe, K., Kossin, J., Kunkel, K., Stephens, G., ... & Somerville, R. (2014). *Our changing climate. In: U.S. Government Printing. Climate change impacts in the United States*. Washington D.C.: U.S. Government Printing. http://dx.doi.org/10.7930/J0KW5CXT

Wang, H., Zhang, Y., Tsou, J. Y., & Li, Y. J. S. (2017). Surface urban heat island analysis of Shanghai (China) based on the change of land use and land cover. *Sustainability*, *9*(9), 1538. https://doi.org/10.3390/su9091538