



Assessment of the Role of Ghasrodasht Gardens in Mitigating Land Surface Temperature (LST) Variations in Shiraz Using Temperature Condition Index (TCI) and Remote Sensing Data

Nasrin Yousefi^{1*}, Mohsen Rezaei²

¹ PhD Candidate in Hydrogeology, Shiraz University, Iran

² PhD in Hydrogeology, Professor, Shiraz University, Iran

Article Info	Abstract
Keywords: Remote sensing; Land surface temperature (LST); MODIS sensor; Temperature Condition Index (TCI)	<p>This study aims to investigate the role of vegetation cover, particularly the Qasr-e-Dasht gardens, in mitigating land surface temperature (LST) in the city of Shiraz. For this purpose, MODIS MOD11A1 data from the Terra satellite, covering the period from 1 March to 31 March 2021 (11 Esfand 1399 to 11 Farvardin 1400), were extracted and analyzed in the ArcGIS environment. Using 31 daily LST images, the Temperature Condition Index (TCI) was calculated, and the spatio-temporal temperature patterns were evaluated. To analyze the relationship between temperature and land-use type, the study area was classified into four main zones: Ghasrodasht Gardens, dense urban fabric, agricultural lands, and barren lands. The results showed that the Ghasrodasht Gardens (Zone I) had the lowest surface temperatures, with an average TCI value of 0.83, while the dense urban area (Zone II) experienced the highest thermal stress, with an average TCI of 0.25. A comparative assessment of MODIS data with meteorological measurements from the Bajgah and Dastgheib stations indicated high accuracy of the satellite-derived surface temperatures. Moreover, topographic analyses revealed a significant inverse relationship between elevation and temperature, whereas slope had no noticeable effect. The findings underscore the crucial role of traditional green spaces, particularly urban orchards, in reducing ambient temperatures, improving environmental quality, and mitigating urban heat. The results can support policymaking related to urban planning, land-use management, and the development of climate-adaptive infrastructure.</p>

¹Corresponding author. Nasrin Yousefi,

Email: na.uosefi@gmail.com

<https://doi.org/10.48306/jgrs.2025.532730.1018>

Received July 2025; Accepted September 2025

©2025 Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. This is an open article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Extended abstract

1-Introduction:

Urban green spaces serve as vital regulators of the local climate, contributing to cooling through shading and evapotranspiration. Conversely, rapid urbanization and land-use change increase surface temperatures and intensify the urban heat island (UHI) effect. Shiraz, a densely populated metropolitan area in southern Iran, has experienced a significant expansion of impervious surfaces alongside a reduction in vegetated areas over recent decades. Among its key green infrastructures, the traditional Qasr-e-Dasht Gardens serve as an important ecological buffer and thermal moderator. Remote sensing provides efficient tools to monitor land surface temperature (LST) and investigate the influence of vegetation on urban thermal patterns. MODIS LST products, particularly MOD11A1, offer consistent daily temperature observations suitable for analyzing spatial-temporal changes. This study aims to assess the role of Ghasrodasht Gardens in mitigating LST variations in Shiraz by analyzing MODIS LST data and computing the Temperature Condition Index (TCI) over a one-month period.

2- Results

The study area was classified into four dominant land-use zones: (I) Ghasrodasht Gardens, (II) dense urban fabric, (III) barren lands, and (IV) semi-intensive agricultural fields. Ghasrodasht Gardens (Zone I) exhibited the most favorable thermal conditions, with a mean TCI value of 0.83, attributed to dense vegetation and continuous irrigation. In contrast, the dense urban zone (Zone II) displayed the highest thermal stress, with a mean TCI of 0.25, highlighting the strong influence of impervious surfaces, reduced evapotranspiration, and anthropogenic heat emissions.

Daily LST values for March 2021 revealed significant temporal fluctuations, ranging from a minimum of 2.73 °C (2 March) to a maximum of 43.71 °C (31 March). Spatial mapping and statistical analysis indicated that temperature distribution is strongly influenced by land-use type. Ghasrodasht Gardens consistently recorded the lowest LST values, while the dense urban zone exhibited the highest temperatures, reflecting the UHI effect. TCI values ranged from 0.199 (critical heat stress) to 1 (favorable thermal condition). The gardens demonstrated an average TCI value of 0.83 confirming their cooling effect, while the dense urban zone recorded a mean TCI of only 0.25. Comparison with ground-based measurements from Bajgah and Dastgheib meteorological stations showed high consistency, validating the reliability of MODIS-derived LST. Correlation analyses revealed a significant negative relationship between elevation and LST, with a lapse rate of approximately 0.46°C decrease per 100 meters. Slope showed minimal impact on temperature variations. Collectively, these results emphasize the role of vegetation cover and land-use patterns in shaping the thermal environment of Shiraz. These findings emphasize the crucial role of traditional urban orchards such as Ghasrodasht in reducing surface temperature, improving environmental quality, and enhancing climate resilience. The results can support land-use planning, conservation of urban green infrastructure, and evidence-based urban heat mitigation strategies.

3- Conclusion

This study demonstrates the substantial cooling effect of Ghasrodasht Gardens in moderating urban surface temperatures in Shiraz. Spatial-temporal analysis of MODIS LST data and the TCI index confirms that densely vegetated areas significantly reduce thermal stress compared to dense urban structures and barren lands. The strong agreement between MODIS-derived LST and meteorological station data reinforces the applicability of satellite-based thermal monitoring for environmental assessment.

The results highlight the strategic importance of preserving and restoring traditional urban orchards and expanding vegetated areas as effective measures to mitigating UHI effect, enhancing thermal comfort, and supporting sustainable urban planning decisions. Future include multi-temporal datasets and additional indices such as the Vegetation Health Index (VHI) to examine long-term thermal dynamics and drought interactions.

ارزیابی نقش باغات قصرالدشت در تعدیل تغییرات حرارتی سطح زمین (LST) شهر شیراز با بهره‌گیری از شاخص شرایط دمایی (TCI) و داده‌های سنجش از دور

نسرین یوسفی*^۱، محسن رضایی^۲

دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه شیراز

دکتری هیدروژئولوژی، استاد دانشگاه شیراز ، mn.rezaei@gmail.com

چکیده:

این پژوهش با هدف بررسی نقش پوشش گیاهی، به‌ویژه باغات قصرالدشت، در تعدیل دمای سطح زمین (LST) شهر شیراز انجام شده است. بدین منظور، داده‌های سنجنده‌ی مودیس محصول MOD11A1 از ماهواره ترا، در بازه زمانی ۱۱ اسفند ۱۳۹۹ تا ۱۱ فروردین ۱۴۰۰ استخراج و در محیط نرم‌افزاری ArcGIS تحلیل گردید. با استفاده از ۳۱ تصویر روزانه دمای سطح زمین، شاخص وضعیت دمایی (TCI) محاسبه و الگوهای فضایی-زمانی دما مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تحلیل رابطه دما با نوع کاربری اراضی، منطقه به چهار زون اصلی شامل باغات قصرالدشت، بافت شهری متراکم، اراضی کشاورزی و اراضی بایر تقسیم شد. نتایج نشان داد که باغات قصرالدشت زون (I) با میانگین TCI برابر با ۰/۸۳ دارای خنک‌ترین شرایط سطحی بوده‌اند، در حالی که بافت شهری متراکم زون (II) با میانگین ۰/۲۵ بیشترین فشار گرمایی را تجربه کرده است. بررسی تطبیقی داده‌های MODIS با ایستگاه‌های هواشناسی باجگاه و دستغیب نیز بیانگر دقت بالای داده‌های ماهواره‌ای در برآورد دمای سطحی بود. علاوه بر این، تحلیل‌های توپوگرافی نشان دادند که ارتفاع با دما رابطه معکوس معناداری دارد، در حالی که شیب تأثیر محسوسی نداشت. یافته‌های این مطالعه بر نقش مؤثر فضاهای سبز سنتی، به‌ویژه باغات شهری، در کاهش دمای محیط، بهبود کیفیت زیست‌محیطی و مقابله با گرمایش شهری تأکید دارد. نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های مرتبط با برنامه‌ریزی شهری، مدیریت کاربری اراضی و توسعه زیرساخت‌های اقلیم‌پایه مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: سنجش از دور، دمای سطح زمین (LST)، سنجنده مودیس (MODIS)، ماهواره ترا (Terra)، شاخص TCI

۱- مقدمه

وجود فضاهای سبز در بافت شهری، به‌ویژه باغات، عامل مهمی در کنترل تغییرات اقلیمی محلی و کاهش دمای هوای اطراف محسوب می‌شود. این فضاها با فرآیندهایی مانند تبخیر و تعرق و ایجاد سایه، اثرات گرمایش شهری را کاهش می‌دهند. در مقابل، گسترش شهرنشینی و کاهش پوشش گیاهی موجب افزایش دمای سطح زمین و تشدید پدیده جزیره حرارتی شهری (UHI) می‌شود که بر کیفیت هوا و سلامت شهروندان تأثیر منفی دارد. برای بررسی این تأثیرات، داده‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای ابزارهای دقیقی برای پایش تغییرات دمای سطح زمین (LST) و تحلیل نقش پوشش‌های گیاهی در کاهش دما هستند. کاهش پوشش گیاهی و گسترش مناطق مسکونی موجب افزایش دما و تشدید تغییرات اقلیمی می‌شود، درحالی‌که پوشش گیاهی با کاهش دمای سطح زمین، تأثیر مثبتی بر کیفیت زندگی، مصرف انرژی و شرایط زیست‌محیطی دارد (Aldhshan & Shafri, 2019; رنجبر و همکاران، ۱۳۹۸).

فضاهای سبز شهری، به‌ویژه باغات گسترده‌ای مانند باغ‌های قصرالدشت در شیراز، نقش مؤثری در تعدیل دمای شهر و کاهش اثرات جزیره حرارتی دارند. پوشش گیاهی این فضاها با کاهش دمای سطح زمین، جلوگیری از بازتاب بیش‌ازحد گرما و افزایش گردش هوا، تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش دمای محیط دارد. در مقابل، حذف یا کاهش این فضاها به دلیل توسعه شهری و تغییر کاربری، منجر به افزایش دمای سطح زمین، تشدید گرمایش شهری و کاهش کیفیت هوا می‌شود. باغات قصرالدشت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ریه‌های تنفسی شیراز، تأثیر قابل‌توجهی در خنک‌سازی محیط شهری دارند و از افزایش بیش‌ازحد دما در ماه‌های گرم سال جلوگیری می‌کنند.

اهمیت این فضاهای سبز نه‌تنها از منظر زیست‌محیطی، بلکه از نظر سیاست‌گذاری شهری نیز حائز اهمیت است، زیرا تصمیم‌گیری درباره حفاظت یا توسعه این مناطق، مستقیماً بر آسایش حرارتی شهروندان، مصرف انرژی و پایداری اقلیمی شهر تأثیر می‌گذارد. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های سنجش از دور، تأثیر باغات در تعدیل دمای سطح شهر شیراز ارزیابی شده است. نتایج این مطالعه می‌تواند به برنامه‌ریزی کارآمدتر، حفاظت از فضاهای سبز و بهبود شرایط زیست‌محیطی کمک کند.

سنجنده مودیس (MODIS)، ابزاری پیشرفته برای مشاهده زمین، توسط ناسا در دو ماهواره Terra و Aqua در مدار قطبی قرار داده شده است. ماهواره Terra از سال ۱۳۷۸ و ماهواره Aqua از سال ۱۳۸۱ شمسی فعال شده‌اند. این سنجنده با تفکیک رادیومتریکی ۱۲ بیتی، داده‌هایی با کیفیت بالا در ۳۶ باند طیفی (۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر) ارائه می‌دهد. سنجنده مودیس زمین را به ۳۵ قطعه غربی-شرقی و ۱۷ قطعه شمالی-جنوبی تقسیم کرده است، تصاویر مربوط به کشور ایران در ۵ فریم قرار گرفته که به هر کدام از آن‌ها یک کاشی یا تایل گفته می‌شود. بیشترین مساحت ایران در فریم H:22 و V:5 قرار می‌گیرد. داده‌ها با تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر و در فرمت HDF با سیستم تصویر سینوسی ارائه می‌شوند. این سنجنده در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتری، اطلاعات متنوعی درباره اتمسفر، سطح زمین، یخ‌کره و آب‌ها جمع‌آوری می‌کند. داده‌های مودیس عمدتاً به صورت فرآورده‌های آماده ارائه می‌شوند که نیاز به پردازش تصویری ندارند و مستقیماً برای تحلیل‌های آماری قابل استفاده هستند. این

¹ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

سیستم با ارائه داده‌های دقیق و متنوع، ابزاری ارزشمند برای مطالعات زمین‌شناسی، اقلیم‌شناسی و محیط‌زیستی فراهم می‌کند (Justice et al., 2002; NASA, 2023).

در این مطالعه به بررسی دمای سطح زمین (LST) شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس و ماهواره ترا در ۳۱ روز ماه مارس سال ۲۰۲۱ (معادل ۱۱ اسفند ۱۳۹۹ تا ۱۱ فروردین ۱۴۰۰) پرداخته شده است.

پژوهش‌های متعددی به بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر دمای سطح زمین پرداخته‌اند. کرمی و همکاران، ۱۳۹۸ نشان دادند که شاخص تراکم پوشش گیاهی نقش مهمی در تغییرات دمای سطح زمین دارد. کاظمی‌قراچه و همکاران (۱۳۹۹) الگوریتم‌های مختلفی را برای محاسبه دمای سطح زمین با تصاویر مودیس ارزیابی کردند. مهدویان و همکاران (۱۴۰۰) در نواحی جنوبی استان اردبیل ارتباط منفی قوی بین دمای سطح زمین (LST) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۹ یافتند. مر و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تصاویر مودیس در تالاب کیلومبرو تانزانیا نشان دادند که تحلیل سری زمانی داده‌های LST برای پایش تغییرات اکوسیستم‌های تالابی مفید است. زندی و همکاران (۱۴۰۱) خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین و کاربری اراضی را در اصفهان بررسی کردند.

آباد و همکاران (۱۴۰۰) از داده‌های مودیس برای تحلیل دمای روزانه سطح زمین در حوضه جازموریان بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۹ استفاده کردند. ذاکری‌نژاد و همکاران (۱۴۰۲) در اصفهان نشان دادند که اراضی با پوشش گیاهی دمای کمتری نسبت به اراضی بایر دارند. موغلی (۱۳۹۹) تغییرات پوشش گیاهی ناشی از خشکسالی را در حوضه درودزن با تصاویر مودیس پایش کرد. رنجبر و همکاران (۱۳۹۸) دریافتند که اراضی با پوشش گیاهی بیشتر دمای کمتری نسبت به اراضی با پوشش گیاهی کمتر دارند. افشاری‌نیا و همکاران (۱۴۰۲) دمای سطح زمین دشت کاشان را با تصاویر مودیس بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ بررسی کردند. درویشی و همکاران (۱۳۹۷) در مریوان کاهش پوشش گیاهی را در یک دوره ۳۳ ساله نشان دادند. کرمی‌راد و همکاران (۱۳۹۶) تأثیر پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی عابران پیاده در شیراز را سنجیدند.

احمدی و همکاران (۱۳۹۳) تحلیل فضایی دمای شیراز را در فصول مختلف با تصاویر ماهواره‌ای انجام دادند. مزیدی و نارنگی‌فرد (۱۳۹۳) تأثیر تغییرات پوشش گیاهی بر دامنه‌های دمایی در منطقه‌ای از شیراز را ارزیابی کردند. هیرهر (۲۰۱۷) در دلتای نیل مصر نشان داد که تبدیل اراضی کشاورزی به شهری دمای سطح زمین را ۱/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش داده و تبدیل اراضی بایر به کشاورزی دما را ۰/۵۲ درجه کاهش داده است. هزیمه و همکاران (۲۰۱۵) مدل STI-FM را برای ترکیب مکانی-زمانی تصاویر دمای سطح زمین مودیس و لندست ۸ معرفی کردند. ون و همکاران (۲۰۰۲) در بولیوی و کالیفرنیا دقت ± 1 درجه سانتی‌گراد را در اعتبارسنجی دمای سطح تصاویر مودیس به‌دست آوردند. می‌یر و همکاران (۲۰۱۶) دمای سطح زمین در جنوبگان را پایش کردند. دوستکی و همکاران (۱۴۰۱) الگوی فضایی دمای سطح زمین و تغییرات کاربری اراضی را در جیرفت ارزیابی کردند و نشان دادند که با افزایش مناطق انسان‌ساخت، میانگین دمای سطح زمین ۱۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است.

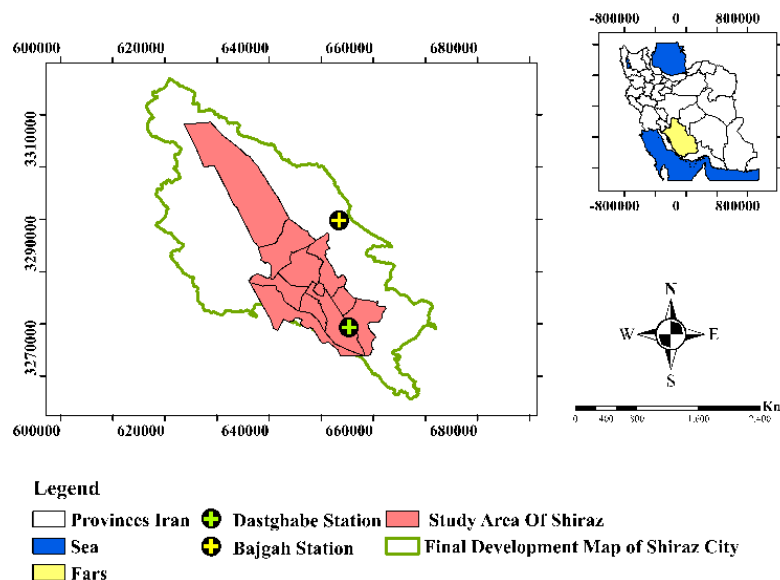
فنگ و همکاران (۲۰۱۹) در چین رابطه قوی بین LST و NDVI را نشان دادند. میرعلیزاده و همکاران (۱۴۰۰)، شاخص‌های سنجش از دوری VCI، TCI و VHI برای پایش خشکسالی در دشت ارومیه طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ را بررسی کردند. در

این پژوهش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای MODIS و شاخص SPI، همبستگی این شاخص‌ها در سه مقیاس فصلی، شش‌ماهه و سالانه تحلیل شد. نتایج نشان داد شاخص VCI در مقیاس سالانه بالاترین همبستگی را با SPI دارد و عملکرد بهتری در پایش خشکسالی کشاورزی نسبت به TCI و VHI ارائه می‌دهد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- معرفی محدوده مطالعاتی

شهر شیراز، مرکز استان فارس و پنجمین شهر پرجمعیت ایران، در بخش جنوبی کشور واقع شده است. این شهر در مختصات جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد و در جلگه‌ای کشیده به طول تقریبی ۱۲۰ کیلومتر و عرض ۱۵ کیلومتر جای گرفته است. ارتفاع متوسط شهر از سطح دریا حدود ۱۴۸۴ متر است که با برخی گزارش‌ها از میانگین ارتفاع منطقه شهری (تا ۱۵۵۰ متر) تفاوت دارد؛ این اختلاف ناشی از پستی‌بلندی‌های طبیعی و گسترش شهر در دشت‌های همجوار است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۱؛ اصغری‌زمانی و همکاران، ۱۳۹۵). شیراز در منطقه کوهستانی زاگرس قرار دارد و از شمال به کوه‌های سبزیوشان، بمو، باباکوهی و چهل‌مقام، و از غرب به کوه دراک محدود می‌شود. کوه میشوان با ارتفاع ۳۰۹۷ متر بلندترین و حاشیه دریاچه مهارلو با ۱۰۴۶ متر پست‌ترین نقاط طبیعی در شهرستان شیراز هستند. رودخانه خشک، که از درون شهر عبور می‌کند، رودی فصلی است که تنها در بهار و زمستان جریان دارد و در نهایت به دریاچه مهارلو در جنوب‌شرق شهر می‌ریزد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۱). اقلیم شیراز بر اساس طبقه‌بندی دومارتن نیمه‌خشک است (دیداری و همکاران، ۱۴۰۱). توپوگرافی متنوع، ارتفاعات پیرامونی و منابع آبی فصلی نقش مهمی در الگوی حرارتی و اکولوژیکی شهر دارند. در نقشه زیر، موقعیت جغرافیایی شهر شیراز به همراه عناصر طبیعی اطراف نمایش داده شده است. در شکل ۱ نقشه موقعیت جغرافیایی شهر شیراز نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی شهر شیراز

۲-۲- دمای سطح زمین (LST)

فرآورده‌های LST از مودیس به شکل پیوسته و در قالب ردیف‌های منظم ارائه می‌شوند. این داده‌ها تغییرات فضایی-زمانی را در سطح جهانی به صورت محصولات روزانه، هشت روزه و ماهانه ارائه می‌دهند و پردازش می‌کنند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷). تاکنون، محصولات دمای سطح زمین که توسط دو ماهواره ترا و آکوا ارائه شده، کارآمدترین و منسجم‌ترین داده‌ها را درباره سطح زمین فراهم کرده‌اند (Wan 2004, Duan 2014). سنجنده MODIS یکی از مهم‌ترین محصولات سنجش از دور را با عنوان دمای سطح زمین (LST) ارائه می‌دهد که از طریق دو ماهواره Terra و Aqua ثبت می‌شود. داده‌های استخراج‌شده از Terra با شناسه MOD و از Aqua با شناسه MYD مشخص می‌شوند. محصول LST با کد 11 شناخته شده و بسته به تفکیک زمانی و مکانی، در قالب مجموعه‌های مختلف ارائه می‌شود. یکی از پرکاربردترین این محصولات، LST-Day-1km است که دمای سطح زمین را با تفکیک مکانی ۱ کیلومتر در مقیاس روزانه ثبت می‌کند. داده‌های LST در واحد کلوین و به صورت 16 بیتی (unsigned integer) ذخیره می‌شوند، به طوری که مقدار DN^2 باید برای تبدیل به دمای فیزیکی، در ضریب مقیاس 0.02 ضرب شده و برای تبدیل به سلسیوس، مقدار 273.15 از آن کسر شود.

در این مطالعه، داده‌های روزانه دمای سطح زمین (LST) از محصول MOD11A1 سنجنده MODIS برای ماه مارس ۲۰۲۱ به منظور تحلیل تغییرات دمای سطح زمین در محدوده شهر شیراز، استان فارس، به کار گرفته شد. این داده‌ها از پایگاه رسمی NASA Earthdata (<https://earthdata.nasa.gov>) دریافت شده و در قالب فایل‌های HDF با وضوح مکانی ۱ کیلومتر ذخیره گردیده‌اند، که هر فایل پوشش فضایی به وسعت 1200×1200 کیلومتر را فراهم می‌کند. مجموعه داده شامل ۳۱ فایل روزانه است که به منظور بررسی روند تغییرات دما و تأثیرات احتمالی کاربری اراضی بر الگوی حرارتی منطقه مورد پردازش و تحلیل قرار گرفت. لازم به ذکر است که داده‌های مربوط به تاریخ ۱۶ مارس ۲۰۲۱ در دسترس نبودند؛ این نقص داده‌ای ممکن است ناشی از شرایط جوی نامساعد همچون پوشش ابر گسترده، اختلالات موقتی در دریافت سیگنال ماهواره‌ای، یا حذف داده‌ها به دلیل کیفیت پایین در فرایند پیش‌پردازش توسط مرکز داده‌های MODIS (NASA LP DAAC) باشد. با توجه به پیوستگی داده‌ها در سایر روزها و نبود گسست قابل توجه در سری زمانی، این فقدان داده موقتی تأثیر معناداری بر نتایج تحلیل‌های آماری و مکانی مطالعه نداشته است.

۳- نتایج و بحث

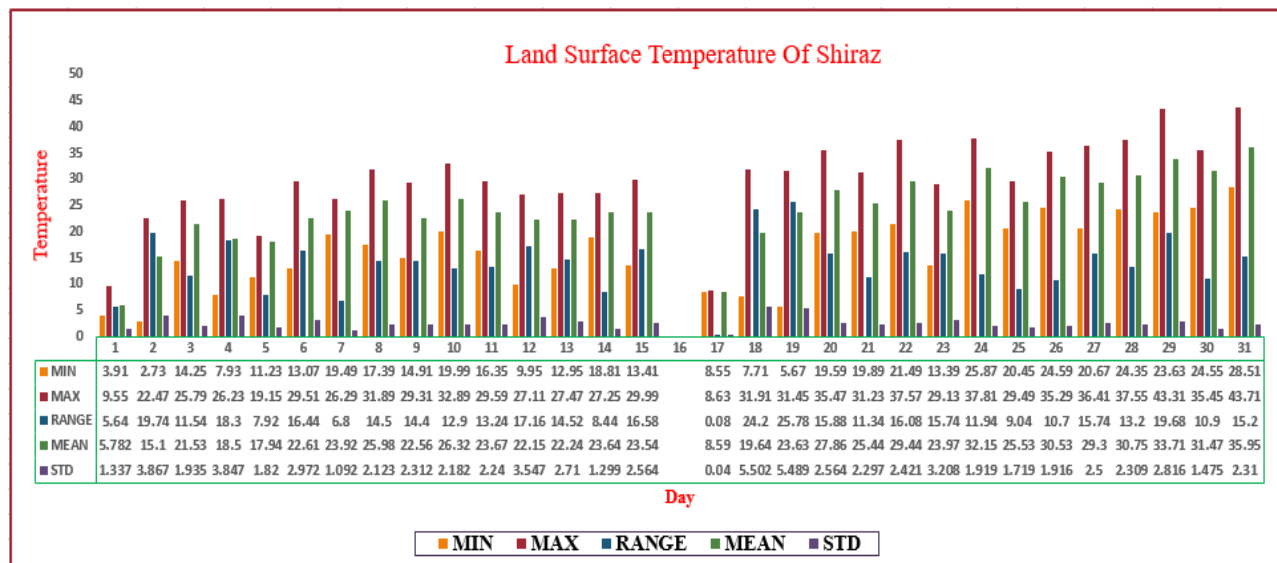
در این پژوهش، دمای سطح زمین (LST) در شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس (MODIS) و ماهواره ترا (Terra) طی ۳۱ روز ماه مارس ۲۰۲۱ (معادل ۱۱ اسفند ۱۳۹۹ تا ۱۱ فروردین ۱۴۰۰) مورد بررسی قرار گرفته است. به دلیل ماهیت روزانه داده‌ها، از محصول MOD11A1 استفاده شده است. تحلیل آماری داده‌ها نشان می‌دهد که حداقل دمای ثبت‌شده طی دوره مطالعاتی ۲/۷۳ درجه سلسیوس در تاریخ ۲ مارس ۲۰۲۱ (۱۲ اسفند ۱۳۹۹) و بیشترین دما ۴۳/۷۱ درجه سلسیوس

¹ -Land surface temperature-

² Digital Number

در تاریخ ۳۱ مارس ۲۰۲۱ (۱۱ فروردین ۱۴۰۰) بوده است. این تغییرات دمایی نشان‌دهنده نوسانات قابل توجه سطح زمین در شیراز است که می‌تواند به دلیل عوامل مختلفی همچون تغییرات فصلی، فعالیت‌های انسانی و ویژگی‌های خاص اقلیمی منطقه باشد.

این نوسانات دمایی می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر شرایط زیست‌محیطی و کیفیت زندگی شهری داشته باشد. برای مثال، افزایش دما در پایان ماه مارس می‌تواند نشان‌دهنده شدت گرمای تابستانی و افزایش مصرف انرژی باشد. همچنین، این تغییرات دمایی می‌تواند بر فرآیندهای هیدرولوژیکی، رشد گیاهی و حتی بهداشت عمومی تأثیرگذار باشند. علاوه بر این، دمای سطح زمین به‌طور مستقیم با پدیده جزیره حرارتی شهری (UHI) در ارتباط است؛ پدیده‌ای که در آن دمای سطح شهر به‌طور چشمگیری بالاتر از مناطق اطراف آن می‌رود. در جدول ۱ و شکل ۲ زیر خلاصه آماری به دست آمده برای دمای روزانه نشان داده شده است. در جدول مورد نظر، ستون COUNT نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌های هر زون با فرض اندازه هر پیکسل برابر با ۱۰۰۰ متر است، AREA مساحت هر زون را براساس تعداد پیکسل‌ها مشخص می‌کند. مقادیر MIN و MAX به ترتیب حداقل و حداکثر دمای ثبت شده در هر زون را نشان می‌دهند و RANGE بیانگر دامنه تغییرات دما در آن زون است، MEAN میانگین دما، STD انحراف معیار و SUM مجموع مقادیر دمایی در تمامی پیکسل‌های آن زون را نمایش می‌دهد.



شکل ۲- خلاصه آماری به دست آمده برای دمای روزانه

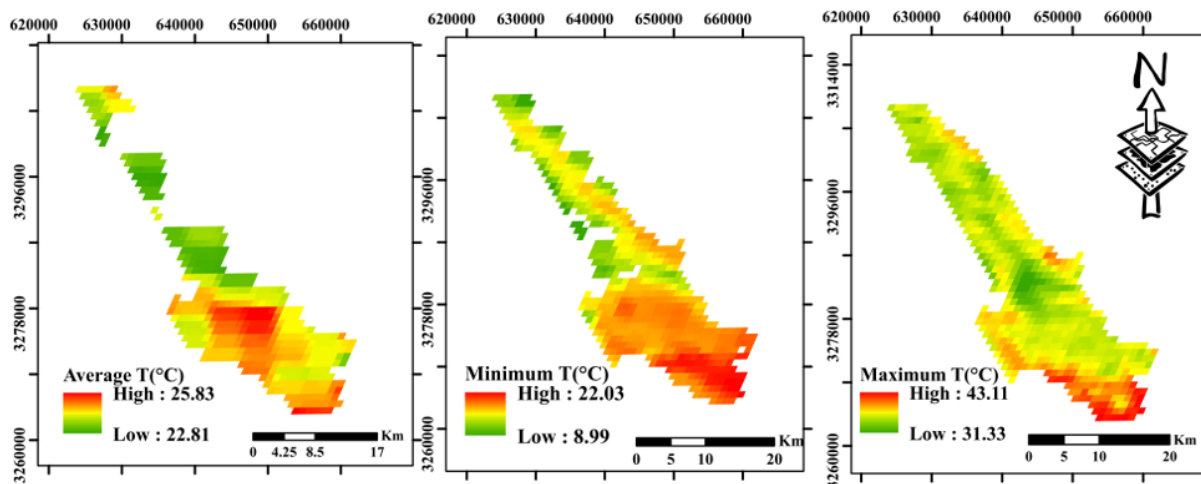
جدول ۱- خلاصه آماری به دست آمده برای دمای روزانه

Day	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	24	20607232.6	3.9	9.5	5.6	5.7	1.3	138.78
2	1509	1295679752	2.7	22.8	19.74	15.1	3.9	22790.5
3	1677	1439930381	14.2	25.8	11.54	21.5	2	36105.3
4	769	660290079	7.9	26.2	18.3	18.5	3.9	14227.6
5	23	19748597.9	11.2	19.1	7.9	17.9	1.9	412.67
6	1327	1139408238	13.1	29.5	16.44	22.6	3	30006.7
7	1145	983136724	19.5	26.3	6.7	23.9	1	27388.1
8	1530	1313711081	17.4	31.9	14.5	25.9	2.1	39755.8
9	1679	1441647650	14.9	29.3	14.4	22.5	2.3	37878.8
10	1679	1441647650	19.9	32.9	12.9	26.3	2.1	44184.4
11	1679	1441647650	16.3	29.9	13.24	23.6	2.2	39742.6
12	937	804540708	9.9	27.1	17.16	22.1	3.5	20750.6
13	1677	1439930381	12.9	27.5	14.52	22.2	2.7	37298.3
14	1667	1431344034	18.8	27.2	8.44	23.6	1.2	39414.2
15	1597	1371239605	13.4	29.9	16.58	23.5	2.5	37594.3
17	2	1717269.39	8.5	8.6	0.1	8.5	0.03	17.2
18	829	711808161	7.7	31.9	24.2	19.6	5.5	16278.4
19	862	740143106	5.6	31.4	25.9	23.6	5.4	20368.6
20	1679	1441647650	19.6	35.5	15.9	27.8	2.5	46783
21	1678	1440789015	19.9	31.2	11.3	25.4	2.2	42691.1
22	1679	1441647650	21.5	37.6	16.0	29.4	2.4	49435.8
23	501	430175981	13.4	29.1	15.7	23.9	3.2	12007.6
24	1679	1441647650	25.9	37.8	11.9	32.1	1.9	53974.4
25	1017	873231483	20.4	29.5	9.0	25.5	1.7	25964.2
26	1679	1441647650	24.6	35.3	10.7	30.5	2	51255.5
27	1679	1441647650	20.7	36.4	15.7	29.2	2.5	49188.7
28	1679	1441647650	24.3	37.5	13.2	30.7	2.3	51622.4
29	1679	1441647650	23.6	43.3	19.7	33.7	2.9	56601.8
30	1673	1436495842	24.5	35.4	10.9	31.4	1.5	52656.6
31	1679	1441647650	28.5	43.7	15.2	35.9	2.3	60361

در شکل ۳ نقشه LST تهیه شده برای روزهای ۷ و ۳۱ که به ترتیب حداقل، متوسط و حداکثر دما را در طول ماه داشته‌اند، نشان داده شده است. نقشه دمای حداکثر سطح زمین مربوط به ۳۱ مارس ۲۰۲۱، بیشترین مقدار دما را با عددی معادل ۴۳/۷۱ درجه سلسیوس نشان می‌دهد؛ این مقادیر عمدتاً در نواحی مرکزی و جنوبی شهر شیراز، به‌ویژه در محدوده‌های دارای پوشش گیاهی اندک و بافت شهری متراکم، مشاهده شده‌اند. افزایش دما در این نواحی می‌تواند ناشی از آغاز گرمایش فصلی، کاهش

پوشش گیاهی، تجمع حرارت در سطوح مصنوعی (مانند آسفالت و ساختمان‌ها) و تأثیر فعالیت‌های انسانی باشد. لازم به ذکر است که داده‌های به‌کاررفته در این تحلیل از محصول MOD11A1 سنجنده MODIS استخراج شده‌اند که دمای تابشی سطح زمین را در مقیاس پیکسل (با ابعاد تقریباً یک کیلومتر) اندازه‌گیری می‌کند. از آنجا که دمای سطح زمین (LST) با دمای هوا که معمولاً توسط ایستگاه‌های زمینی در ارتفاع حدود ۲ متر اندازه‌گیری می‌شود متفاوت است، مقادیر بالاتر ثبت شده در برخی روزها به‌ویژه در مناطق خشک، کم‌پوشش یا شهری کاملاً متداول و از نظر علمی قابل توجیه است. اثر تابش مستقیم خورشید، ناهمگونی‌های سطحی و میانگین‌گیری درون پیکسلی نیز می‌توانند در افزایش دمای ثبت‌شده مؤثر باشند. بر این اساس، دمای نسبتاً بالای مشاهده‌شده در روز ۳۱ مارس نه تنها غیرعادی تلقی نمی‌شود، بلکه با ویژگی‌های فیزیکی محیط و ماهیت داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده کاملاً هم‌خوانی دارد.

نقشه دمای متوسط (۷ مارس ۲۰۲۱)، در این روز، دما در بیشتر نواحی شیراز به‌طور یکنواخت توزیع شده است. این توزیع یکنواخت ممکن است نشان‌دهنده شرایط جوی پایدارتر در این روز باشد که تفاوت دمایی کمتری در مناطق مختلف شیراز مشاهده می‌شود. و نقشه دمای حداقل (۲ مارس ۲۰۲۱) نشان داده که در این روز، دمای سطح زمین به کمترین مقدار خود (۲/۷۳ درجه سلسیوس) رسیده است. این کاهش دما بیشتر در نواحی شمالی و ارتفاعات اطراف شیراز مشاهده می‌شود که به علت شرایط جوی سردتر و ارتفاع بالاتر در این مناطق است. این نقشه‌ها به‌خوبی نشان‌دهنده نوسانات دمایی در طول ماه مارس ۲۰۲۱ هستند و می‌توانند در تحلیل‌های اقلیمی و بررسی تأثیرات دمای سطح زمین بر محیط زیست و کیفیت زندگی شهری مفید باشند. در شکل ۴ تصویر سه‌بعدی از Google Earth از منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۳- حداقل، متوسط و حداکثر دمای LST در محدوده مورد مطالعه



شکل ۴- نمای سه‌بعدی منطقه مورد مطالعه از Google Earth

به‌منظور تحلیل دقیق‌تر نقش باغات و کاربری‌های مختلف زمین بر دمای سطحی (LST)، شهر شیراز به چهار زون کاربری عمده تقسیم شد (شکل ۵).

زون ۱: شمال غرب شیراز (باغات قصرالدشت)

این زون شامل باغات متراکم و قدیمی قصرالدشت است که تراکم پوشش درختی بالا و آبیاری منظم دارند. تحلیل داده‌های LST نشان می‌دهد که این نواحی دارای پایین‌ترین دمای سطح زمین هستند و به‌وضوح در تعدیل گرما مؤثرند.

زون ۲: ناحیه مرکزی و شرقی (بافت شهری متراکم)

محدوده‌هایی با تراکم ساخت‌وساز بالا و کمبود فضای سبز مانند مناطق اطراف خیابان زند، فرودگاه و چهارراه‌ها را شامل می‌شود. در این زون بیشترین دما ثبت شده که مؤید وجود پدیده جزیره حرارتی شهری (UHI) است.

زون ۳: پیرامون جنوب شرقی و شرق شهر (اراضی بایر و بدون پوشش)

در این ناحیه، پوشش گیاهی بسیار اندک است و سطح زمین اغلب خشک و تیره‌رنگ است. به‌دلیل بازتاب کم و جذب بالای انرژی خورشیدی، دمای این زون بالا ولی کمتر از بافت شهری ثبت شد.

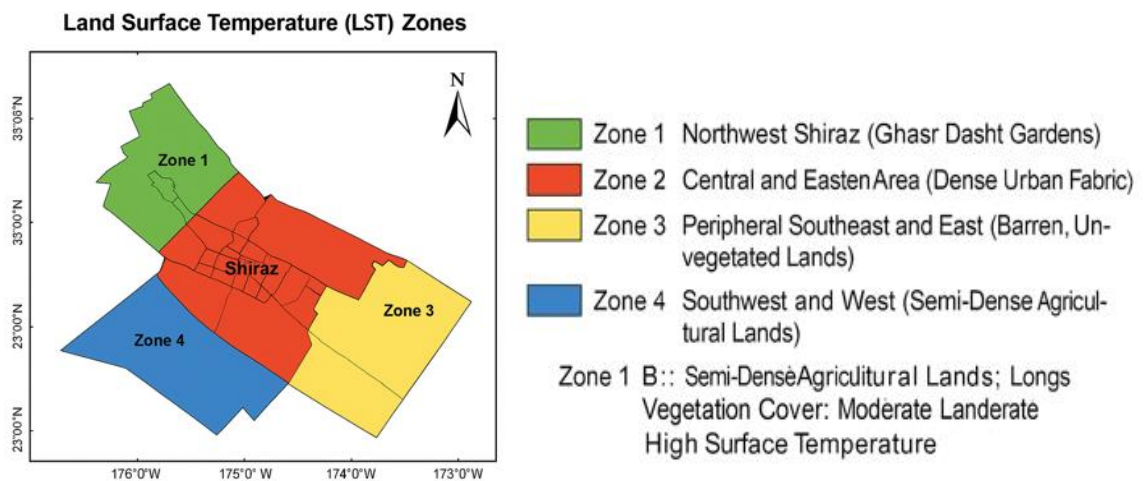
زون ۴: جنوب غربی و غرب شهر (اراضی کشاورزی نیمه متراکم)

شامل زمین‌های زراعی و کشت‌های فصلی با سطحی متوسط از پوشش گیاهی و گاه آبیاری شده است. دمای ثبت‌شده در این نواحی، بین باغات و بافت شهری قرار دارد و نشان از تأثیر نسبی پوشش گیاهی و فعالیت کشاورزی دارند. در شکل ۴ موقعیت این چهار زون نشان داده شده است.

مقایسه میانگین دمای سطح زمین در زون‌های چهارگانه حاکی از آن است که رابطه مستقیم میان نوع پوشش و دمای سطحی وجود دارد. به‌طور کلی، ترتیب شدت دما به‌صورت زیر بود:

باغات (زون ۱) > اراضی کشاورزی (زون ۴) > اراضی بایر (زون ۳) > بافت شهری متراکم (زون ۲)

این نتایج نشان می‌دهد که باغات و پوشش گیاهی انبوه نه‌تنها نقش مهمی در کاهش دمای منطقه دارند، بلکه به‌عنوان عاملی مؤثر در کنترل گرمایش شهری نیز محسوب می‌شوند. توسعه و حفظ چنین نواحی در برنامه‌ریزی شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.



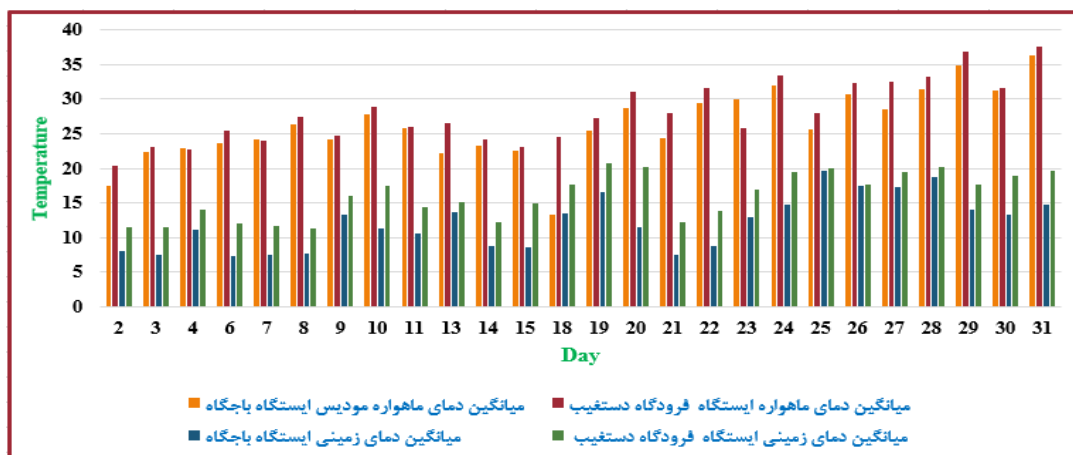
شکل ۵- مقایسه دمای سطح زمین در زون‌های مختلف کاربری اراضی شیراز

۴- صحت‌سنجی

در این مطالعه، صحت‌سنجی داده‌های دمای سطح زمین (LST) با استفاده از داده‌های دو ایستگاه هواشناسی باجگاه و دستغیب در شیراز انجام شده است. ایستگاه باجگاه در نواحی شمالی و مرتفع‌تر شیراز، در نزدیکی مناطق کشاورزی و باغات قرار دارد و داده‌های آن نمایانگر شرایط اقلیمی مناطق حاشیه‌ای با پوشش گیاهی متراکم است. در مقابل، ایستگاه دستغیب که در نزدیکی فرودگاه بین‌المللی شیراز و در نواحی شهری با تراکم ساختمانی بالاتر واقع شده است، تغییرات دمایی مناطق شهری و تأثیر جزایر حرارتی (UHI) را منعکس می‌کند. در این مطالعه، از داده‌های دمای روزانه این دو ایستگاه برای بررسی تغییرات دمایی در ماه مارس ۲۰۲۱ استفاده شده است. نتایج مقایسه داده‌های دمایی سنجنده مودیس با دمای اندازه‌گیری‌شده در این

ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که میانگین دمای ثبت‌شده توسط ماهواره مودیس با دمای زمینی ایستگاه‌ها مطابقت دارد، که تأییدکننده دقت این ماهواره در محاسبه دمای سطح زمین است. در شکل ۶ مقایسه بین میانگین دمای هوای به دست آمده با استفاده از سنجنده مودیس با دمای زمینی اندازه‌گیری شده برای دو ایستگاه باجگاه و فرودگاه دستغیب نشان داده شده است.

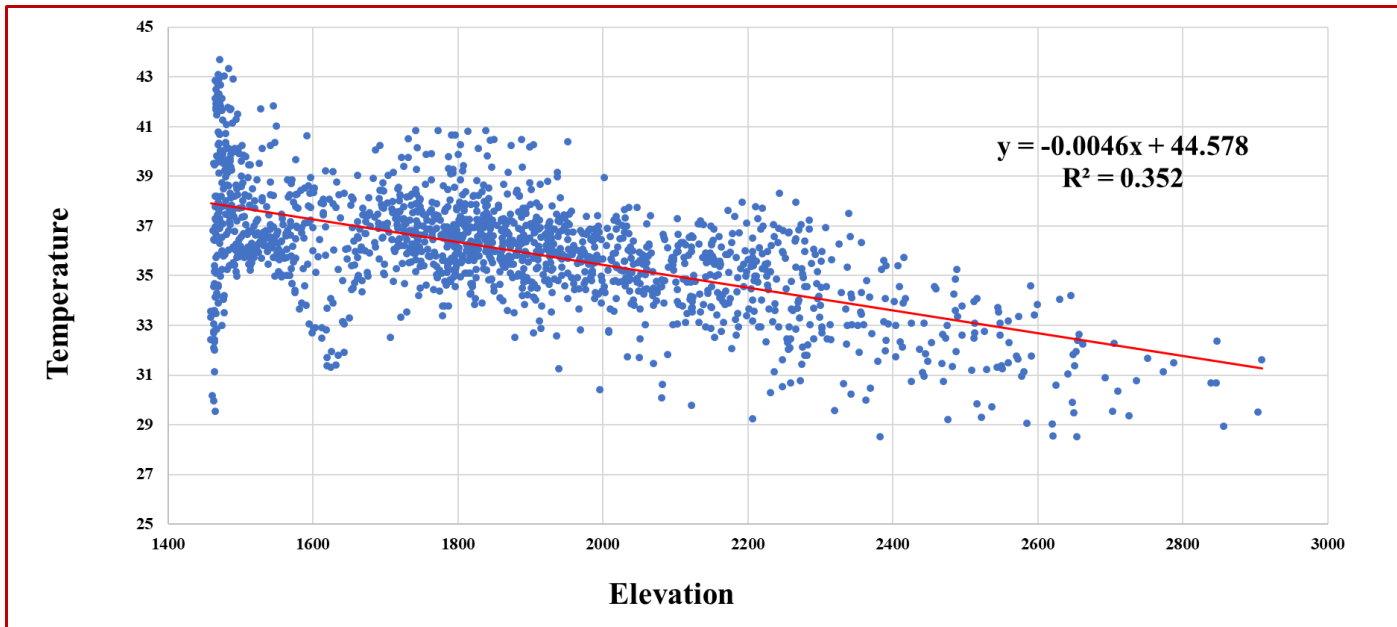
نتایج تحلیل تغییرات دمایی در شیراز نشان‌دهنده روند کلی افزایشی دما در طول ماه مارس ۲۰۲۱ است که به تغییرات فصلی و نزدیک شدن به فصل گرما اشاره دارد. بیشترین دما در تاریخ ۳۱ مارس (۱۱ فروردین ۱۴۰۰) ثبت شد که به‌عنوان پیک دمایی ماه شناخته می‌شود و این افزایش می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند تغییرات جوی، تابش خورشیدی شدیدتر و تأثیرات جزایر حرارتی شهری باشد. تفاوت دما بین ایستگاه‌های باجگاه و دستغیب نشان‌دهنده این است که دمای ایستگاه باجگاه معمولاً پایین‌تر از ایستگاه دستغیب است که این تفاوت ناشی از موقعیت جغرافیایی متفاوت این ایستگاه‌هاست. ایستگاه باجگاه در نواحی مرتفع و بیرونی شهر قرار دارد، در حالی که ایستگاه دستغیب در مناطق شهری و با پوشش‌های غیرطبیعی مانند ساختمان‌ها و جاده‌ها واقع شده است که موجب افزایش دما در این نواحی می‌شود. همچنین، نمودارهای دمایی نشان‌دهنده نوسانات دمایی روزانه است که به‌ویژه در روزهای ابتدایی ماه مارس مشهودتر است و این نوسانات می‌تواند به عواملی مانند تغییرات جوی، تابش خورشید، شرایط ابر و باد و تفاوت دمای شب و روز مرتبط باشد. پیک‌های دمایی در انتهای ماه، به‌ویژه در تاریخ ۳۱ مارس، نشان‌دهنده تغییرات شدیدتر دما و آغاز فصل گرما است که می‌تواند نتیجه افزایش تابش خورشید، کاهش پوشش ابر و تغییرات در پوشش زمین باشد. در ایستگاه دستغیب که در نواحی شهری با تراکم ساختمانی بیشتر قرار دارد، تأثیر پدیده جزیره حرارتی شهری (UHI) به وضوح مشهود است. در نهایت، این تغییرات دمایی می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر منابع آب، کشاورزی، کیفیت هوا و مصرف انرژی داشته باشد و تحلیل دقیق این داده‌ها به مدیران شهری کمک می‌کند تا راهکارهایی برای مدیریت منابع طبیعی، حفاظت از فضاهای سبز و کاهش اثرات منفی گرمایش شهری ارائه دهند. این اطلاعات می‌تواند در توسعه استراتژی‌هایی برای بهبود کیفیت زندگی شهری و مقابله با تهدیدات ناشی از تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی مفید باشد. این تحلیل‌ها درک عمیق‌تری از تغییرات دمایی شیراز و تأثیرات آن بر محیط‌زیست و مدیریت شهری ارائه می‌دهند.



شکل ۶- مقایسه بین میانگین دمای هوای به دست آمده با استفاده از سنجنده مودیس با دمای زمینی اندازه‌گیری شده برای دو ایستگاه باجگاه و فرودگاه دستغیب

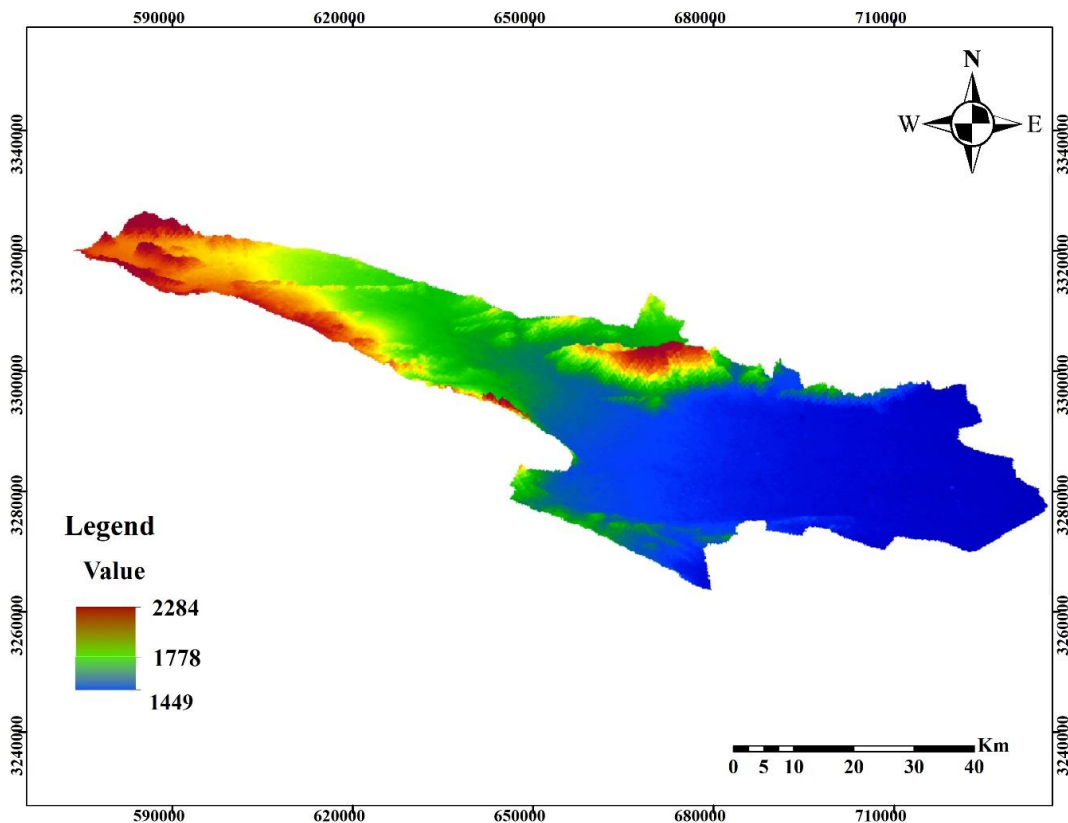
۵- میزان همبستگی بین ارتفاع و دما در منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، به منظور بررسی رابطه میان دما و ارتفاع در منطقه مورد مطالعه، یک نمودار پراکندگی (Scatter Plot) کلی ترسیم شده است که در آن دما به عنوان متغیر وابسته در محور عمودی (Y) و ارتفاع به عنوان متغیر مستقل در محور افقی (X) قرار گرفته‌اند. داده‌های به کار رفته در این نمودار مربوط به روز ۳۱ از ماه مارس می‌باشند که با تلفیق داده‌های دمایی و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) تهیه شده‌اند. هدف از این تحلیل، شناسایی روند کلی تغییرات دما با ارتفاع و همچنین برجسته‌سازی اثرات عوامل محلی بر این رابطه است. نتایج حاصل از این نمودار نشان می‌دهد که به طور کلی، رابطه‌ای معکوس بین ارتفاع و دما وجود دارد. به عبارت دیگر، با افزایش ارتفاع، دما کاهش می‌یابد؛ روندی که با الگوی طبیعی گرادیان حرارتی در مناطق کوهستانی هم‌راستا است. خط رگرسیون خطی برازش شده بر روی داده‌ها دارای معادله‌ای به صورت $y = -0.0046x + 44.578$ است که بیانگر آن است که به ازای هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع، دما به طور میانگین حدود ۰.۴۶ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. این مقدار، به عنوان نرخ کاهش دما (Lapse Rate) منطقه محسوب شده و نشان‌دهنده گرایش طبیعی سیستم جوی در این ناحیه است. مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر با ۰/۳۵۲ است، به این معنا که حدود ۳۵/۲ درصد از تغییرات دما توسط تغییرات ارتفاع قابل توضیح است. این عدد در عین حال که حاکی از تأثیر معنی‌دار ارتفاع بر دماست، نشان می‌دهد که عوامل دیگری نیز در الگوهای حرارتی منطقه مؤثرند. این عوامل شامل کاربری اراضی، پوشش گیاهی، بافت شهری، نوع مصالح سطح زمین، و سایر مؤلفه‌های ریزاقليمی است که منجر به نوسانات دمایی در برخی ارتفاعات خاص می‌شوند (شکل ۷).



شکل ۷- میزان همبستگی بین ارتفاع و دما در منطقه مورد مطالعه

بررسی دقیق تر نمودار پراکندگی نشان می‌دهد که در محدوده ارتفاعی حدود ۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰ متر، که عمدتاً منطبق بر مناطق شهری مانند بخش‌های مرکزی شهر شیراز و باغات قصرالدشت است، دما برخلاف روند کلی رفتار می‌کند و پراکندگی نقاط دمایی بسیار بالا و ناهمگن است. در این بازه ارتفاعی، دما از حدود ۳۰ تا بیش از ۴۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است. این نوسانات شدید دمایی، بیانگر اثر غالب عوامل محلی همچون پدیده جزیره حرارتی شهری (UHI)، تفاوت در پوشش سبز، وجود سطوح نفوذناپذیر (مثل مناطق آسفالت شده) و تراکم ساخت‌وساز بر دمای سطحی است. در ارتفاعات بالا (مثلاً ۲۰۰۰ تا ۲۸۰۰)، دامنه دما کمتر شده به این دلیل که در ارتفاعات بالاتر، نوسانات دمایی کم‌تر است و این می‌تواند به دلیل پوشش گیاهی یکنواخت، عدم وجود سازه‌های انسانی و تاثیر کمتر جزیره حرارتی باشد. بدین ترتیب، هرچند ارتفاع یک عامل اصلی در کنترل دما در مقیاس ناحیه‌ای محسوب می‌شود، اما تحلیل‌های موضعی‌تر (به‌ویژه در مناطق شهری) نشان می‌دهد که ارتفاع به تنهایی قادر به توضیح تمام الگوهای دمایی نیست و نقش ریزالگوهای کاربری زمین و شرایط اقلیمی محلی در برخی نواحی به‌مراتب پررنگ‌تر است. این یافته‌ها از منظر مدیریت شهری و توسعه پایدار حائز اهمیت هستند. زیرا شناخت و درک نقش توپوگرافی در کنار عوامل انسانی در تغییرات حرارتی می‌تواند به طراحی استراتژی‌های مؤثر برای کاهش دمای سطح زمین از طریق گسترش فضاهای سبز، اصلاح کاربری اراضی و کنترل توسعه غیرهدفمند شهری منجر شود. در شکل ۸ مدل سه‌بعدی توپوگرافی منطقه بر اساس داده‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM) نشان داده شده است.



شکل ۸- نمای سه‌بعدی منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل رقومی ارتفاعی (DEM)

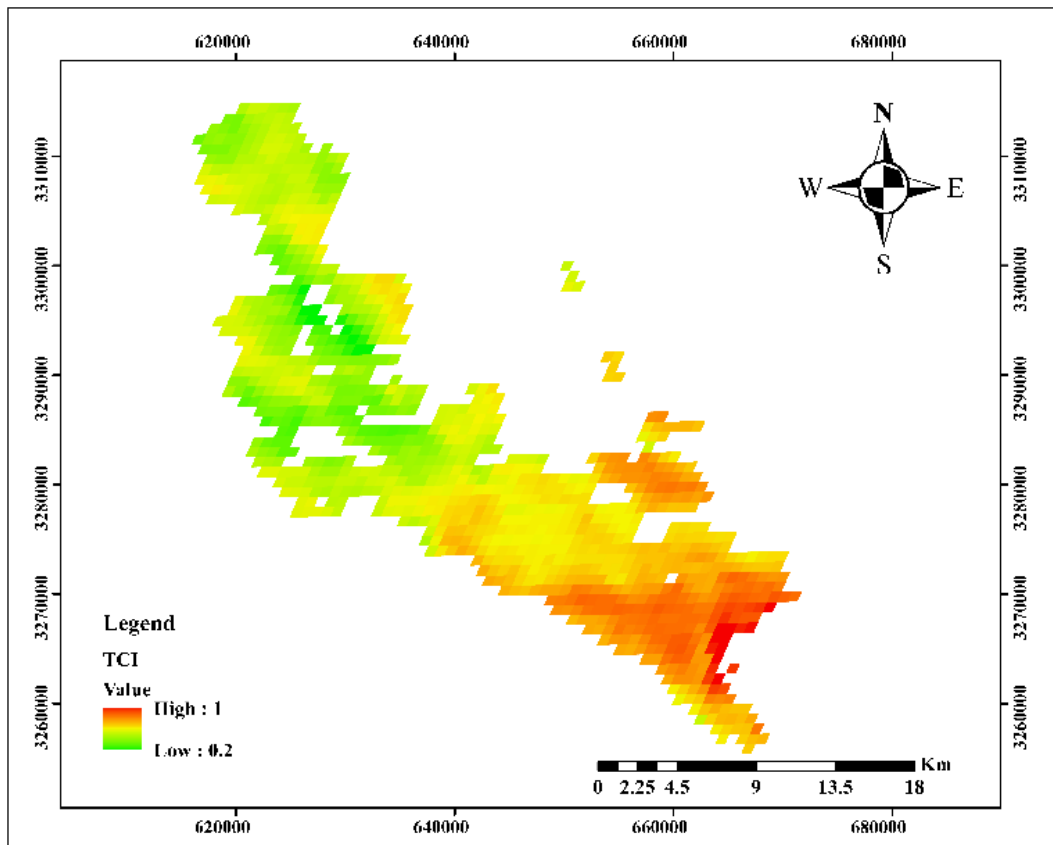
۶- شاخص وضعیت دمایی (TCI)

شاخص وضعیت دمایی (TCI) نخستین بار توسط کوگان در سال‌های ۱۹۹۵ و ۱۹۹۷ برای پایش خشکسالی در اراضی کشاورزی معرفی شد. این شاخص بر پایه پاسخ دمایی پوشش گیاهی به تنش خشکی تعریف شده است؛ به گونه‌ای که با افزایش دمای سطح زمین، شدت خشکسالی نیز افزایش می‌یابد. در شرایط خشکسالی، به دلیل کاهش رطوبت خاک و تبخیر کمتر، دمای سطح زمین افزایش می‌یابد و این افزایش می‌تواند به عنوان نشانه‌ای از وقوع یا شدت خشکسالی در نظر گرفته شود. شاخص TCI با استفاده از داده‌های دمای درخشانی (LST) و طبق رابطه‌ای استاندارد محاسبه می‌شود که در آن دمای لحظه‌ای با بیشینه و کمینه دما در یک بازه زمانی مقایسه می‌گردد. این شاخص به عنوان یکی از مؤلفه‌های ارزیابی خشکسالی کشاورزی در مطالعات سنجش از دور کاربرد گسترده‌ای دارد (میرعلیزاده و همکاران، ۱۴۰۱؛ Kogan, 1995).

$$TCI = \frac{LST_{max} - LST}{LST_{max} - LST_{min}}$$

به منظور تحلیل دقیق‌تر وضعیت حرارتی سطح زمین در شهر شیراز، شاخص شرایط دمایی (TCI) بر پایه داده‌های ماهواره‌ای MODIS و با استفاده از دمای نماینده (۲۳/۹ درجه سلسیوس)، دمای بیشینه (روز ۳۱) و کمینه (روز دوم) طی بازه زمانی یک ماهه محاسبه شد (شکل ۹). این شاخص که بازتاب‌دهنده شدت نسبی گرما در هر نقطه از سطح زمین است، مقادیر بین ۰/۱۹۹ (شرایط بحرانی) تا ۱ (شرایط مطلوب) را در سطح شهر نشان داد. نتایج تحلیل فضایی TCI آشکار ساخت که زون باغات قصرالدشت با میانگین شاخص ۰/۸۳ دارای مناسب‌ترین شرایط دمایی بوده و در مقابل، زون شهری متراکم با میانگین ۰/۲۵ بیشترین فشار گرمایی را تجربه کرده است. این اختلاف چشمگیر بیانگر نقش کلیدی پوشش گیاهی متراکم در کاهش دمای سطح و مقابله با اثرات پدیده جزیره گرمایی شهری (UHI) است. نقشه توزیع شاخص نیز نشان داد که ساخت‌وسازهای فشرده و عدم وجود فضای سبز با افزایش محسوس استرس حرارتی همراه است. بهره‌گیری از شاخص TCI در این مطالعه، درکی عمیق‌تر از پویای دمایی در محیط شهری فراهم نموده و می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی اقلیم‌پایه، مدیریت کاربری اراضی و سیاست‌گذاری زیست‌محیطی برای ارتقای تاب‌آوری شهری در برابر گرمایش موضعی مورد استفاده قرار گیرد.

¹ Temperature Condition Index



شکل ۹ - نقشه شاخص شرایط دمایی (TCI) شهر شیراز

۷- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با بهره‌گیری از داده‌های سنجنده MODIS و روش‌های تحلیل مکانی- زمانی، به بررسی نقش پوشش گیاهی و به‌ویژه باغات قصرالدشت در تعدیل دمای سطح زمین (LST) در کلان‌شهر شیراز پرداخته است. تحلیل‌های انجام‌شده در بازه زمانی یک‌ماهه (مارس ۲۰۲۱) نشان داد که دمای سطحی در سطح شهر به‌صورت معناداری تحت تأثیر نوع کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، و شرایط توپوگرافی قرار دارد. یافته‌ها بیانگر آن است که اگرچه رابطه‌ای معکوس میان دما و ارتفاع در منطقه برقرار است، اما در ارتفاعات پایین‌تر (به‌ویژه ۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰ متر)، نوسانات شدید دمایی به‌وضوح تحت تأثیر عوامل محلی مانند کاربری اراضی، جزیره حرارتی شهری و پوشش سبز قرار دارند. این موضوع تأکید می‌کند که ارتفاع به‌تنهایی تعیین‌کننده دمای سطحی نیست و نقش ریزاقليم‌ها در مناطق شهری چشمگیرتر است. این نتایج می‌تواند مبنایی برای برنامه‌ریزی محیطی و کاهش گرمایش شهری از طریق توسعه فضای سبز و اصلاح کاربری زمین باشد. همچنین یکی از مؤلفه‌های کلیدی این پژوهش، استفاده از شاخص وضعیت دمایی (TCI) به‌منظور تحلیل شرایط حرارتی در سطح منطقه است. نتایج محاسبه TCI نشان داد که زون باغات قصرالدشت با میانگین شاخص ۰/۸۳ از شرایط حرارتی مطلوب‌تری برخوردار بوده و

نقش مؤثری در خنک‌سازی موضعی ایفا می‌کند، در حالی که زون شهری متراکم با مقدار TCI برابر با ۰/۲۵ بالاترین میزان استرس گرمایی را تجربه نموده است. این تفاوت چشمگیر، گواهی بر نقش تعیین‌کننده پوشش گیاهی در مقابله با پدیده جزیره حرارتی شهری (UHI) و ارتقای تاب‌آوری اقلیمی مناطق شهری است. همچنین، اعتبارسنجی داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی باجگاه و دستغیب، همبستگی بالایی را نشان داد و دقت بالای داده‌های MODIS در برآورد دمای سطح زمین را تأیید نمود. این تطابق نشان می‌دهد که استفاده از سنجش از دور به‌عنوان ابزاری دقیق و مقرون‌به‌صرفه در تحلیل‌های محیطی و اقلیمی قابل اعتماد است. در مجموع، نتایج این پژوهش اهمیت راهبردی حفاظت، احیاء و گسترش فضاهای سبز شهری، به‌ویژه باغات سنتی و درخت‌زارهای شهری مانند قصرالدشت را در مدیریت گرمای شهری و بهبود آسایش حرارتی شهروندان تأیید می‌کند. یافته‌های تحقیق حاضر می‌تواند در تدوین سیاست‌های اقلیم‌پایه، برنامه‌ریزی کاربری اراضی، طراحی شهری و توسعه پایدار شهری مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از شاخص‌های ترکیبی نظیر VHI و داده‌های چندزمانه برای بررسی روندهای طولی تغییرات حرارتی و ارزیابی اثربخشی مداخلات شهری بهره گرفته شود.

منابع:

- احمدی م، داداشی رودباری ع، احمدی ح. پایش دمای شب‌هنگام سطح زمین در گستره ایران مبتنی بر برون‌داد سنجنده MODIS. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۱۳۹۷؛ ۳۳(۱): [شماره پیاپی ۱۲۸].
- احمدی م، عاشورلو د، نارنگی فرد م. تحلیل فضایی دمای شهر شیراز در فصول گرم و سرد با به‌کارگیری تحلیل‌های آماری و تصاویر ماهواره‌ای. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۱۳۹۳؛ ۳۰(۲): [شماره پیاپی ۱۱۷].
- اصغری‌زمانی ا، احدنژاد روشتی م، خداوندی ع. ارزیابی تحلیلی گسترده‌گی فضایی-کالبدی مناطق شهری و تأثیر آن بر تغییرات کاربری اراضی با استفاده از GIS و RS (مطالعه موردی: شیراز طی دوره زمانی ۱۳۶۶-۱۳۹۲). فصلنامه فضای جغرافیایی. ۱۳۹۵؛ ۱۶(۵۳): ۷۶-۵۷.
- افشاری‌نیا م، ولی ع، پناهی ف، منشی. پایش دمای سطح زمین با تکیه بر محصولات سنجنده مودیس و تکنیک‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: دشت کاشان). کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی. ۱۴۰۲؛ ۱۱(۱): ۱۶۱-۱۷۸.
- آباد ب، صلاحی ب، رئیس‌پور ک، مرادی م. پایش ماهواره‌ای دمای روزهنگام سطح زمین حوضه آبریز جازموریان با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس. فصلنامه جغرافیای طبیعی. ۱۴۰۰؛ ۱۳(۵۲): ۶۳-۸۱.
- درویشی ش، رشیدپور م، سلیمانی ک. بررسی ارتباط تغییرات کاربری اراضی با دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: شهرستان مریوان). فصلنامه جغرافیا و توسعه. ۱۳۹۸؛ ۱۷(۵۴): ۱۷-۵۴.
- دوستکی م، کمالی ا، باقری بداغ‌آبادی م، شیرانی ح، شکبیا ع، شکفته ح. ارزیابی الگوی فضایی دمای سطح زمین با تأکید بر تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهرستان جیرفت). فصلنامه علمی. ۱۴۰۱؛ ۴(۷): ۸۶-۹۹.

دیداری ش، عاجی س، فروغ گ. بررسی روند تغییرات کمیت و شوری آب زیرزمینی و عوامل مؤثر بر آن در حوضه شیراز با استفاده از داده‌های زمینی و سنجش از دور. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۱۴۰۱؛ ۵۳(۷). شاپا: ۲۴۲۳-۷۸۳۳.

ذاکری‌نژاد ر، موحدی س، جزی ز. بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر تغییرات دمای سطحی زمین شهرستان اصفهان با استفاده از داده‌های سنجش از دور. فصلنامه برنامه‌ریزی فضایی. ۱۴۰۲؛ ۱۳(۱): ۴۰-۲۱.

رنجبر ا، ولی ع، مکرّم م، تارّی پناه ف. ارزیابی دورسنجی اثرات کاربری اراضی بر گرادیان دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر لندست (مطالعه موردی: حوضه آبخیز خارستان). مجله کاربردی سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی. ۱۳۹۸؛ ۱۰(۱).

زندى ر، سلمانى مقدم م، روکى ز. سنجش میزان خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین با کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهر اصفهان). مجله علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۱۴۰۲؛ ۳۴(۸۹): ۷۶-۶۱.

کاظمی قراچه م، سلیمانی ب، فیضی‌زاده ب. ارزیابی انواع الگوریتم‌های پنجره مجزا برای محاسبه دمای سطح زمین جهت تعیین بهترین الگوریتم برای تصاویر سنجنده مودیس. نشریه سنجش از دور و GIS در منابع طبیعی. ۱۳۹۹؛ ۱۱(۲).

کرمی پ، شایسته ک، اسماعیلی م. بارزسازی اهمیت متغیر پوشش گیاهی بر روی دمای سطح زمین توزیع شده در کاربری/پوشش‌های مختلف (محدوده شهر جوانرود). نشریه حفاظت زیست‌بوم گیاهان. ۱۳۹۸؛ ۷(۱۵).

کرمی‌راد س، علی‌آبادی م، حبیبی ا، وکیلی‌نژاد ر. سنجش میزان تأثیر پوشش گیاهی بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی عابران پیاده (موردپژوهی: مجتمع مسکونی گلدشت شیراز). نشریه علمی-پژوهشی انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران. ۱۳۹۶؛ ص. ۱۹۶-۱۸۵.

مزیدی ا، نارنگی فرد م. تأثیر توسعه شهری و تغییرات کاربری بر عناصر آب و هوایی شهر شیراز و فسا. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۳۹۵؛ ۱۶(۴۰).

موغلی م. پایش تغییرات پوشش گیاهی در اثر خشکسالی در حوضه آبریز درودزن با استفاده از تصاویر MODIS فصلنامه جغرافیای طبیعی. ۱۳۹۹؛ ۱۲(۴۹).

مهدویان ش، زینالی ب، صلاحی ب. پوشش گیاهی در نواحی جنوبی استان اردبیل (مطالعه موردی: حوضه آبریز گیوی‌چای). سنجش از دور و GIS در منابع طبیعی. ۱۴۰۱؛ ۱۳(۴).

حسینی س، ع، ویسی ر، احمدی س. بررسی و تحلیل فضای سبز شهر شیراز. دوفصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری. ۱۳۹۱؛ ۳(۱): [پیاپی ۵].

میرعلی‌زاده ا، حجایی س، کوچک‌زاده م. ارزیابی شاخص‌های سنجش از دوری در شرایط خشکسالی (مطالعه موردی: دشت ارومیه). نشریه هواشناسی و علوم جو. ۱۴۰۱؛ ۵(۲): ۱۳۲-۱۴۱.

Duan SB, Li ZL, Tang BH, Wu H, Tang R. Generation of a time-consistent land surface temperature product from MODIS data. Remote Sens Environ. 2014;140:339-49.

Feng Q, Ma H, Jiang X, Wang X, Cao S. What has caused desertification in China? Sci Rep. 2015;5(1):15998.

Hazaymeh K, Hassan QK. Fusion of MODIS and Landsat-8 surface temperature images: A new approach. PLoS One. 2015;10(3):e0117755.

- Hereher ME. Effect of land use/cover change on land surface temperatures – The Nile Delta, Egypt. *J Afr Earth Sci.* 2017;126:75–83.
- i HZM. Change detection on land use/land cover and land surface temperature using spatiotemporal data of Landsat: a case study of Gaza Strip. *Arab J Geosci.* 2019;12:1–14.
- Justice, C. O., Townshend, J. R., Vermote, E. F., Masuoka, E., Wolfe, R. E., Saleous, N., Roy, D. P., & Morisette, J. T. (2002). An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 3–15. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00084-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00084-6).
- Kogan FN. Operational space technology for global vegetation assessment. *Bull Am Meteorol Soc.* 2001;82(9):1949–64.
- Li ZL, Tang BH, Wu H, Ren H, Yan G, Wan Z, et al. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sens Environ.* 2013;131:14–37.
- Meyer H, Katurji M, Appelhans T, Müller MU, Nauss T, Roudier P, Zawar-Reza P. Mapping daily air temperature for Antarctica based on MODIS LST. *Remote Sens.* 2016;8(9):732.
- Muro J, Strauch A, Heinemann S, Steinbach S, Thonfeld F, Waske B, Diekkrüger B. Land surface temperature trends as indicator of land use changes in wetlands. *Int J Appl Earth Obs Geoinf.* 2018;70:62–71.
- NASA (2023). MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Overview. NASA Earth Science Data Systems (ESDS). Retrieved from <https://modis.gsfc.nasa.gov>.
- Wan Z, Zhang Y, Zhang Q, Li ZL. Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. *Int J Remote Sens.* 2004;25(1):261–74.
- Wan Z, Zhang Y, Zhang Q, Li ZL. Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote Sens Environ.* 2002;83(1–2):163–80.