



Assessment of the Effects of Urban Green Patches Distribution and Surface Biophysical Characteristics on the Spatial Patterns of Urban Heat Islands Using Remote Sensing and GIS Techniques (Case Study: Mosul City in 2024)

Ebrahim Sami ^{1*}, Mohammad Saleh Sish¹, Keyvan Mohammadzadeh Alajujeh²

¹ Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities, Maragheh University, Maragheh, Iran

² Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 26 August 2025

Revised: 23 December 2025

Accepted: 27 December 2025

Available Online:

24 January 2026

Keywords:

Urban Heat Islands (UHIs)
Land Surface Temperature (LST)
NDVI
Urban Climate
Impervious Surfaces
Mousel, Iraq

Urban heat islands (UHIs) are an environmental challenge in developing cities such as Mosul, intensified by the reduction of vegetation cover and the increase of impervious surfaces. This study, has employed Landsat 9, MODIS, and Sentinel-2A imagery along with object-based processing, examined the role of land use changes and surface characteristics in the formation of Mosul's SUHI in 2024. The findings indicated that vegetation cover has the greatest cooling effect, showing a strong negative correlation with surface temperature ($r = -0.833$), while built-up areas, represented by NDBI and SI indices, exhibit a positive correlation with temperature. Areas with vegetation were up to 5.6°C cooler than densely urbanized areas. The greatest contribution to the intensification of heat islands comes from built-up areas, whereas green spaces and agricultural lands play a significant role in temperature reduction. Cooling effects of green patches are stronger during the day than at night. In summer, SUHI intensity increased, with the highest temperatures reaching up to 43°C in peripheral areas, while the city center retained more heat at night. The GSCEI index confirmed a reduction of up to 2.5°C in the vicinity of green patches. The uneven distribution of green spaces and surface characteristics plays a fundamental role in the intensity and extent of SUHI.

* Corresponding author: Ebrahim Sami

E-mail address: Sami@maragheh.ac.ir

How to cite this article: Sami, E., Sish, M. S., & Mohammadzadeh Alajujeh, K. (2026). Assessment of the Effects of Urban Green Patches Distribution and Surface Biophysical Characteristics on the Spatial Patterns of Urban Heat Islands Using Remote Sensing and GIS Techniques (Case Study: Mosul City in 2024). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 15(1), 193-225. <https://doi.org/10.22067/geoeH.2025.95104.1606>



©2026 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Extended Abstract

Introduction

Urban expansion and the reduction of green spaces are among the principal drivers of surface urban heat islands (SUHIs) a phenomenon that has become a major challenge in contemporary cities, particularly in arid and semi-arid regions. The intensification of SUHIs not only affects local climate conditions but also influences energy consumption, public health, and overall urban sustainability. Increasing urban temperatures can exacerbate heat stress, elevate air conditioning demands, and contribute to poor air quality. This study aims to examine the influence of green patches and surface biophysical characteristics on UHI patterns in the city of Mosul. By integrating multiple remote sensing datasets with GIS-based spatial analyses, the research provides a comprehensive and detailed assessment of the spatio-temporal patterns of land surface temperature (LST) and its relationships with various biophysical indices. Furthermore, this study seeks to identify critical areas where targeted interventions, such as the expansion of green spaces or modification of surface materials, can effectively mitigate SUHI effects.

Material and Methods

To assess the effects of the spatial distribution of urban green patches and surface biophysical properties on SUHI patterns, we first used meteorological data from the Mosul synoptic station to identify the city's minimum and maximum temperature periods. This approach allowed us to focus on the most thermally sensitive periods and provided a reliable baseline for LST comparisons. We then acquired time-matched satellite imagery Sentinel-2A, Landsat-9, and MODIS from 2024 covering both daytime and nighttime windows in summer and winter. After rigorous preprocessing, including atmospheric correction, radiometric calibration, and geometric alignment, the images were classified to differentiate between impervious surfaces, vegetation, water bodies, and other land cover types. SUHIs across Mosul were subsequently identified using standard LST extraction methods and validated with ground-based observations where available. LST outputs were overlaid with green-patch layers and additional biophysical variables, including vegetation cover, surface type, soil moisture, buildings, and surface water. Their correlations with LST were computed to elucidate the spatial distribution and intensity of heat islands in various urban contexts. ArcGIS, eCognition Developer, ENVI 5.3 and Microsoft Excel were employed for image processing, classification and statistical analyses, ensuring a rigorous and reproducible workflow.

Results and Discussion

Both the present study and prior international research emphasize the importance of appropriately distributing green spaces and managing impervious surfaces to mitigate thermal impacts and improve residents' quality of life. Our findings show that the NDVI averages 0.78 in areas with greater vegetation cover and decreases to 0.45 in impervious areas; this inverse relationship between NDVI and temperature is reflected in a strong negative correlation ($R = -0.833$), clearly indicating the cooling effect of vegetation on surface temperatures. In addition, analysis of LST in four-time windows (daytime and nighttime in summer, and daytime and nighttime in winter) demonstrates a significant influence of land use on the spatial distribution of surface heat in Mosul. In summer, industrial and commercial land uses especially industrial zones with daytime LST of 38.199 °C and nighttime LST of 43.007 °C contribute most to elevated surface temperatures, likely due to the high density of heat-absorbing construction materials, scarcity of vegetation, and heat-generating activities. Dense commercial and residential areas also play a substantial role in increasing LST because of compact urban form, extensive asphalt coverage, and heavy vehicular traffic. The temporal analysis further shows that daytime LST peaks are closely associated with solar radiation exposure, while nighttime temperatures remain elevated in densely built areas due to the thermal retention of construction materials, a phenomenon often referred to as the "urban heat storage effect." The spatial patterns of LST also reveal that peripheral districts with scattered vegetation exhibit

slightly lower temperatures, indicating that strategic placement of green patches can create meaningful thermal refuges even in predominantly urbanized settings.

Conclusion

The results indicate that the uneven distribution of green spaces and the expansion of impervious surfaces are key drivers of SUHI intensification in Mosul. Surface biophysical characteristics, particularly in areas with limited vegetation, exert a marked effect on increasing temperatures and amplifying SUHI formation. The study underscores the critical role of green-patch distribution and biophysical attributes in shaping LST and UHI patterns in Mosul. These findings can inform management strategies aimed at moderating UHI effects and improving urban environmental conditions. Future urban planning should prioritize developing a connected network of green spaces, especially in central districts; employing high-albedo construction materials; and implementing green roofs and green walls in high-density areas. Such measures can reduce urban ambient temperatures, enhance residents' thermal comfort, and improve overall quality of life. Furthermore, incorporating green infrastructure into urban design can simultaneously provide ecological benefits, such as improved stormwater management, air purification, and biodiversity conservation, thereby creating more resilient and sustainable cities. By combining these approaches with continuous monitoring using remote sensing and GIS, city planners can develop evidence-based strategies to mitigate SUHI impacts and support long-term urban sustainability goals.



بررسی تأثیر لکه‌های سبز و ویژگی‌های بیوفیزیکی سطح بر الگوی جزایر حرارتی شهری با استفاده از سنجش از دور و GIS (مطالعه موردی: موصل در سال ۲۰۲۴)

ابراهیم سامی^{۱*}، محمد صالح سیش^۱، کیوان محمدزاده آلاجوجه^۲

^۱ گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
^۲ گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله:	جزایر حرارتی شهری، چالشی محیط‌زیستی در شهرهای در حال توسعه مانند موصل هستند. که در اثر کاهش پوشش گیاهی و افزایش سطوح نفوذناپذیر تشدید می‌شود. این پژوهش با استفاده از تصاویر لندست ۹، MODIS و سنتینل 2A و پردازش شی‌گرا، نقش تغییرات کاربری اراضی و ویژگی‌های سطح زمین در شکل‌گیری SUHI موصل در ۲۰۲۴ را بررسی کرده است. یافته‌ها نشان داد پوشش گیاهی بیشترین اثر خنک‌کنندگی را دارد و با دمای سطح رابطه منفی قوی ($r = -0.833$) دارد، در حالی که سطوح ساخته‌شده با شاخص‌های NDBI و SI رابطه مثبت با دما دارند. مناطق دارای پوشش گیاهی تا ۵.۶ درجه خنک‌تر از مناطق شهری متراکم بودند. بیشترین تأثیر در تشدید جزایر حرارتی مربوط به مناطق ساخته شده است، در حالی که فضاهای سبز و کشاورزی نقش مهمی در کاهش دما دارند. خنک‌کنندگی لکه‌های سبز در روز بیشتر از شب است. در تابستان، شدت SUHI افزایش یافته و بیشترین دما تا ۴۳ درجه در نواحی حاشیه‌ای مشاهده شد، در حالی که مرکز شهر گرمای بیشتری در شب حفظ کرد. شاخص GSCEI کاهش دمای محیط تا ۲.۵ درجه در اطراف لکه‌های سبز را تأیید کرد. توزیع نامتوازن فضاهای سبز و ویژگی‌های سطح زمین نقش اساسی در شدت و گستره SUHI دارد.
کلمات کلیدی:	
جزایر حرارتی شهری (UHIs)	
دمای سطح زمین	
NDVI	
اقلیم‌شناسی شهری	
سطوح نفوذناپذیر	
موصل عراق	

مقدمه

توسعه شهرها و کاهش فضاهای سبز یکی از عوامل مهم و مؤثر در شکل‌گیری جزایر گرمایی است (Liu, Wu, Yang, Zhang & Yin, 2024a; Guan & Hu, 2025)، پدیده‌ای که به یکی از مشکلات مهم در شهرها تبدیل شده است (Guha, Tiwari & Yin, 2024a; Guan & Hu, 2025).

(Zhang, 2024; Xiong, Chen, He, Luo & Li, 2023). جزیره گرمایی شهری (UHI) مفهومی است که به افزایش دما در مناطق شهری در مقایسه با مناطق روستایی یا حومه شهر اشاره دارد. این افزایش دما به دلیل فراوانی ساختمان‌ها، جاده‌ها، پارکینگ‌ها و سایر سازه‌های انسانی در شهرها، و همچنین کاهش فضاهای سبز و آب، و نیز افزایش فعالیت‌های انسانی مانند ترافیک و صنایع است (Darbani, Rafieian, Parapari & Guldman, 2023)، که می‌تواند منجر به مشکلاتی مانند آلودگی هوا، افزایش مصرف انرژی برای خنک کردن و افزایش بیماری‌های حاد و مزمن مرتبط با گرما از جمله ناراحتی گرمایی و استرس گرمایی شود (Xiong et al., 2023). افزایش دما همچنین می‌تواند منجر به افزایش مصرف انرژی برای خنک کردن محیط‌های داخلی و خارجی و افزایش هزینه‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای شده و سبب افزایش آلودگی هوا شود، زیرا هوا، گرم‌تر و پایدارتر می‌شود و ذرات آلاینده بیشتری را در جو به دام می‌اندازد (Moradi & Rezaei Moghaddam, 2020; Barati, Farajzadeh Asl & Borna, 2022). این وضعیت می‌تواند منجر به افزایش بیماری‌های حاد مانند آسم و بیماری‌های قلبی - عروقی و همچنین بیماری‌های مزمن تنفسی شود (Shorabeh, Kakroodi, Firozjaei, Minaei & Homaei, 2022). همچنین، افزایش دما و کاهش فضاهای سبز می‌تواند اثرات منفی بر زیستگاه‌های طبیعی شهری و پیرامون شهری داشته باشد و منجر به کاهش تنوع زیستی و کیفیت محیط شود (Kim, 2024). پدیده جزیره گرمایی شهری (UHI) در دهه‌های اخیر موضوع تحقیقات گسترده‌ای بوده است، با تمرکز ویژه بر جزیره گرمایی سطح شهری (SUHI) جایی که مناطق شهری در مقایسه با محیط‌های روستایی اطراف خود، دمای بالاتری را تجربه می‌کنند. با این حال، بررسی نسبتاً کمتری از پدیده جزیره خنک سطح شهری (SUCI)^۱ انجام شده است (Guha et al., 2024; Mahmoudzadeh, Naghdbishi & Momeni, 2018). یکی از عوامل اصلی که به تشکیل جزیره گرمایی شهری کمک می‌کند، تغییرات کاربری اراضی و پوشش اراضی است، مانند تخریب لکه‌های سبز شهری، پوشش گیاهی، ساخت‌وساز جدید، سازه‌های بتنی، جاده‌ها و کوچه‌های آسفالتی و فعالیت‌های صنعتی و خانگی که گسترش و توسعه جزیره گرمایی شهری را تسریع می‌کند (Gandomkar & Salehi, 2022). امروزه، استفاده از تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای برای مطالعه و ارزیابی تغییرات در دمای سطح و جزایر گرمایی در مقایسه با روش‌های سنتی، هزینه‌های تحقیق را به میزان قابل توجهی کاهش داده است. در حال حاضر، افزایش دمای سطح و ظهور جزایر گرمایی شهری به دلیل اثرات مخربی که دارد، یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در شهرها است (Das, Mondal, Sutradhar & Ghosh, 2021). بنابراین، پایش فضایی - زمانی و کنترل شدت جزایر گرمایی برای تجزیه و تحلیل محیط حرارتی در مقیاس شهر ضروری و بسیار مهم است. چرا که شناسایی چنین ناهنجاری‌هایی در محیط حرارتی شهری، اطلاعات مفیدی را جهت تجهیز مناطق شهری برای انعطاف‌پذیری و پایداری بیشتر فراهم می‌کند (Mohammadi & Afifi, 2021). در این راستا، تصاویر سنجش از دور به دلیل قابلیت‌های خاص خود به طور گسترده توسط محققان برای تخمین دمای سطح استفاده شده‌اند و صحت آنها در تخمین دمای سطح تأیید شده است (Das et al., 2021).

علی‌رغم افزایش شهرنشینی و تغییرات مرتبط در لکه‌های سبز شهری، کاربری و پوشش اراضی، کمبود درک جامع از رابطه بین فضای سبز، خواص بیوفیزیکی سطح و اثر جزیره گرمایی سطح شهری (SUHI) در شهر موصل وجود دارد. این شکاف دانش مانع از استراتژی‌های مؤثر کاهش و سازگاری با تغییرات آب و هوایی محلی می‌شود. بنابراین، نیاز به بررسی تعامل بین فضای سبز، خواص بیوفیزیکی سطح و SUHI برای درک بهتر الگوهای فضایی جزایر حرارتی شهری موصل وجود دارد. این مطالعه با هدف ارزیابی تغییرات شبانه‌روزی در دمای سطح زمین (LST) و جزیره گرمایی سطح شهری (SUHI) در شهر موصل و همبستگی آنها با شاخص‌های NDVI، NDBI و MNDWI و سایر ویژگی‌های بیوفیزیکی انجام گرفت.

ادبیات پژوهش

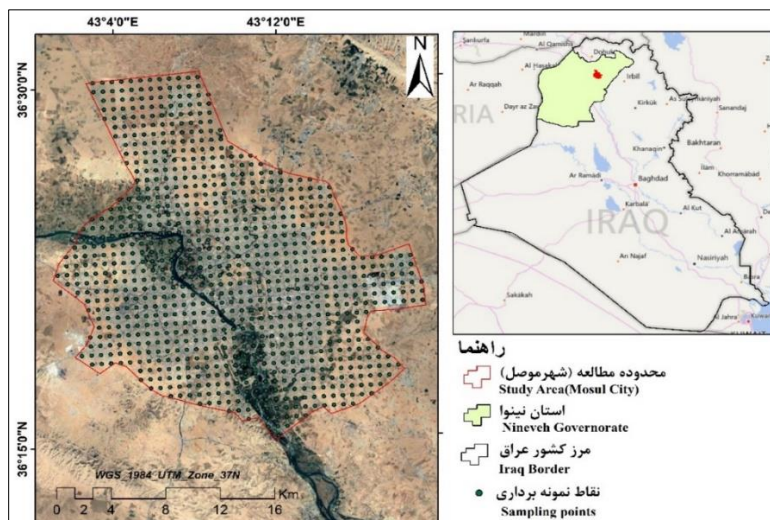
مناطق شهری و برون‌شهری مدت زیادی است که شاهد پدیدهٔ جزیرهٔ حرارتی بوده‌اند (Liu et al., 2024b). جزیرهٔ حرارتی به دلیل از بین رفتن پوشش‌های طبیعی و ایجاد سطوح فیزیکی مصنوعی مانند ساختمان‌ها و آسفالت شکل می‌گیرد. این سطوح انرژی خورشیدی را در طول روز جذب کرده و در شب انرژی گرمایی را به دام می‌اندازند، که باعث می‌شود دما در مراکز شهری، به‌ویژه در شب‌های آرام و صاف، ۶ تا ۸ درجه سلسیوس بالاتر از مناطق حومه باشد (Liu et al., 2024b; Wesley & Brunsell, 2019). جزایر حرارتی شهری به دلیل وجود عوامل مختلفی در مناطق شهری شکل می‌گیرند که این عوامل را می‌توان به دو دستهٔ عمده تقسیم کرد. عوامل بیوفیزیکی شامل نوع و درصد پوشش‌های گیاهی و آب‌های موجود در سطح شهر هستند. مطالعات نشان داده‌اند که الگوهای فضای سبز شهری می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر شدت جزایر حرارتی داشته باشند (Liu et al., 2024a). از سوی دیگر، عوامل انسانی شامل ویژگی‌های ساختاری و معماری ساختمان‌ها، نوع مصالح مورد استفاده، و الگوهای ترافیک و فعالیت‌های انسانی هستند. تأثیرات زیرساخت‌های شهری و تعاملات بین فضاهای سبز و مناطق ساخته شده نیز به‌عنوان عوامل مؤثر در ایجاد جزایر حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است (Wesley & Brunsell, 2019; Guan & Hu, 2025). برای کاهش اثرات منفی جزایر حرارتی، می‌توان از راهکارهای متنوعی استفاده کرد. استفاده از فضاهای سبز، مانند پارک‌ها و باغ‌ها، می‌تواند به کاهش دما و بهبود کیفیت هوا کمک کند (Demisse Negesse, Hishe & Getahun, 2024). طراحی بام‌های سبز و دیوارهای سبز نیز به عنوان استراتژی‌های مؤثر در کاهش دما و بهبود شرایط زیست‌محیطی شناخته می‌شوند (Wu, Zhou & Ren, 2024). همچنین، استفاده از مصالح سرد با انعکاس بالای تابش خورشیدی می‌تواند به کاهش دما در سطح ساختمان‌ها و خیابان‌ها کمک کند (Xiao, Dong, Yan, Yang & Xiong, 2018). با توجه به افزایش جمعیت شهری و پدیده جزیره حرارتی، اجرای این راهکارها می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی شهروندان و کاهش مشکلات زیست‌محیطی کمک کند (Xu et al., 2022).

فضاهای سبز شهری (UGS)^۱ پتانسیل کاهش دمای مناطق اطراف را از طریق تبخیر، فراهم کردن سایه و افزایش آلودگی دارند (Bowler, Buyung-Ali, Knight & Pullin, 2010). بنابراین، UGS به عنوان یک استراتژی کاهش UHI برای انواع مختلف UGS (مانند پارک‌ها، چمن، بام‌ها و دیوارهای سبز) با روش‌های مختلف (مانند اندازه‌گیری‌های میدانی، سنجش از دور و شبیه‌سازی‌های مدل) به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. با این حال، شدت اثرات خنک‌کنندگی UGS به طرز قابل توجهی با نوع UGS، زمینهٔ شهری و اقلیمی متفاوت است. بیشتر مطالعات اثرات خنک‌کنندگی محلی UGS همچنین بر محدودهٔ محدودی از مکان‌ها، نوع خاصی از UGS و یا دامنه‌ای از روش‌هایی که به راحتی قابل مقایسه نیستند، متمرکز شده‌اند (Bartessaghi Koc & Tschanz, 2018)، که شناسایی اثرات خنک‌کنندگی UGS را که در مناطق شهری جهانی مختلف قابل اعمال است، محدود می‌کند. با افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی، نیاز به اطلاعات دقیق و به‌روز در مورد وضعیت محیط‌های شهری ضروری است. تحلیل جزایر حرارتی، که ناشی از افزایش سطوح سخت و کاهش سطوح گیاهی است، نیز با استفاده از داده‌های حرارتی امکان‌پذیر است و می‌تواند تأثیرات این پدیده بر کیفیت زندگی ساکنان را بررسی کند (Darbani et al., 2023). علاوه بر این، سنجش از دور به عنوان ابزاری برای بررسی الگوهای رشد شهری و پیش‌بینی توسعه‌های آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Leonardo et al., 2025). در نهایت، این تکنیک به پایش کیفیت هوا، آلودگی و تغییرات اقلیمی نیز کمک می‌کند و اطلاعات حیاتی برای مدیریت بحران‌های محیطی را فراهم می‌آورد (Shorabeh et al., 2022). مطالعات زیادی در این مورد انجام شده است که مرور مطالعات گذشته نشان می‌دهد که پژوهش‌های متعددی به بررسی رابطهٔ پوشش گیاهی، توسعهٔ شهری و تغییرات دمای سطح زمین پرداخته‌اند.

امین‌زاده و قشلاق‌پور (Aminzadeh & Gheshlaghipour, 2020) در تهران با استفاده از شاخص NDVI و LST نشان دادند که افزایش فضا‌های سبز موجب کاهش دمای سطحی و بهبود شرایط زیست‌محیطی می‌شود، درحالی‌که گسترش سطوح ساخته‌شده دما را افزایش می‌دهد. پژوهش ثروتی و همکاران (Servati, Latifi, Soltani & Sanaeiyan, 2021) نیز با بهره‌گیری از داده‌های سنجنده MODIS و تحلیل GIS در تهران، بر نقش جزایر حرارتی شهری و تأثیر تمرکز تراکم ساختمانی بر افزایش دما تأکید دارد. انصاری و نوروزی (Ansari & Norouzi, 2022)، در اهواز با استفاده از NDVI و LST نشان دادند که همبستگی معناداری بین تراکم پوشش گیاهی و دمای سطح زمین وجود دارد و هر چه پوشش گیاهی کاهش یابد، شدت گرمای سطحی افزایش می‌یابد. مطالعه تیموری و همکاران (Teimouri, Moharrampour & Asghari Zamani, 2023) نیز در تبریز بدون اشاره به شاخص خاص، نشان داد که توسعه ساخت‌وساز و افزایش تراکم شهری به افزایش دمای سطحی منجر می‌شود. آدداس (Addas, 2023)، در جدّه عربستان با ترکیب LST و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) دریافت که زیرساخت‌های شهری تأثیر قابل توجهی بر الگوهای گرمایی دارند و افزایش سطوح ساخته‌شده به گسترش مناطق داغ منجر شده است. همچنین لو و همکاران (Lu et al., 2024) در پکن با استفاده از LST و GITS تأکید کردند که زیرساخت‌های آبی و نفوذپذیر می‌توانند نقش مؤثری در کاهش گرمای شهری داشته باشند. درنهایت لئوناردو و همکاران (Leonardo et al., 2025) در ایالت رسیف برزیل با استفاده از NDVI و LST نشان دادند که افزایش پوشش گیاهی و کاهش کاربری‌های ساختمانی، نقش مهمی در تعدیل دمای سطح و بهبود شرایط حرارتی منطقه دارد. با توجه به این موارد پژوهش حاضر به ارزیابی اثرات توزیع لکه‌های سبز شهری و ویژگی‌های بیوفیزیکی سطح بر الگوهای فضایی جزایر حرارتی شهری با استفاده تکنیک‌های سنجش از دور و GIS (مطالعه موردی: شهر موصل) پرداخته است.

منطقه مورد مطالعه

شهر موصل در شمال عراق دارای اقلیم نیمه‌خشک با تابستان‌های بسیار گرم و خشک و زمستان‌هایی نسبتاً سرد و مرطوب است. میانگین دمای سالانه بین ۳ تا ۴۳ درجه سلسیوس متغیر است و در تابستان دما گاهی به بیش از ۴۵ درجه می‌رسد. فصل گرم از اوایل ژوئن تا پایان سپتامبر و فصل سرد از نوامبر تا مارس ادامه دارد. ژوئیه گرم‌ترین و ژانویه سردترین ماه‌ها هستند. میانگین بارش موصل سالانه حدود ۳۶۴ میلی‌متر می‌باشد که بیشتر در زمستان و بهار رخ می‌دهد. ماه‌های دسامبر تا مارس بیشترین بارش را تجربه می‌کنند و تابستان تقریباً بدون بارش است. درصد پوشش ابر در ماه‌های سرد بیشتر است و رطوبت در تابستان به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (WeatherSpark, 2024). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهر موصل را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهر موصل

Fig. 1. Geographical location of Mosul City

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر که با هدف ارزیابی اثرات توزیع لکه‌های سبز شهری و ویژگی‌های بیوفیزیکی سطح بر الگوهای فضایی جزایر حرارتی شهری انجام شده است در گام نخست با بهره‌گیری از داده‌های هواشناسی ایستگاه همدید شهر موصل، به ترتیب دماهای کمینه و بیشینه (۱۴ ژوئیه ۲۰۲۴ برابر با ۲۴ تیر ۱۴۰۳ به عنوان گرمترین روز سال در شهر موصل و ۲۸ ژانویه ۲۰۲۴ برابر با ۸ بهمن ۱۴۰۲ به عنوان سردترین روز سال در شهر موصل) انتخاب شد و تصاویر ماهواره‌ای از جمله تصاویر سنتینل A۲، لندست ۹ و سنجنده MODIS مربوط به آن زمان‌ها در دو نوبت زمانی روزانه و شبانه تهیه گردید و سپس اقدام به پردازش و شناسایی جزایر حرارتی در شهر موصل گردید. در نهایت با اعمال همپوشانی نتایج حاصل از محاسبات دمای سطح با لکه‌های سبز شهری (شامل پارک‌ها، باغ‌ها، فضا‌های سبز عمومی و حتی بام‌های سبز) و ویژگی‌های بیوفیزیکی سطح شهر از جمله لایه‌های پوشش گیاهی، نوع سطح، رطوبت خاک، ساختمان‌ها و آب‌های سطحی و محاسبه میزان همبستگی بین آنها، اقدام به تشریح توزیع جزایر حرارتی در سطح شهر موصل شد. جهت انجام تحقیق جاری از نرم افزارهای ArcGIS، eCognition developer، ENVI5.3 و اکسل جهت محاسبات آماری استفاده شد. لازم به ذکر است که با توجه به اختلاف قابل توجه وضوح مکانی بین داده‌های لندست و مادیس (۳۰ متر در مقابل ۱۰۰۰ متر)، از ریسمپلینگ خودداری شد. به جای آن، با به کارگیری ابزار Fishnet در ArcGIS، شبکه‌ای همگن از نقاط نمونه ایجاد (شکل ۱)، و مقادیر دمای سطح زمین (LST) و سایر شاخص‌های طیفی در موقعیت‌های مکانی یکسان از هر دو منبع استخراج گردید. سپس تحلیل‌های آماری بر پایه این داده‌های یکپارچه در محیط اکسل انجام شد. این رویکرد، هم‌مکانی دقیق شاخص‌های چندمقیاسه را بدون تخریب اطلاعات مکانی ممکن ساخت. همچنین، روند کلی انجام تحقیق در شکل ۲ به صورت فلوجارت نمایش داده شده است.

محاسبه دمای روزانه سطح زمین (تصاویر سطح دوم لندست ۹)

در تصاویر سطح دوم (Level-2) ماهواره‌های لندست، تصحیحات اتمسفری، گسیلندگی سطح و تبدیل‌های رادیومتریکی به صورت خودکار در فرآیند تولید داده‌ها انجام شده است. بنابراین، باند مربوط به دمای سطح زمین مستقیماً بیانگر دمای واقعی سطح بوده و نیازی به مراحل میانی مانند محاسبه رادیانس، دمای درخشندگی یا تابندگی سطح ندارد. تنها کافی است مقدار عددی هر پیکسل با استفاده از ضرایب مقیاس و ثابت‌های کالیبراسیون که در متادیتای تصویر ارائه شده‌اند، به واحد دما تبدیل شود (USGS, 2021; Thammaboribal, Triapthti & Lipiloet, 2025). فرمول عمومی تبدیل مقدار پیکسل حرارتی (QTIR) به دمای سطح زمین بر حسب درجه سلسیوس به صورت رابطه (۱) است:

$$LST = (0.00341802 \times QTIR + 149) - 273.15 \quad (1)$$

شکل ۲ مراحل محاسبه دمای سطح زمین از داده‌های خام لندست را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است به دلیل استفاده از تصاویر سطح دوم (Level-2)، مراحل میانی ذکر شده در شکل صرفاً برای درک روند محاسبات نظری ارائه شده‌اند.

محاسبه دمای شبانه سطح زمین (تصاویر سنجنده مادیس)

دمای سطح زمین، شبانه از محصول آماده MODIS LST (MOD11A1, Version 6.1) استخراج شد. این محصول به صورت عملیاتی و با استفاده از الگوریتم دوکاناله (Split-Window) بر پایه باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ تولید شده است (Guillevic et al., 2018). در این پژوهش، دمای سطح زمین به صورت مستقیم از این محصول استخراج شده و محاسبه الگوریتمی مجدد انجام نشده است. همچنین، مجموعه‌ای از شاخص‌های طیفی جهت نیل به هدف تحقیق بر روی تصاویر مختلف اعمال شد که اهم این شاخص‌های طیفی سنجش از دور در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات تصاویر استفاده شده در روند تحقیق

Table 1- Specifications of the satellite images used in the research process

تاریخ Date	قدت تفکیک مکانی Spatial resolution	ماهواره Satellite
۱۴ ژوئیه ۲۰۲۴ 14 July 2024	۳۰ متر 30 meter	لندست ۹ Landsat9
۲۸ ژانویه ۲۰۲۴ 28 January 2024	۳۰ متر 30 meter	لندست ۹ Landsat9
۱۴ ژوئیه ۲۰۲۴ 14 July 2024	۱ کیلومتر 1 Kilometer	ترا-سنجنده MODIS
۲۸ ژانویه ۲۰۲۴ 28 January 2024	۱ کیلومتر 1 Kilometer	ترا-سنجنده MODIS
۱۴ ژوئیه ۲۰۲۴ 14 July 2024	۱۰ متر 10 meter	سنتینل 2A- Sentinel 2A
۲۸ ژانویه ۲۰۲۴ 28 January 2024	۱۰ متر 10 meter	سنتینل 2A- Sentinel 2A

روش طبقه‌بندی شیء‌گرا - الگوریتم جنگل تصادفی

الگوریتم جنگل تصادفی بر اساس مجموعه‌ای از درخت‌های تصمیم کار می‌کند و با ترکیب پیش‌بینی‌های چندین درخت، دقت و پایداری مدل را افزایش می‌دهد. ایده اصلی جنگل تصادفی این است که به جای استفاده از یک درخت تصمیم واحد، مجموعه‌ای از درخت‌های تصمیم را به‌طور تصادفی ایجاد کرده و در نهایت نتیجه آن‌ها را جمع‌بندی کند (Belgiu & Drăguț, 2016). طبقه‌بندی شیء‌گرا با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در نرم افزار eCognition Developer، روشی قدرتمند برای تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های مکانی است. این الگوریتم با ایجاد درخت‌های تصمیم متعدد و ترکیب نتایج آن‌ها، دقت طبقه‌بندی را بهبود می‌بخشد. یکی از مزایای اصلی این الگوریتم در پردازش تصاویر ماهواره‌ای این است که می‌تواند به‌خوبی با داده‌های چندطیفی و ابرطیفی سازگار شود و با ترکیب ویژگی‌های بافتی، طیفی و مکانی، دسته‌بندی با دقت بالایی ارائه دهد. علاوه بر این، قابلیت محاسبه اهمیت ویژگی‌ها در این الگوریتم کمک می‌کند تا ویژگی‌های مؤثر در دسته‌بندی مشخص شوند، که این موضوع در تحلیل تغییرات کاربری اراضی بسیار ارزشمند است (Gislason, Benediktsson & Sveinsson, 2006).

شاخص جزیره گرمای سطحی شهر (SUHI)

جهت تحلیل کمی اثر جزیره حرارتی شهری در منطقه مورد مطالعه، از شاخص شدت (SUHI) استفاده شده است. برای به‌کارگیری این روش، ابتدا لازم است که مناطق شهری و مرجع به درستی مشخص شوند (Zhang et al., 2024). با استناد به تحقیقات مرتبط در خصوص دمای مرجع، از دمای سطح زمین (LST) در مرکز شهر به‌عنوان نماینده دمای شهری و از دمای LST در فضاهای باز پیرامون و پارک‌ها به‌عنوان نماینده دمای مناطق حومه (مرجع) استفاده شده است. تفاوت میان این دو مقدار نشان‌دهنده شدت SUHI است. اگر مقدار محاسبه شده بزرگ‌تر از صفر باشد، وجود پدیده جزیره حرارتی شهری را نشان می‌دهد (معمولاً نواحی مرکزی شهر با پوشش آسفالت و بتن)، اگر مساوی صفر باشد، منطقه مورد نظر هیچ تفاوتی با دمای مرجع ندارد و ممکن است خود منطقه مرجع یا فضای سبز باشد و اگر کمتر از صفر باشد، به معنای وجود اثر خنک جزیره‌ای است (Lu, He, Xu & Qiao, 2021). استفاده از SUHI به جای UHI در این مطالعه به دلیل تمرکز بر دمای سطح زمین (LST) است. رابطه SUHI به صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Zhang et al., 2024):

$$\text{SUHI} = \text{LST}_{\text{شهری}} - \text{LST}_{\text{مرجع}} \quad (۲)$$

LST شهری: میانگین دمای مناطق شهری.

LST مرجع: میانگین دمای مناطق غیرشهری (مانند پارک‌ها، زمینهای کشاورزی یا مناطق کم تراکم).

جدول ۲- شاخص‌های سنجش از دور

Table 2- Remote sensing indices

منبع Source	معادله Equation	قدرت تفکیک مکانی Spatial resolution	ماهواره Satellite	شاخص Index
Almohamad & Alshwesh, 2023	$\frac{(((\text{Green} + \text{Red} + \text{SWIR2}) / 3) - \text{SWIR1})}{(((\text{Green} + \text{Red} + \text{SWIR2}) / 3) + \text{SWIR1})}$	10	سنیتینل 2A Sentinel2A	BLFEI ¹
Kaimaris & Patias, 2016	$\frac{\rho\text{SWIR2} - \rho\text{NIR}}{\rho\text{SWIR2} + \rho\text{NIR}} + 1$	10	سنیتینل 2A Sentinel2A	UI ²
Ling et al., 2022	$\frac{SI + \text{NDBI}}{2}$	10	سنیتینل 2A Sentinel2A	NDBSI ³
Zha, Gao & Ni, 2003; Kaimaris & Patias, 2016; Dapke et al., 2025	$\frac{\rho\text{NIR} - \text{pred}}{\rho\text{NIR} + \text{pred}}$	10	سنیتینل 2A Sentinel2A	NDBI ⁴
Kaimaris & Patias, 2016; Bouhennache, Bouden, Taleb-Ahmed & Cheddad, 2019	$\frac{\left[\frac{2\rho\text{SWIR1}}{(\rho\text{SWIR1} + \rho\text{NIR})} - \frac{\rho\text{NIR}}{(\rho\text{NIR} + \rho\text{Red})} - \frac{\rho\text{Green}}{(\rho\text{Green} + \rho\text{SWIR1})} \right]}{\left[\frac{2\rho\text{SWIR1}}{(\rho\text{SWIR1} + \rho\text{NIR})} + \frac{\rho\text{NIR}}{(\rho\text{NIR} + \rho\text{Red})} + \frac{\rho\text{Green}}{(\rho\text{Green} + \rho\text{SWIR1})} \right]}$	10	سنیتینل 2A Sentinel2A	IBI ⁵
Kaimaris & Patias, 2016	$\frac{\rho\text{pred} - \rho\text{SWIR1}}{\rho\text{NIR}}$	10	سنیتینل 2A	NBI ⁶
Dapke et al., 2025	$\frac{\rho\text{NIR} - \rho\text{SWIR1}}{\rho\text{NIR} + \rho\text{SWIR1}}$	10	سنیتینل 2A	⁷ NDMI
Yu, Yang, Jiang, Zhan & Zhan, 2024a; Sun et al., 2015	$\frac{\rho\text{Green} - \rho\text{NIR}}{\text{Green} + \rho\text{NIR}}$	10	سنیتینل 2A	⁸ NDWI
	$\frac{\rho\text{Green} - \rho\text{SWIR1}}{\text{Green} + \rho\text{SWIR1}}$	10	سنیتینل 2A	⁹ MNDWI
Yu et al., 2024b	$\frac{\rho\text{NIR} - \rho\text{Red}}{\rho\text{NIR} + \rho\text{Red}}$	10	سنیتینل 2A	¹⁰ NDVI
Yaghoobi, Vafaenejad, Moradi & Hashemi, 2022	$\frac{(\rho\text{NIR} - \rho\text{Red})(1+L)}{\rho\text{NIR} + \rho\text{Red} + L}, L=0.5$	10	سنیتینل 2A	SAVI ¹¹
Sun et al., 2015	$\frac{(\rho\text{SWIR1} + \rho\text{Red}) - (\rho\text{NIR} + \rho\text{Blue})}{(\rho\text{SWIR1} + \rho\text{Red}) + (\rho\text{NIR} + \rho\text{Blue})}$	10	سنیتینل 2A	¹² SI

1- built-up land features extraction index

2- Urban Index

3- Normalized Difference Bare Soil Index

4- Normalized Built-up Index (NDBI)

5- Index-based Built-up Index

6- New Built up Index

7- Normalized Difference Moisture Index

8- Normalized Difference Water Index

9- Modified Normalized Difference Water Index

10- Normalized Difference Vegetation Index

11- Soil Adjusted vegetation Index

12- Surface Impermeability

اثر خنک‌کنندگی لکه‌های سبز (GSCEI)

این شاخص میزان اثر خنک‌کنندگی لکه‌های سبز را روی مناطق اطرافشان بررسی می‌کند که از طریق رابطه (۳) به دست می‌آید.

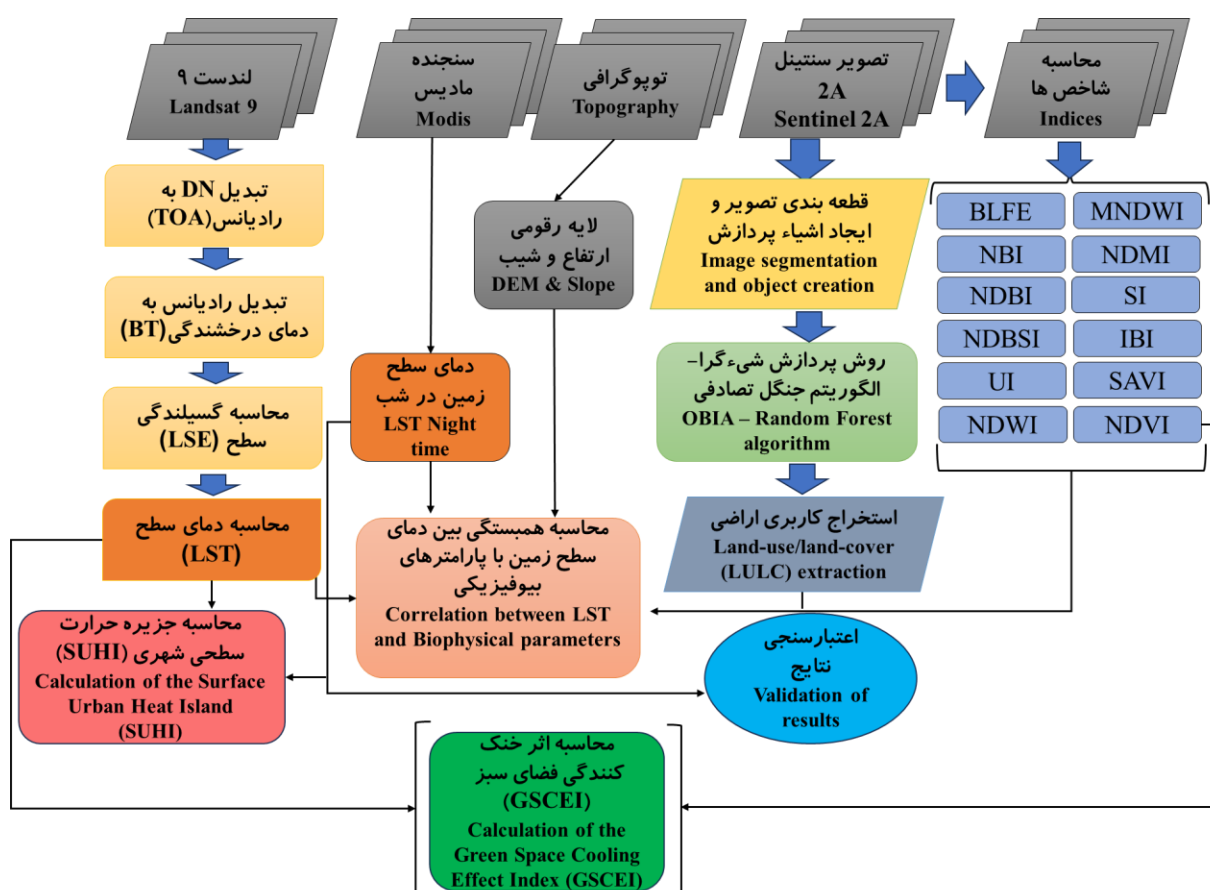
$$GSCEI = LST_{buffer} - LST_{green\ space}$$

(۳)

LST_{green} : میانگین دمای سطح در محدوده فضای سبز

$LST_{surrounding}$: میانگین دمای سطح در حریم اطراف آن (در این پژوهش فواصل ۱۰۰ متر شعاعی از محدوده‌های فضای سبز در نظر گرفته شده است)

مقادیر بالاتر GSCEI نشان‌دهنده اثر خنک‌کنندگی قوی‌تر فضای سبز است، در حالی که مقادیر پایین یا منفی بیانگر تأثیر ضعیف یا قرارگیری فضای سبز در مناطق گرم است (Li, Zhou, Zhao & Zhao, 2020).



شکل ۲- فلوچارت کلی تحقیق

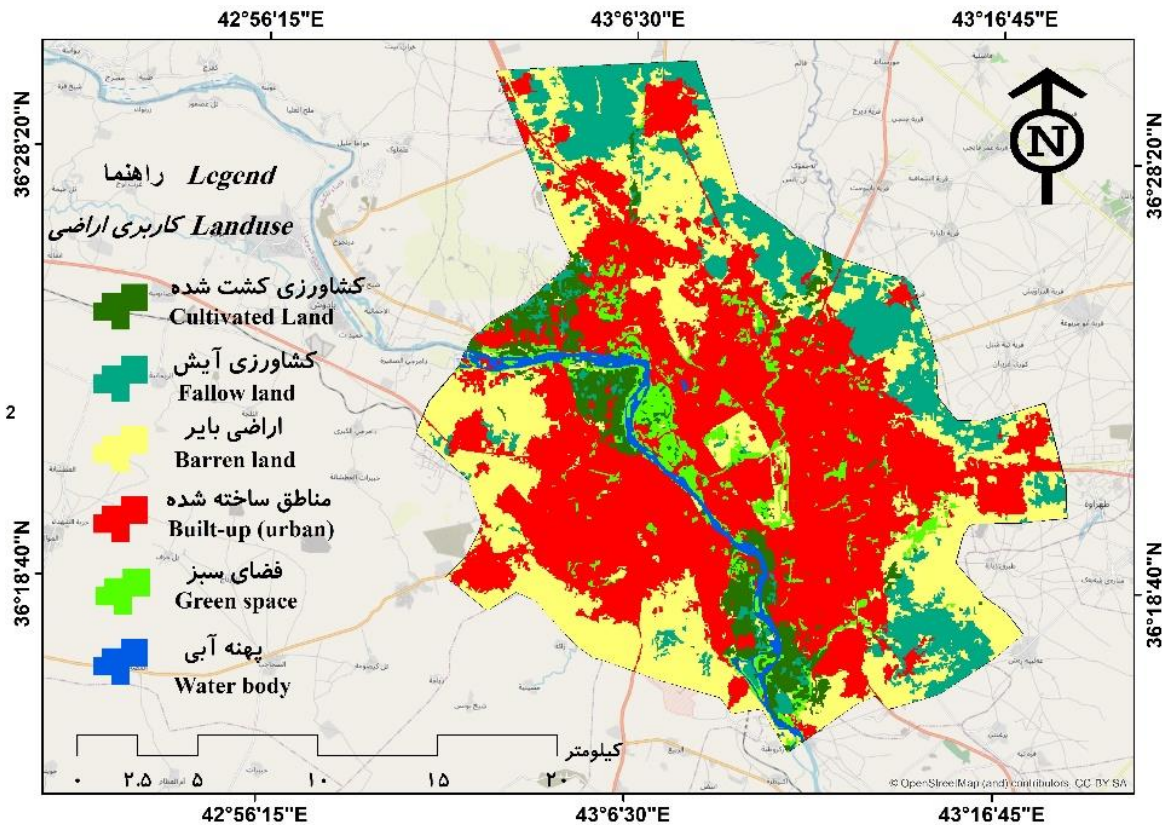
Fig. 2. General Flowchart of the Research

نتایج و بحث

طبقه‌بندی شیء-گرا-الگوریتم جنگل تصادفی

برای درک بهتر الگوهای حرارتی و تفکیک نواحی شهری از اراضی طبیعی و کشاورزی، ابتدا نقشه کاربری اراضی شهر موصل (شکل ۳) تهیه شد. این نقشه مبنای تفسیر نقشه‌های دمای سطح زمین و سایر شاخص‌های حرارتی قرار گرفت. نتیجه نهایی حاصل

از اعمال الگوریتم جنگل تصادفی در محیط نرم افزار اکوگنیشن جهت طبقه‌بندی و استخراج کاربری اراضی در سال ۲۰۲۴ در شکل ۳ و جدول ۳ ارائه شده است. مطابق نتیجه به دست آمده، دمای سطح زمین (LST) در چهار بازه روزانه و شبانه، تابستان و زمستان نشان داد که نوع کاربری اراضی تأثیر مهمی بر الگوی حرارتی موصل دارد؛ در تابستان، کاربری‌های صنعتی و تجاری (با دمای روزانه 38.199°C و شبانه 43.007°C) و همچنین مناطق مسکونی متراکم به دلیل مصالح جذب‌کننده گرما، کمبود پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی بالاترین دما را ثبت کردند، در حالی که فضاهای سبز و کشاورزی (با دمای روزانه 29.131°C و شبانه 31.055°C) نقش خنک‌کنندگی قابل توجهی داشتند؛ این تفاوت‌ها به‌ویژه در شب، پدیده جزیره حرارتی شهری را تشدید می‌کند زیرا مناطق غیرسبز گرمای ذخیره‌شده روز را بازتاب می‌دهند. در زمستان نیز همین الگو با شدت کمتر تکرار شد؛ به‌طوری که فضاهای طبیعی سردترین و مناطق صنعتی و مسکونی همچنان گرم‌ترین بودند که نشان‌دهنده ظرفیت بالای نگهداری گرما در این کاربری‌هاست. این یافته‌ها پیامدهای گسترده‌ای در آسایش حرارتی، مصرف انرژی و برنامه‌ریزی شهری دارند و بر ضرورت سیاست‌گذاری برای ایجاد تعادل میان فضاهای ساخته شده و سبز، توسعه لکه‌های سبز در مناطق متراکم و طراحی هوشمند اقلیمی شهری با انتخاب مناسب موقعیت، تراکم و مصالح ساختمانی تأکید می‌کنند.



شکل ۳- کاربری اراضی شهر موصل-۲۰۲۴
Fig. 3. Land use of Mosul city – 2024

دمای سطح زمین (LST)

دمای سطح زمین برای چهاردهم ماه ژوئیه ۲۰۲۴ (۲۴ام تیر ۱۴۰۲) در شکل‌های ۴ و ۵ و ۲۸ام ژانویه ۲۰۲۴ (۸م بهمن ۱۴۰۲) در شکل‌های ۶ و ۷ که شهر موصل بیشترین و کمترین دما را تجربه کرده، در دو بازه روزانه و شبانه این تاریخ مورد پردازش قرار گرفت. پیش از تحلیل نقشه‌های دمای سطح زمین، داده‌های دمایی ایستگاه همدیدی فرودگاه موصل به عنوان نماینده شرایط شهری بررسی شد. از آن‌جا که ایستگاه دمایی مجزایی برای حومه وجود نداشت، مقادیر متناظر مناطق غیرشهری از میانگین پیکسل‌های مناطق روستایی و بایر اطراف شهر (بر اساس تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ و مودیس) استخراج شد. داده‌های روزانه مربوط به زمان عبور ماهواره لندست ۹ در حدود ساعت ۱۰:۳۰ صبح و داده‌های شبانه مربوط به MODIS در حدود ساعت ۲۲:۳۰ شب (به وقت محلی) هستند. در تابستان ۲۰۲۴، میانگین دمای سطح در محدوده شهری حدود ۴۱ تا ۴۳ درجه سلسیوس و در مناطق غیرشهری حدود ۳۷ تا ۳۸ درجه سلسیوس برآورد شد؛ در حالی‌که در زمستان این مقادیر به ترتیب ۱۱ تا ۱۸ و ۸ تا ۱۰ درجه سلسیوس بوده است. این اختلاف نشان‌دهنده وجود پدیده جزیره حرارتی شهری، به ویژه در دوره‌های شبانه تابستان است.

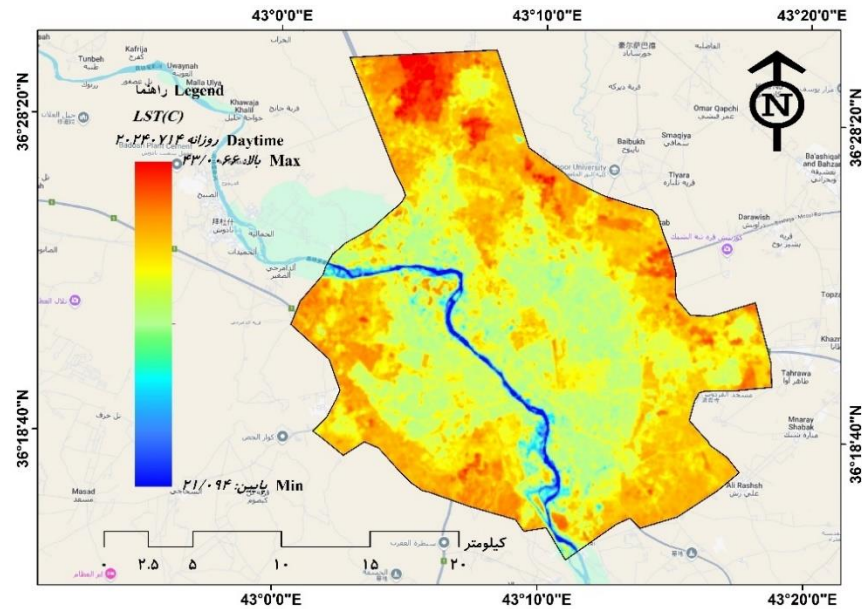
جدول ۳- تأثیر کاربری اراضی بر دمای سطح

Table 3- Impact of Land Use on Land Surface Temperature

ویژگی	کاربری نوع	آب جکت تعداد	مساحت (هکتار)	کمینه	بیشینه	دامنه	میانگین	معیار انحراف
Feature	Land-use type	Object Number	Area (hec)	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD
دمای روزانه سطح زمین تابستان LST Day time Summer	Built-up (urban) شده ساخته (شهری)	225086	20264.14	22.483	42.047	19.564	34.671	1.492
	Barren land بایر اراضی	133986	12091.93	23.599	42.572	18.973	37.471	1.360
	Fallow land ایشاکشاورزی	67846	6120.25	27.282	43.007	15.725	38.199	1.806
	Green space سبزی فضای	25793	2321.11	21.586	40.778	19.191	33.583	2.310
	Cultivated land شده کشتک شاورزی	27922	2513.77	21.823	39.904	18.081	34.007	2.450
	Water body آبی پهنه	9465	852.03	21.094	37.845	16.751	26.100	3.159
دمای شبانه سطح زمین تابستان LST Night time Summer	Built-up (urban) شده ساخته (شهری)	225049	20264.14	23.920	31.055	7.135	29.131	1.379
	Barren land بایر اراضی	133798	12091.93	23.418	31.055	7.636	27.947	1.436
	Fallow land ایشاکشاورزی	67880	6120.25	23.702	30.618	6.916	26.434	1.140
	Green space سبزی فضای	25778	2321.11	23.702	31.055	7.353	27.960	1.905
	Cultivated land شده کشتک شاورزی	27905	2513.77	23.702	31.055	7.353	26.206	1.303
	Water body آبی پهنه	9466	852.03	23.702	29.658	5.956	25.940	1.270
دمای روزانه سطح زمین زمستان LST Day time Winter	Built-up (urban) شده ساخته (شهری)	225086	20264.14	-0.572	15.999	16.571	12.155	0.899
	Barren land بایر اراضی	133986	12091.93	8.748	18.292	9.543	13.516	0.708
	Fallow land ایشاکشاورزی	67846	6120.25	9.962	16.303	6.340	13.519	0.818
	Green space سبزی فضای	25793	2321.11	9.583	16.091	6.508	12.683	0.977
	Cultivated land شده کشتک شاورزی	27922	2513.77	10.250	15.671	5.421	13.008	0.761
	Water body آبی پهنه	9465	852.03	9.867	15.277	5.411	12.011	1.114
دمای شبانه سطح زمین زمستان LST Night time Winter	Built-up (urban) شده ساخته (شهری)	80984	20264.14	5.570	9.890	4.320	8.446	0.820
	Barren land بایر اراضی	48244	12091.93	5.350	9.790	4.440	7.295	0.753
	Fallow land ایشاکشاورزی	24379	6120.25	5.350	9.150	3.800	6.556	0.620
	Green space سبزی فضای	9310	2321.11	6.030	9.890	3.860	8.389	0.710
	Cultivated land شده کشتک شاورزی	10072	2513.77	5.430	9.790	4.360	7.643	0.826
	Water body آبی پهنه	3415	852.03	6.930	9.770	2.840	8.526	0.646

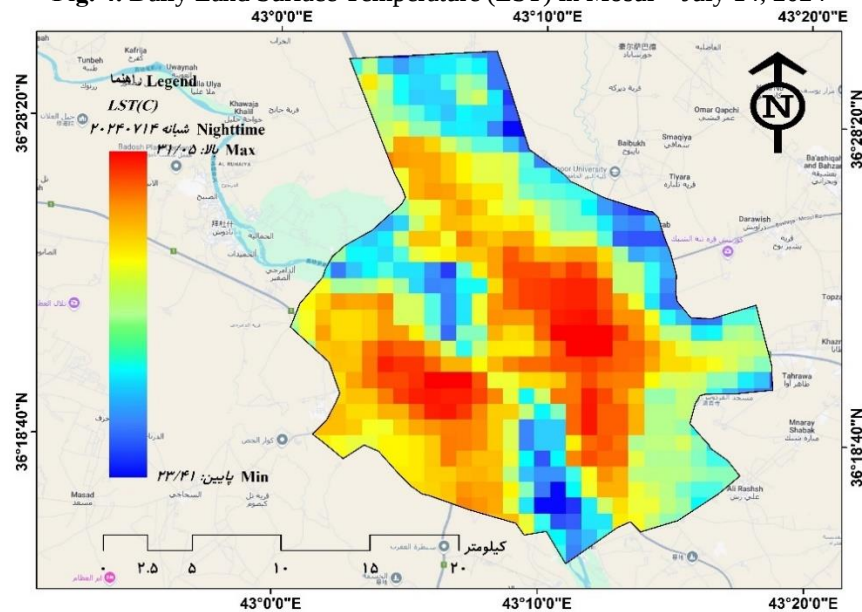
در ادامه نتایج آورده شده است. اشکال ۴ تا ۷ دمای سطح زمین را به صورت روزانه و شبانه در دو فصل تابستان و زمستان در شهر موصل نشان می‌دهند. نتایج LST روز و شب در موصل (۱۴ ژوئیه ۲۰۲۴) نشان می‌دهند که برخلاف الگوی معمول، حاشیه‌های شهر در روز داغ‌تر از مرکز هستند که به سطوح خاکی و بی‌پوشش مربوط می‌شود. در شب، مناطق مرکزی و جنوب شرقی گرمای بیشتری نگه می‌دارند که ناشی از اثر جزیره حرارتی شهری است. تحلیل گرادیان دمایی شرق-غرب و شمال-جنوب تفاوت‌های فضایی معناداری را نشان می‌دهد. این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که کاربری زمین نقش تعیین‌کننده‌ای در الگوی دمایی دارد: سطوح خاکی و

بی‌پوشش در حاشیه، بیشترین جذب حرارت روزانه را دارند، در حالی که نواحی متراکم مرکزی به دلیل ظرفیت حرارتی بالای مصالح، گرمای شبانه را حفظ می‌کنند. تفاوت گرمایش روزانه و سرمایش شبانه میان دو پهنه، منشأ اصلی ایجاد الگوهای دمایی ناهمگن در محدوده شهری موصل است. این پدیده‌ها بر سلامت، مصرف انرژی و منابع آبی اثر منفی دارند. کناره‌های رودخانه دجله نیز که از میان بافت مرکزی شهر عبور می‌کند، به‌عنوان یکی از عناصر آبی خنک‌کننده نقش مهمی در کاهش دمای سطحی دارند. وجود آب، رطوبت نسبی بالاتر و پوشش گیاهی حاشیه‌ای سبب ایجاد نوارهای خنک‌تر در مقایسه با نواحی پیرامونی خشک شهر شده است.



شکل ۴- دمای روزانه سطح زمین (LST) در شهر موصل- ۱۴ ژوئیه ۲۰۲۴

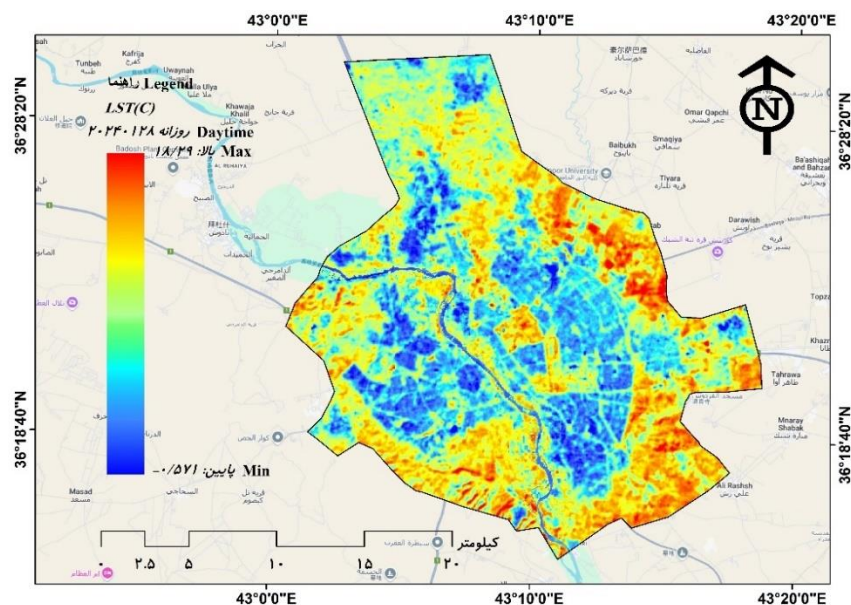
Fig. 4. Daily Land Surface Temperature (LST) in Mosul – July 14, 2024



شکل ۵- دمای شبانه سطح زمین (LST) در شهر موصل- ۱۴ ژوئیه ۲۰۲۴

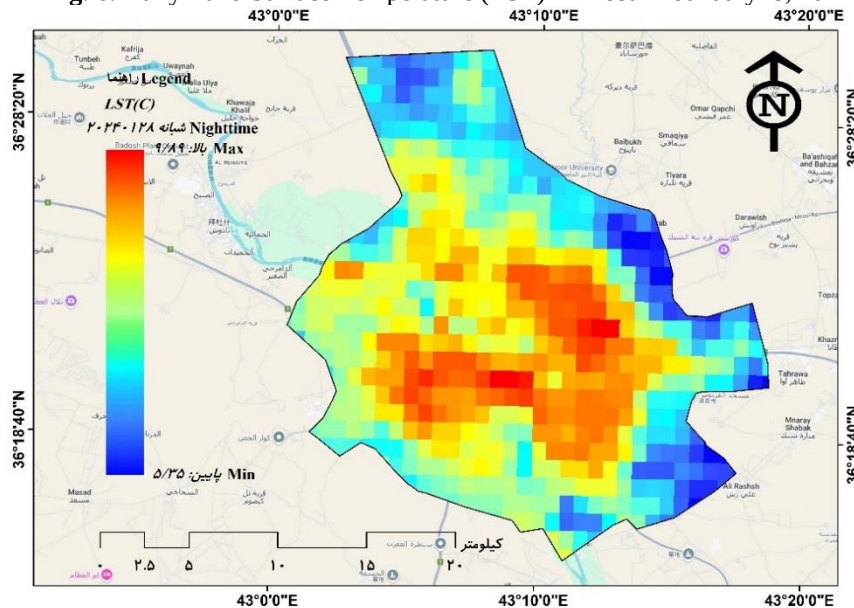
Fig. 5. Nighttime Land Surface Temperature (LST) in Mosul – July 14, 2024

در نقشه روز زمستانی موصل (۲۸ ژانویه)، بیشتر مناطق به ویژه مرکز و اطراف دجله دمای پایینی دارند، در حالی که حاشیه‌های خشک شمالی و شرقی کمی گرم‌ترند. تغییرات دما در هر دو جهت شرق-غرب و شمال-جنوب ملایم بوده و به یکنواختی زمینی و تابش ضعیف زمستانی مرتبط است. در شب، نواحی مرکزی و جنوبی گرما را حفظ می‌کنند و اثر جزیره حرارتی شهری ظاهر می‌شود. در مقابل، مناطق شمالی و پوشش‌دار به سرعت سرد می‌شوند.



شکل ۶- دمای روزانه سطح زمین (LST) در شهر موصل - ۲۸ ژانویه ۲۰۲۴

Fig. 6. Daily Land Surface Temperature (LST) in Mosul – January 28, 2024



شکل ۷- دمای شبانه سطح زمین (LST) در شهر موصل - ۲۸ ژانویه ۲۰۲۴

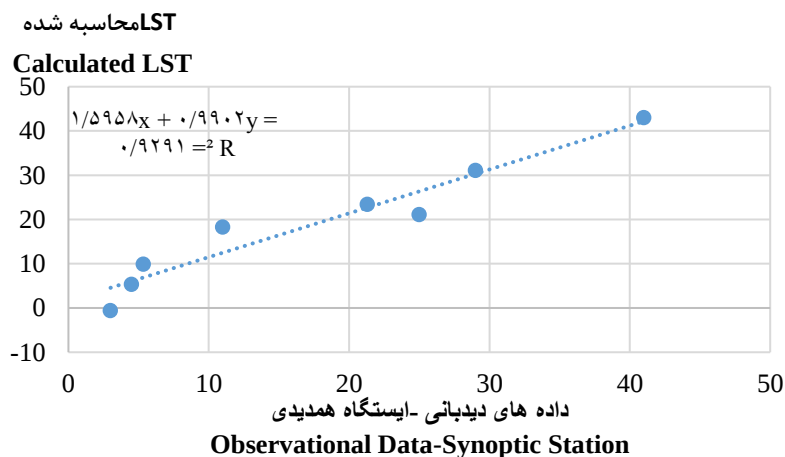
Fig. 7. Nighttime Land Surface Temperature (LST) in Mosul – January 28, 2024

شکل ۸ برازش داده های زمینی دمای ایستگاه همدیدی فرودگاه موصل برای تاریخ های ۱۴ ژوئیه و ۲۸ ژانویه در جدول ۴ ارائه شده است. ایستگاه همدیدی فرودگاه موصل با داده های محاسبه شده دما در زمان های روز و شب تابستان و زمستان را نشان می دهد که با ضریب تبیین ۰/۹۲ نشان از برازش خوب داده ها و بالا بودن دقت محاسبات مربوط به LST در شهر موصل عراق می باشد.

جدول ۴- داده های مربوط به دما (درجه سلسیوس) در ایستگاه همدید فرودگاه موصل

Table 4- Temperature Data from the Mosul Airport Synoptic Station

ایستگاه همدیدی فرودگاه موصل Mosul Airport Synoptic Station	داده های دیدبانی Observational Data	LST محاسبه شده Calculated LST
حداکثر دما روزانه تابستان Summer daytime maximum temperature	41	43
حداکثر دما شبانه تابستان Summer nighttime maximum temperature	29	31.0545
حداکثر دما روزانه زمستان Winter daytime maximum temperature	11	18.2922
حداکثر دمای شبانه زمستان Winter nighttime maximum temperature	5.33	9.89
حداقل دما روزانه تابستان Summer daytime minimum temperature	25	21.09
حداقل دما شبانه تابستان Summer nighttime minimum temperature	21.3	23.4182
حداقل دمای روزانه زمستان Winter daytime minimum temperature	3	-0.5719
حداقل دمای شبانه زمستان Winter nighttime minimum temperature	4.5	5.35
همبستگی Correlation		0.963908
ضریب تبیین Coefficient of determination (R ²)		0.92



شکل ۸- همبستگی بین داده های ایستگاه همدیدی و دمای سطح زمین

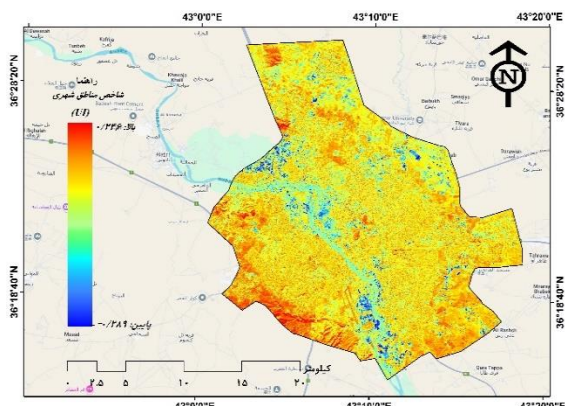
Fig. 8. Correlation between Synoptic Station Data and Land Surface Temperature (LST)

The map displays the study area, which is a large, irregularly shaped urban area. The area is color-coded according to the legend, with colors ranging from red (highest BLFE) to blue (lowest BLFE). The map includes a scale bar (0 to 2 km) and a north arrow. The map is bounded by coordinates 43°0'0"E to 43°20'0"E and 38°28'20"N to 38°40'56"N. The map shows the location of the BLFE (Bakhtiari Landfill) and the surrounding urban area of Shiraz. The map includes a color-coded legend for the BLFE, a scale bar, and a north arrow. The map is bounded by coordinates 43°0'0"E to 43°20'0"E and 38°28'20"N to 38°40'56"N.

[illegible]

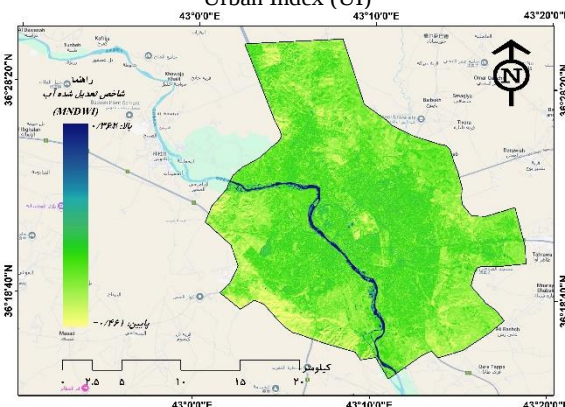
The map displays the study area with a color-coded legend indicating different land use/cover types. The legend includes categories such as 'Urban' (red), 'Agriculture' (yellow), 'Forest' (green), 'Water' (blue), and 'Barren' (grey). The map also shows the location of the National Defense Science and Engineering Center (NDSEC) and the surrounding urban area. The map is bounded by 36°16'40"N to 36°23'30"N and 43°0'0"E to 43°20'0"E. A scale bar indicates distances in kilometers (0 to 2.5 km). A north arrow is present in the top right corner.

شاخص تفاوت نرمال شده خاک بدون پوشش (NDBSI)
Normalized Difference Bare Soil Index (NDBSI)



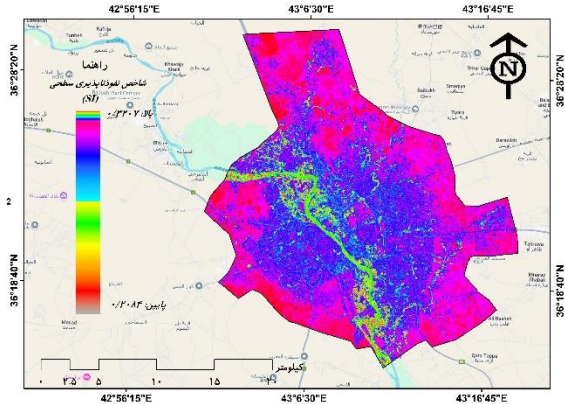
شاخص مناطق شهری (UI)

Urban Index (UI)



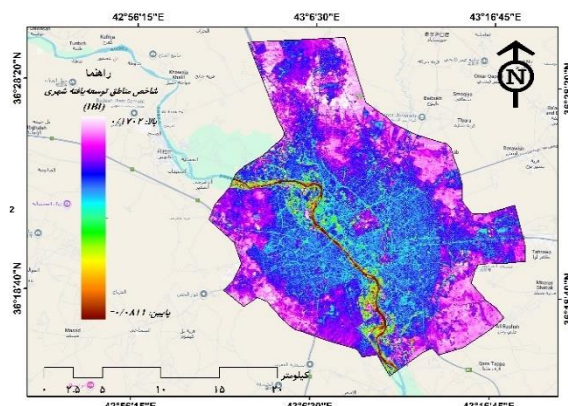
شاخص تعدیل شده آب (MNDWI)

Modified Normalized Difference Water Index



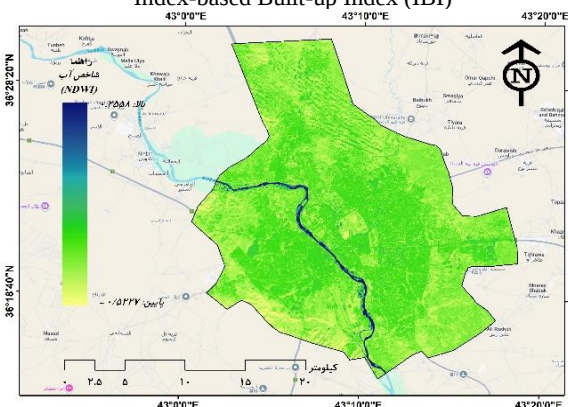
شاخص نفوذناپذیری سطحی

Surface Impermeability Index (SI)



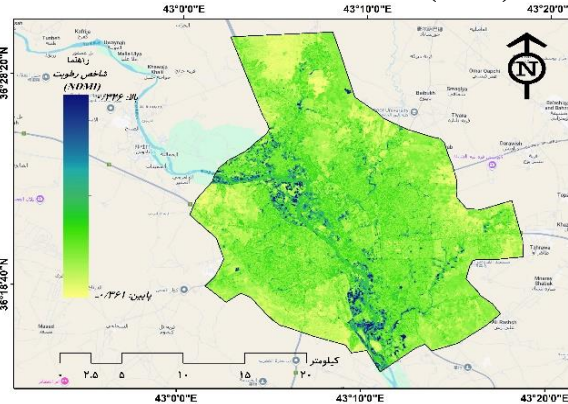
شاخص بر مبنای مناطق ساخته شده (IBI)

Index-based Built-up Index (IBI)



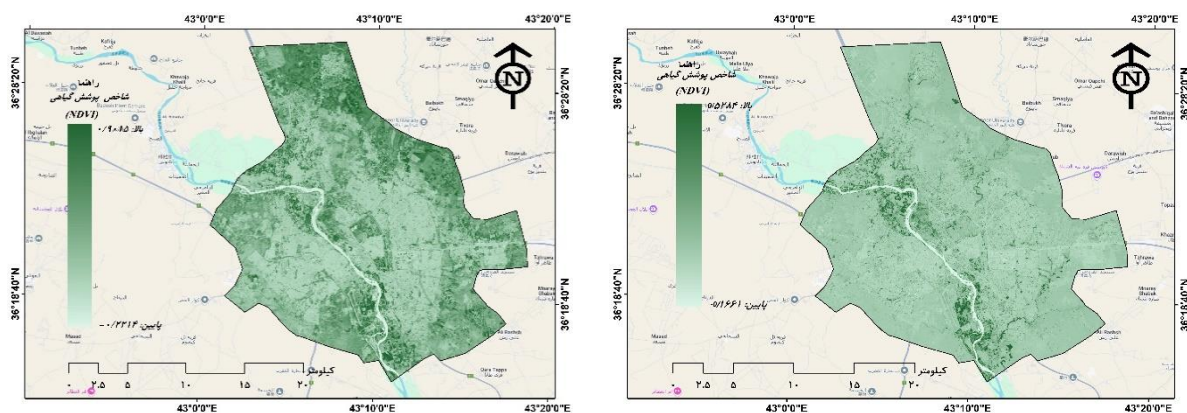
شاخص تفاوت نرمال شده آب (NDWI)

Normalized Difference Water Index (NDWI)



شاخص رطوبت (NDMI)

Normalized Difference Moisture Index (NDMI)



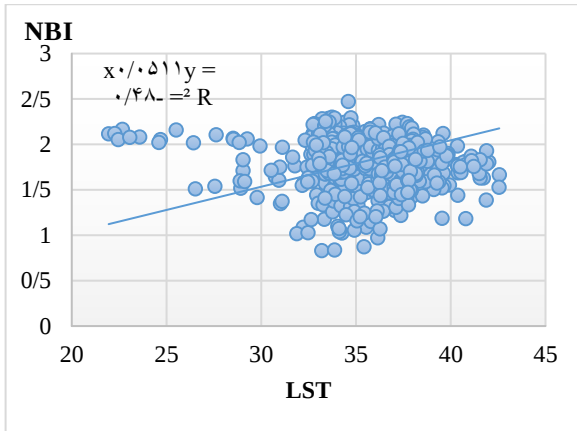
شاخص پوشش گیاهی (NDVI) - ۲۸ ژانویه
 Normalized Difference Vegetation Index – January 28

شاخص پوشش گیاهی (NDVI) - ۱۴ ژوئیه
 Normalized Difference Vegetation Index – July 14

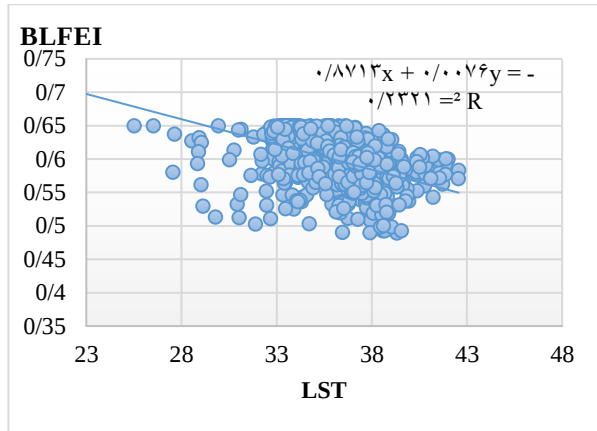
شکل ۹- شاخص‌های بیوفیزیکی سطح

Fig. 9. Surface Biophysical Indices

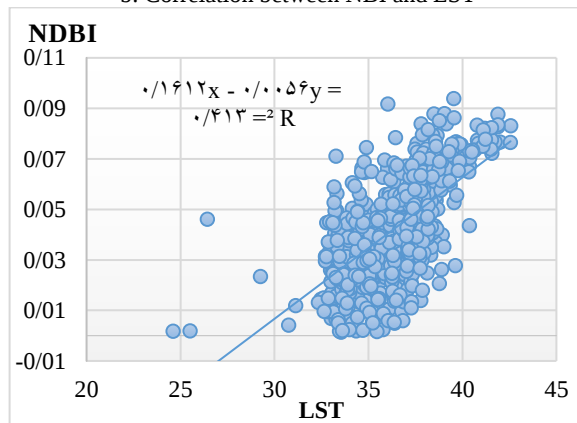
همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، بین شاخص‌های پوشش گیاهی (شکل ۹-د؛ NDVI و ۹-ذ؛ SAVI) و دمای سطح زمین (LST) رابطه منفی قوی وجود دارد، در حالی که شاخص‌های سطوح نفوذناپذیر (شکل ۹-ت؛ NDBI و ۹-خ؛ SI) رابطه مثبت و معناداری با دما نشان می‌دهند. این همبستگی‌ها بیانگر آن است که افزایش پوشش گیاهی باعث کاهش دمای سطح و در مقابل، افزایش مناطق ساخته‌شده موجب تشدید جزایر حرارتی شهری می‌شود. تحلیل شاخص‌های بیوفیزیکی و پوشش زمین در ارتباط با دمای سطح زمین (LST) به عنوان متغیر کلیدی بیانگر شدت جزایر حرارتی، اهمیت فراوانی دارد. بررسی ضریب تعیین بین LST و شاخص‌های منتخب، نشان داد که شاخص NBI یا میزان توسعه یافته بودن مناطق ساخته‌شده (شکل ۹-ب)، با ضریب تعیین بسیار بالا (۰.۹۷۶۵)، بیشترین قدرت تبیین دمای سطحی را دارد و به‌وضوح ارتباط قوی توسعه فیزیکی شهری با گرمایش سطح زمین را تأیید می‌کند. این یافته تأکیدی است بر آنکه گسترش مناطق ساختمانی در موصل، نقش مستقیمی در تقویت پدیده جزایر حرارتی ایفا می‌کند. به‌خصوص در هسته مرکزی شهر، که تراکم ساختمانی و کاهش نفوذپذیری سطح بالاست، این اثر تشدید می‌شود. همچنین شاخص‌های مرتبط با منابع آبی مانند (شکل ۹-چ؛ NDWI و شکل ۹-ج؛ MNDWI) با ضرایب تعیین به ترتیب ۰.۹۰۰۶ و ۰.۸۲۰۶، تأثیر بسیار منفی و معناداری در کاهش دمای سطح دارند که نشان‌دهنده نقش تعدیل‌کننده منابع آبی در خنک‌سازی سطح زمین است. این یعنی لکه‌های آبی و سطوح مرطوب (نظیر رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، و زمین‌های آبیاری‌شده)، توانایی چشمگیری در تلطیف حرارتی دارند و حضور آن‌ها می‌تواند شدت SUHI را به طور محسوس کاهش دهد. در نقطه مقابل، شاخص‌هایی نظیر UI (شاخص توسعه شهری) (شکل ۹-ث) با مقدار بسیار پایین ۰.۰۵۸۵ و BLFE (شکل ۹-الف) با مقدار ۰.۲۳۲۱ تأثیر نسبتاً ضعیفی بر LST داشته‌اند که می‌تواند به دلیل همپوشانی اطلاعاتی یا محدودیت حساسیت آن‌ها در این منطقه خاص باشد.



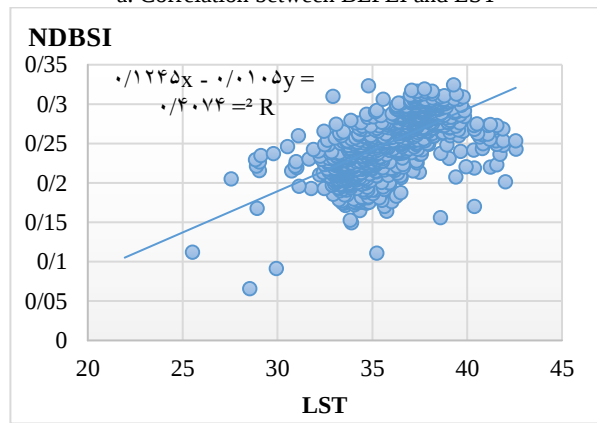
ب. رابطه همبستگی بین NBI و LST
b. Correlation between NBI and LST



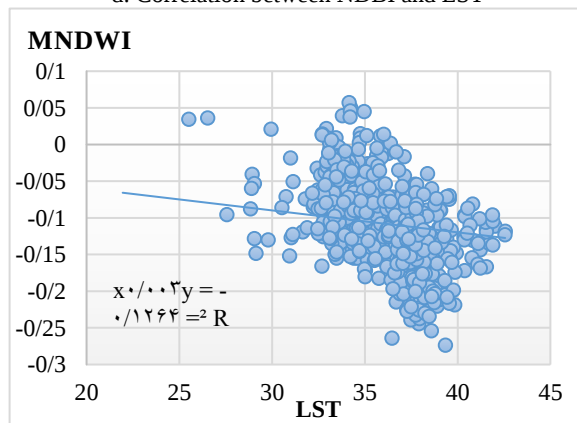
الف. رابطه همبستگی بین BLFEI و LST
a. Correlation between BLFEI and LST



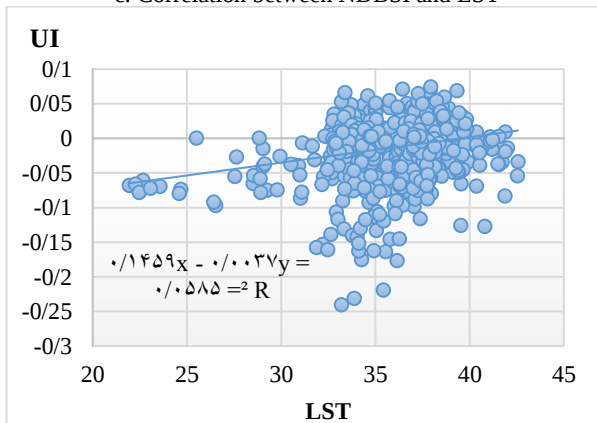
ت. رابطه همبستگی بین NDBI و LST
d. Correlation between NDBI and LST



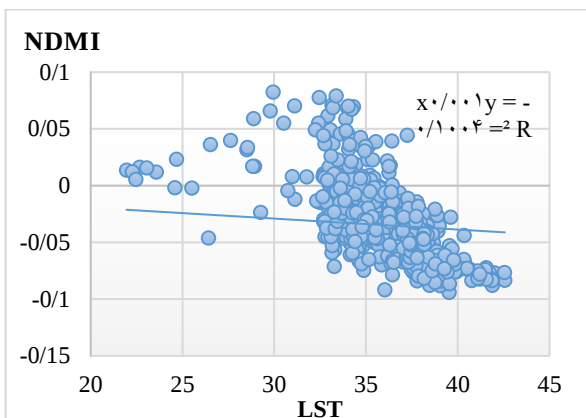
پ. رابطه همبستگی بین NDBSI و LST
c. Correlation between NDBSI and LST



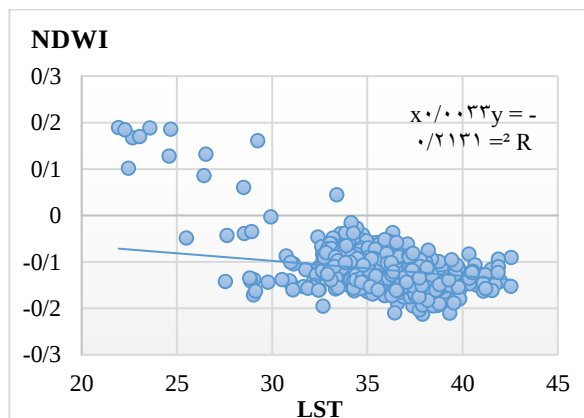
ج. رابطه همبستگی بین MNDWI و LST
f. Correlation between MNDWI and LST



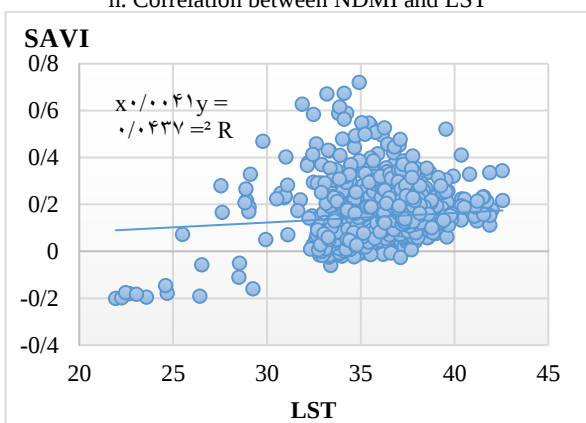
ث. رابطه همبستگی بین UI و LST
e. Correlation between UI and LST



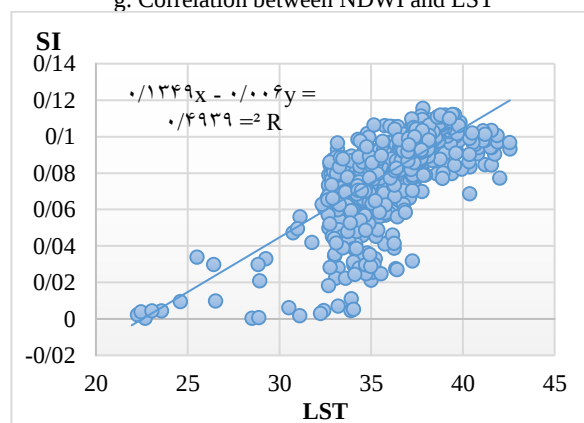
ج. رابطه همبستگی بین LST و NDMI
h. Correlation between NDMI and LST



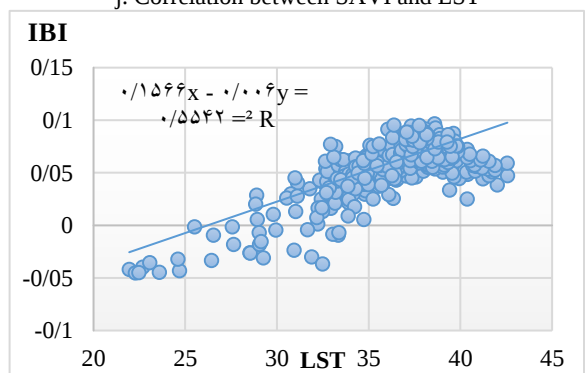
چ. رابطه همبستگی بین LST و NDWI
g. Correlation between NDWI and LST



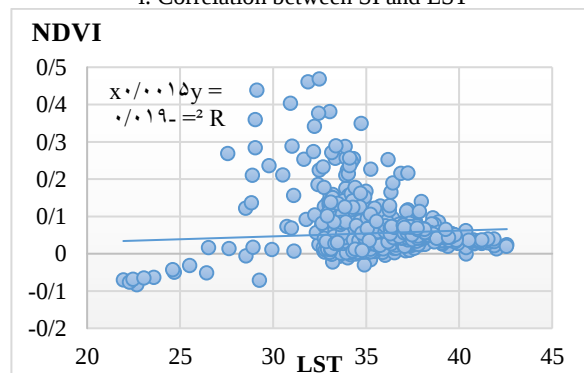
د. رابطه همبستگی بین LST و SAVI
j. Correlation between SAVI and LST



خ. رابطه همبستگی بین LST و SI
i. Correlation between SI and LST



ر. رابطه همبستگی بین LST و IBI
l. Correlation between IBI and LST



ذ. رابطه همبستگی بین LST و NDVI
k. Correlation between NDVI and LST

شکل ۱۰- همبستگی بین شاخص‌ها

Fig. 10. Correlation among the indices

از سوی دیگر، تحلیل ماتریس همبستگی بین متغیرهای بیوفیزیکی و دمای سطح زمین در چهار بازه زمانی (روز و شب در دو فصل تابستان و زمستان) (جدول ۵)، حاکی از آن است که الگوی همبستگی‌ها تحت تأثیر چرخه زمانی و فصل قرار می‌گیرد. در بررسی ماتریس همبستگی نتایج تقریباً با ضریب تعیین هم‌راستا هستند. شاخص‌هایی مانند NBI با مقدار همبستگی $+0.456$ با

LST_SD و SI با $0.40/+$ ، رابطه مستقیم و قوی با افزایش دما نشان داده‌اند. در دوره روزانه تابستان (LST_SD)، شاخص‌های گیاهی مانند NDVI_S و SAVI به ترتیب همبستگی‌های منفی -0.833 و -0.517 نشان داده‌اند، که حاکی از نقش حیاتی تأثیر خنک‌کنندگی پوشش گیاهی در کاهش گرمای روز است. این تأثیر در شب کاهش یافته اما همچنان محسوس است. شاخص‌های آبی نظیر NDWI و MNDWI نیز با ضرایب -0.266 و -0.856 نقش تعدیل‌کننده پرنرنگی در کاهش دما دارند. همچنین، شاخص SI (شاخص نفوذناپذیری سطحی) همبستگی مثبت قابل توجهی با LST در هر دو فصل و بازه زمانی دارد که نشان‌دهنده نقش سطوح سخت و بدون پوشش در افزایش گرمای سطحی می‌باشد. ویژگی‌های توپوگرافی نظیر Slope و DEM نیز با مقادیر همبستگی متوسط تا بالا (Slope: 0.376 و DEM: 0.553) بیانگر آن‌اند که پستی‌بلندی زمین نیز در توزیع دمای سطح مؤثر است، به‌ویژه در مناطق با شیب‌های بالا که امکان تجمع حرارت کمتر است و اهمیت ویژگی‌های فیزیوگرافی در تغییرات دمایی را یادآور می‌شوند. این نکته برای شهر موصل که دارای ساختار توپوگرافی نسبتاً متنوعی است، در تبیین مکان‌یابی لکه‌های سبز و اصلاح گرمای شهری می‌تواند کاربردی باشد. به‌طور کلی، ترکیب نتایج ماتریس همبستگی و ضریب تعیین به‌خوبی نشان می‌دهد که مؤلفه‌هایی مانند ساخت‌وساز، پوشش گیاهی، منابع آبی و ویژگی‌های توپوگرافی اصلی‌ترین عوامل اثرگذار بر شدت و توزیع دمای سطح زمین هستند که باید در برنامه‌ریزی شهری و مدیریت گرمایش شهری به‌طور جدی مدنظر قرار گیرند.

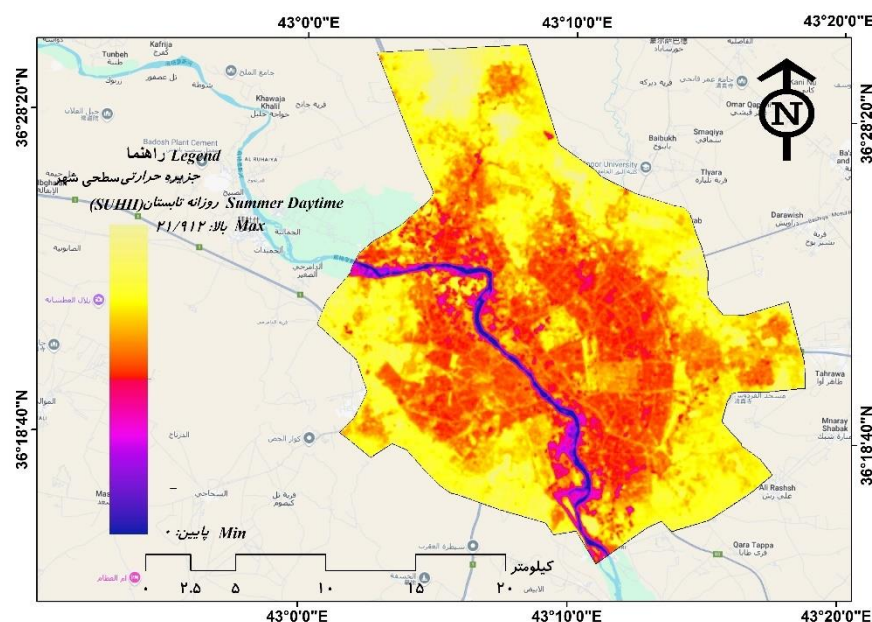
جدول ۵- ماتریس همبستگی بین متغیرهای تحقیق

Table 5- Correlation Matrix of Research Variables

ماتریس همبستگی	LST_SD	LST_SN	LST_WD	LST_WN	BLFE	NBI	NDBI	NDBSI	UI	NDWI_W	MNDWI	NDMI	SI	NDVI_S	NDVI_W	SAVI	IBI	DEM	Slope
LST_SD	1.000	0.449*	-0.018	-0.138	0.081	0.456*	0.035	0.532*	0.107	-0.266	0.866**	0.403*	0.984**	0.833**	0.182	0.517*	0.069	0.553**	0.376*
LST_SN	-0.161	1.000	0.110	0.587*	-	0.411*	0.329*	0.472*	0.539**	-0.478*	0.386*	0.472*	0.474*	0.433*	-0.242	-	0.318*	0.876**	0.514**
LST_WD	0.546**	-0.376	1.000	0.559*	-	0.377*	0.211	0.165	0.502**	-0.489*	0.503**	0.165	0.196	0.138	0.441*	0.377*	0.394*	0.102	0.029
LST_WN	-	0.705**	-	1.000	0.316*	0.559*	0.226	-	0.542**	0.000	0.350*	0.362*	0.193	-0.142	0.508*	0.310*	0.438*	0.355*	0.096
BLFE	-0.052	0.372*	-	0.377*	1.000	0.158	0.048	0.023	0.021	0.020	0.119	0.048	0.040	-0.082	-0.244	0.238	0.104	0.017	-0.059
NBI	-0.123	0.309*	-0.211	0.226	0.158	1.000	0.209	-	0.859**	0.219	-0.012	0.209	0.231	0.440*	0.712*	0.855**	0.043	0.119	0.087
NDBI	0.563**	0.070	0.165	-0.193	0.048	0.209	1.000	0.343*	0.364*	-0.174	-0.284	1.000	0.950**	0.716**	0.023	0.136	0.591**	0.418*	0.101
NDBSI	0.744**	-0.210	0.502*	0.542*	-	0.242	0.343*	1.000	0.163	0.787*	0.755**	0.343*	0.497*	0.212	0.564*	0.451*	0.788*	0.408*	0.035
UI	0.242	0.229	0.085	0.000	0.021	0.859**	0.364*	0.163	1.000	-0.219	0.487*	0.364*	0.430*	0.344*	0.441*	0.597**	0.360*	0.280	0.142
NDWI_W	-	0.642**	-	0.489*	0.020	0.219	0.174	0.787**	0.219	1.000	0.846**	0.174	0.275	-0.298	0.511*	0.482*	0.570**	0.276	0.111
MNDWI	-	0.686**	-	0.503*	0.119	0.012	0.284	0.755**	0.487*	0.846*	1.000	0.284	0.397*	-0.150	0.341*	0.314*	0.642**	0.332*	0.120
NDMI	-	0.563**	-0.070	-0.165	0.048	0.209	1.000	0.343*	0.364*	0.174	0.284	1.000	0.950**	0.716**	-0.023	0.136	0.591**	0.418*	0.101
SI	0.621**	0.087	0.196	-0.248	0.040	0.231	0.950**	0.497*	0.430*	-0.275	0.397*	0.950**	1.000	0.675**	0.018	0.133	0.778**	0.502**	0.093
NDVI_S	-0.102	-0.255	0.138	-0.142	-	0.440*	0.716**	0.212	0.344*	-0.298	-0.150	0.716**	0.675**	1.000	0.418*	0.485*	0.256	0.258	0.058
NDVI_W	0.487*	0.460*	0.441*	0.508*	0.244	0.712**	0.023	0.564**	0.441*	0.511*	0.341*	0.023	0.018	0.418*	1.000	0.810**	0.104	0.054	0.054
SAVI	0.295	0.323*	0.377*	0.310*	0.238	0.855**	0.136	0.451*	0.597**	-0.482*	0.314*	0.136	0.133	0.485*	0.810**	1.000	0.117	0.062	0.022
IBI	0.744**	-0.039	0.394*	-	0.104	0.043	0.788**	0.360*	0.360*	0.570*	0.642**	0.591**	0.778**	-0.256	0.257	0.117	1.000	0.549**	0.042
DEM	0.553**	0.023	0.102	-	0.017	0.119	0.418*	0.408*	0.280	-0.276	0.332*	0.418*	0.502*	-0.258	0.104	0.062	0.549**	1.000	0.114
Slope	0.092	0.171	0.029	0.096	0.059	0.087	0.101	0.035	0.142	-0.111	-0.120	0.101	0.093	-0.058	-0.054	0.022	0.042	0.114	1.000

شاخص جزیره گرمایی سطحی شهر (SUHI)

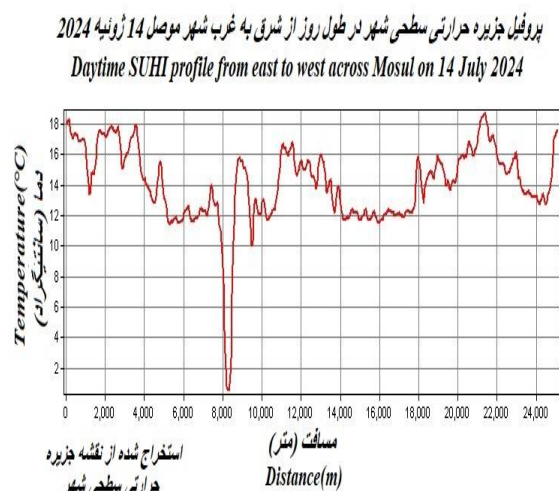
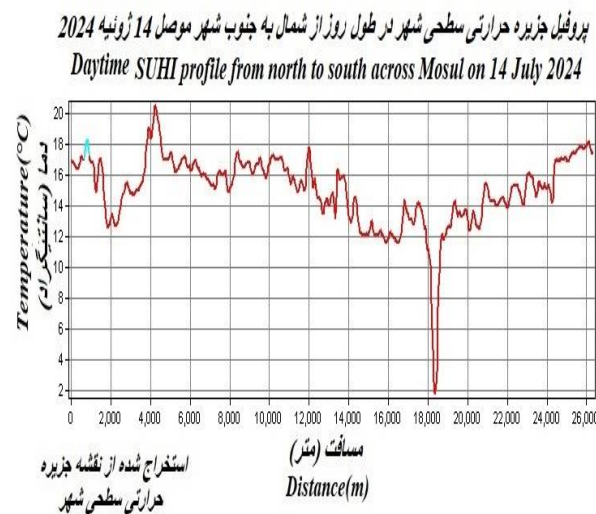
جزیره گرمایی سطحی شهر (SUHI) نتیجه ترکیب عوامل طبیعی و انسانی مانند تابش خورشید، گرمای تولیدشده توسط فعالیت‌های انسانی، مصالح ساختمانی و کاهش فضای سبز است. ساختارهای شهری تابش خورشید را جذب و به آرامی آزاد می‌کنند، در حالی که عوامل مانند آلبیدو پایین، دید محدود آسمان و کمبود تبخیر-تعرق برای به دام انداختن گرما کمک می‌کنند. مصالح ساختمانی با ظرفیت جذب بالا و آلاینده‌های هوا نیز با جذب و بازتابش گرما، اثر گلخانه‌ای کاذب ایجاد می‌کنند. مطالعات نشان می‌دهند که کاهش پوشش گیاهی (۳۸٪ در توکیو) و طراحی شهری نامناسب از عوامل تشدیدکننده جزایر حرارتی هستند (Rizwan & Dennis, 2008). این پدیده به دلیل تعامل پیچیده عوامل فیزیکی و انسانی، دمای شهرها را نسبت به مناطق اطراف افزایش می‌دهد. در شکل ۱۱ نقشه جزایر حرارتی شهر موصل در تاریخ ۱۴ ژوئیه ارائه شده است. در این شکل، برخلاف الگوی معمول SUHI، حاشیه‌های شهر داغ‌تر از مرکز آن هستند. این الگو ناشی از وجود زمین‌های بایر، بدون پوشش گیاهی و کشاورزی خشک‌شده در اطراف شهر است که گرمای زیادی جذب می‌کنند. در مقابل، مرکز شهر با وجود تراکم ساختمانی بالا، به دلیل حضور رودخانه دجله، فضای سبز و سایه‌اندازها، دمای سطحی کمتری دارد. مصالح ساختمانی مختلف نیز نقش مهمی در رفتار حرارتی ایفا می‌کنند.



شکل ۱۱- شاخص SUHI روزانه تابستان در تاریخ ۱۴ ژوئیه

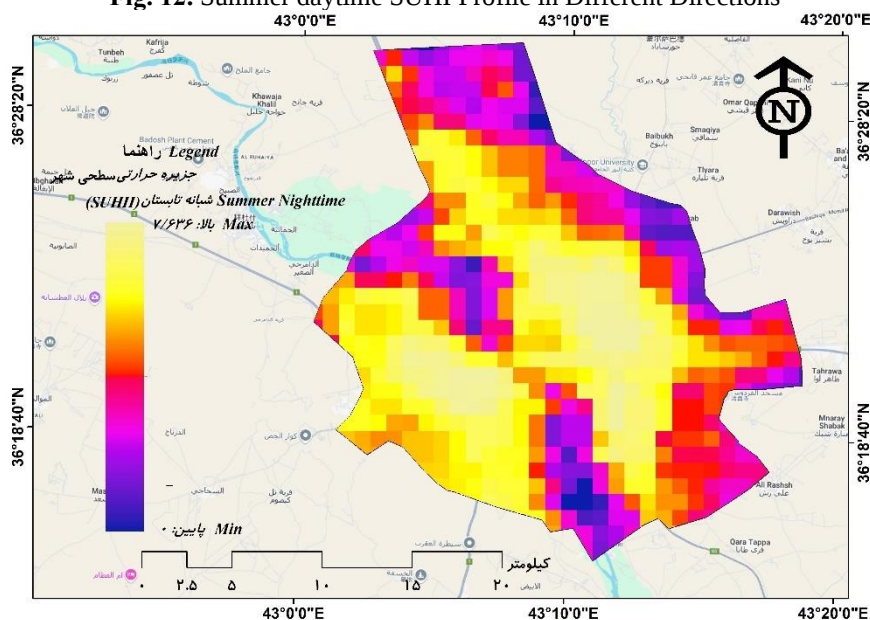
Fig. 11. Summer daytime SUHI index on 14 July

در شکل ۱۲ نمودارهای پروفیل SUHI در دو جهت، نوسانات دمایی را با توجه به نوع کاربری اراضی، میزان نفوذپذیری و تراکم ساخت‌وساز نشان می‌دهند. فرورفتگی‌های دمایی در نمودارها ناشی از لکه‌های سبز یا سطوح آبی هستند. کاهش دمای محسوس در مناطق خاص، تأثیر مستقیم پوشش سبز و عناصر خنک‌کننده سطحی را آشکار می‌کند. این تحلیل نشان می‌دهد که شدت SUHI به طور مکانی متغیر است و عوامل بیوفیزیکی نقش کلیدی دارند.



- الف-جزیره حرارتی روزانه از شرق به غرب ۱۴ ژوئیه
a. Daily heat island from east to west – July 14
- ب-جزیره حرارتی شمال به جنوب روزانه ۱۴ ژوئیه
b. Daily heat island from north to south – July 14
- شکل ۱۲-پروفیل جزیره حرارتی روزانه در جهات مختلف

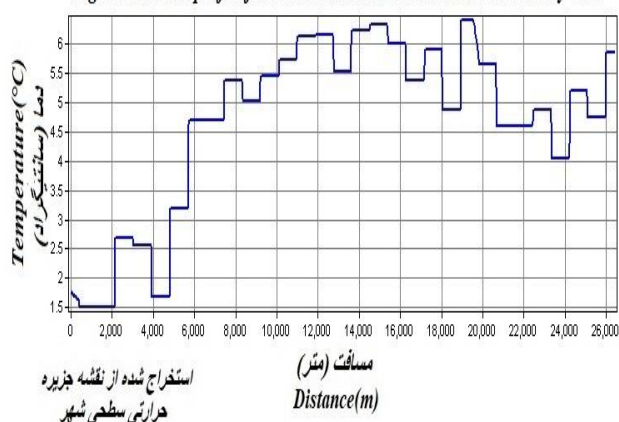
Fig. 12. Summer daytime SUHI Profile in Different Directions



شکل ۱۳- شاخص SUHI شبانه تابستان ۱۴ ژوئیه

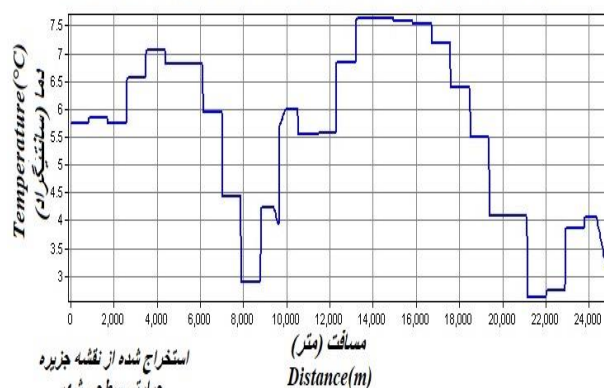
Fig. 13. Summer nighttime SUHI index on 14 July

پروفیل جزیره حرارتی سطحی شهر در طول شب از شمال به جنوب شهر موصل ۱۴ ژوئیه ۲۰۲۴
Nighttime SUHI profile from north to south across Mosul on 14 July 2024



استخراج شده از نقشه جزیره
حرارتی سطحی شهر

پروفیل جزیره حرارتی سطحی شهر در طول شب از شرق به غرب شهر موصل ۱۴ ژوئیه ۲۰۲۴
Nighttime SUHI profile from east to west across Mosul on 14 July 2024



استخراج شده از نقشه جزیره
حرارتی سطحی شهر

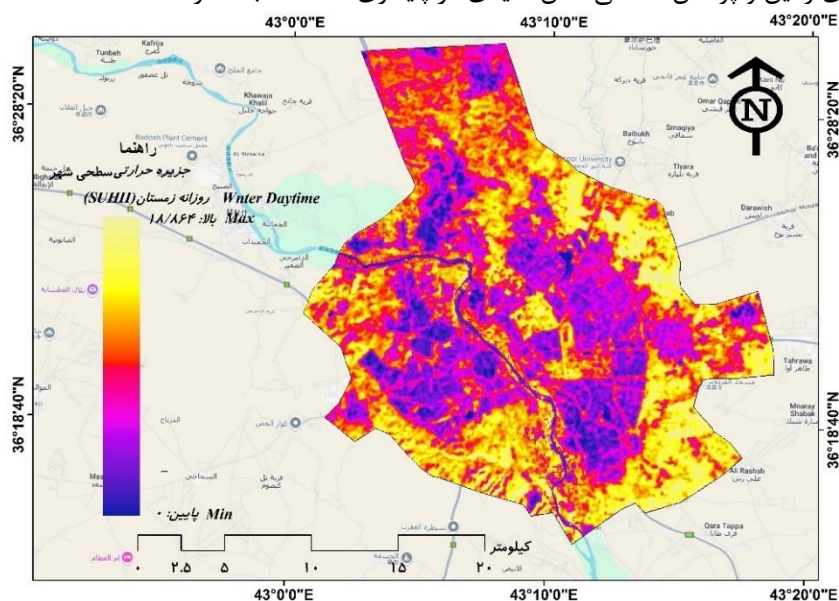
ب-جزیره حرارتی شبانه از شمال به جنوب ۱۴ ژوئیه
b. Nighttime heat island from north to south – July 14

الف-جزیره حرارتی شبانه از شرق به غرب ۱۴ ژوئیه
a. Nighttime heat island from east to west – July 14

شکل ۱۴- پروفیل جزیره حرارتی شبانه در جهات مختلف

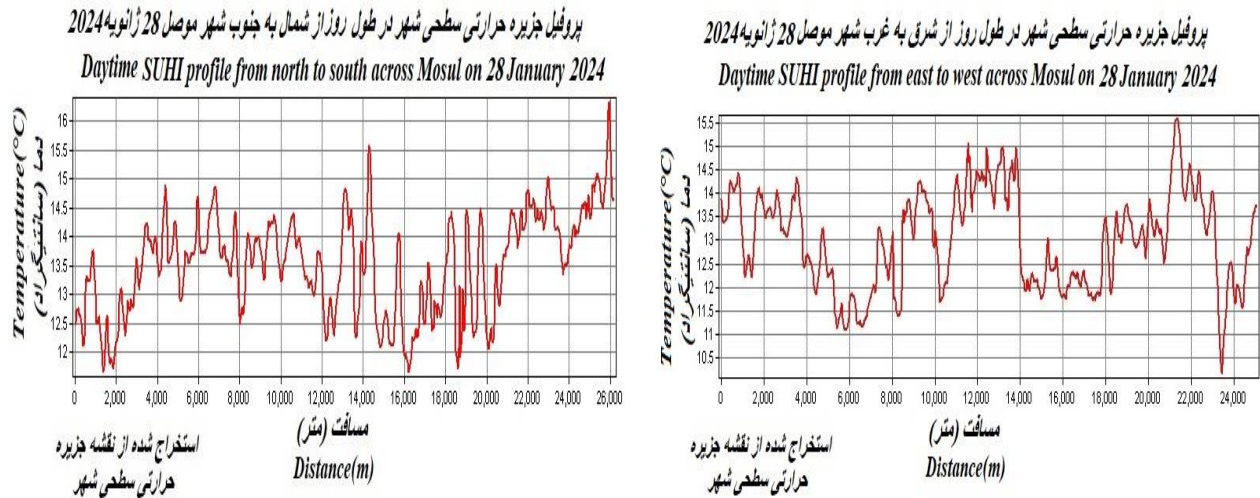
Fig. 14. Summer nighttime SUHI Profile in Different Directions

نقشه شبانه جزیره حرارتی موصل (۱۴ ژوئیه) نشان‌دهنده تداوم اثر SUHI در مرکز شهر است، جایی که زیرساخت‌ها گرمای روز را ذخیره و شب‌هنگام به آرامی آزاد می‌کنند. برخلاف روز، در شب نواحی مرکزی گرم‌تر و نواحی پیرامونی خنک‌تر هستند که ناشی از ویژگی‌های فیزیکی مصالح ساختمانی و نبود پوشش گیاهی در مرکز است. تحلیل پروفیل‌های SUHI در شب ۲۸ ژانویه نیز این روند را تأیید می‌کند و اختلاف دمایی ۲ تا ۵ درجه‌ای میان مرکز و حاشیه را نشان می‌دهد. مسیر شرق- غرب شدت بیشتری در تفاوت دما دارد، در حالی که مسیر شمال- جنوب با وجود عوامل خنک‌کننده، نوسانات کمتری دارد. نتایج نشان می‌دهد که تراکم ساخت‌وساز، نوع کاربری زمین و پوشش سطحی نقش کلیدی در پایداری SUHI شبانه دارند.



شکل ۱۵- شاخص SUHI روزانه زمستان ۲۸ ژانویه

Fig. 15. Winter daytime SUHI index on 28 January



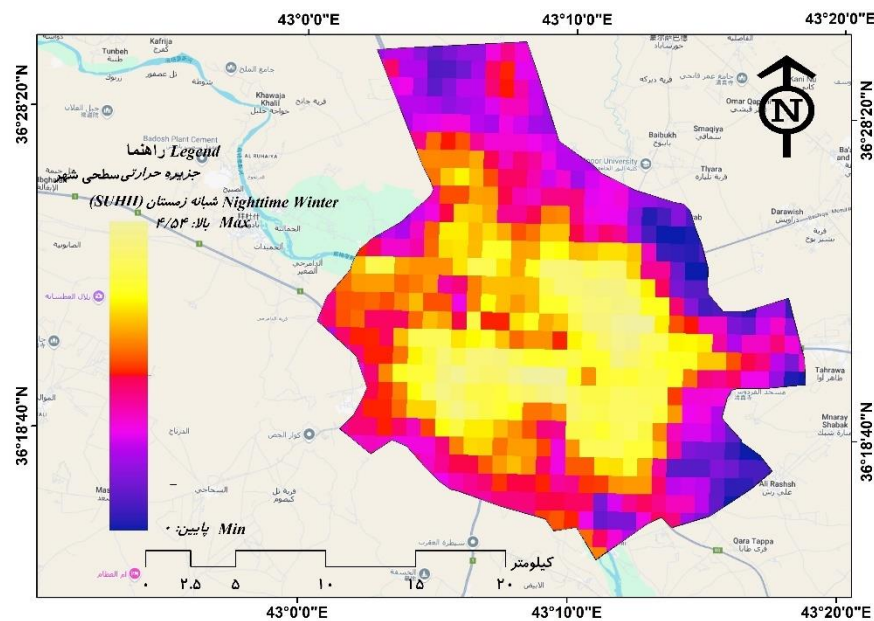
ب-جزیره حرارتی روزانه شمال به جنوب روزانه ۲۸ ژانویه
b. Daily heat island from north to south – January 28

الف-جزیره حرارتی روزانه از شرق به غرب ۲۸ ژانویه
a. Daily heat island from east to west – January 28

شکل ۱۶- پروفیل جزیره حرارتی روزانه در جهات مختلف

Fig. 16. Winter daytime SUHI Profile in Different Directions

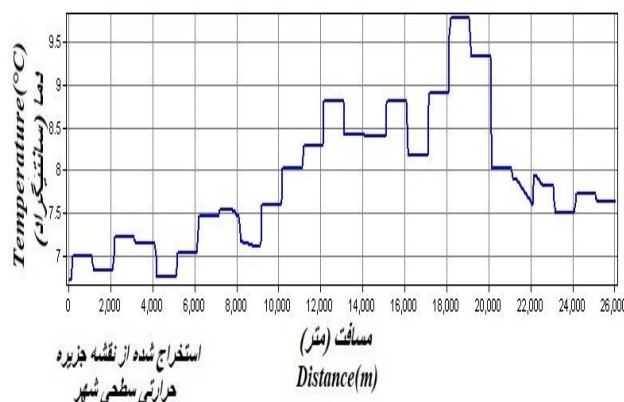
نقشه جزیره حرارت سطحی شهر (SUHI) در روز ۲۸ ژانویه، نشان می‌دهد که برخلاف انتظار، نواحی حاشیه‌ای شهر دمای بالاتری نسبت به مناطق مرکزی دارند. این پدیده ناشی از تابش مستقیم خورشید بر زمین‌های باز، بایر و بدون سایه در حاشیه شهر است، در حالی که مناطق مرکزی با سایه‌اندازها، پوشش مرطوب یا مصالح با جذب پایین‌تر، دمای کمتری دارند. این الگوی معکوس SUHI نسبت به تابستان در فصل زمستان رایج است. پروفیل‌های دمایی در دو جهت شرق-غرب و شمال-جنوب نیز این الگو را تأیید کرده‌اند و نشان می‌دهند که حتی در زمین‌های باز داخل شهر نیز دما بالاتر است.



شکل ۱۷- شاخص SUHI شبانه زمستان ۲۵ ژانویه

Fig. 17. Winter nighttime SUHI index on 25 January

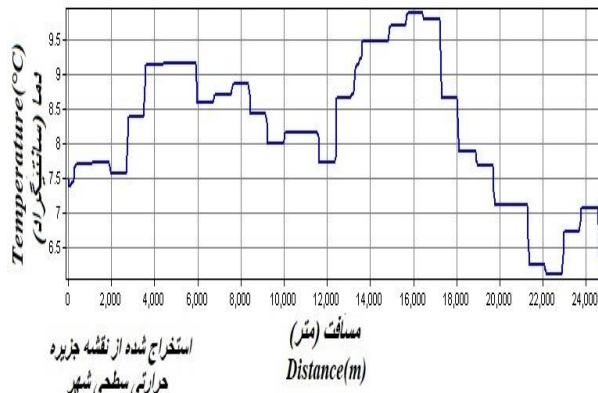
پروفیل جزیره حرارتی سطحی شهر در طول شب از شمال به جنوب شهر موصل ۲۸ ژانویه ۲۰۲۴
 Nighttime SUHI profile from north to south across Mosul on 28 January 2024



ب-جزیره حرارتی شبانه از شمال به جنوب ۲۸ ژانویه

b. Nighttime heat island from north to south – January 28

پروفیل جزیره حرارتی سطحی شهر در طول شب از شرق به غرب شهر موصل ۲۸ ژانویه ۲۰۲۴
 Nighttime SUHI profile from east to west across Mosul on 28 January 2024



الف-جزیره حرارتی شبانه از شرق به غرب ۲۸ ژانویه

a. Nighttime heat island from east to west – January 28

شکل ۱۸- پروفیل جزیره حرارتی شبانه در جهات مختلف

Fig. 18. Winter nighttime SUHI Profile in Different Directions

نقشه‌های شبانه جزیره حرارتی در ۲۸ ژانویه نشان‌دهندهٔ تداوم اثر SUHI هستند؛ به طوری که ساختمان‌ها و سطوح سخت مانند آسفالت، گرمای جذب‌شده در روز را شبانه آزاد کرده و باعث افزایش موضعی دما می‌شوند. برخلاف روز که نواحی حاشیه‌ای گرم‌تر بودند، در شب مرکز شهر گرم‌تر است. پروفیل‌های دمایی شمال- جنوب و شرق- غرب نیز این الگو را تأیید می‌کنند. در پروفیل شمال- جنوب، دما از ۵.۵ تا ۹.۵ درجه متغیر است و الگوی نامنظم آن ناشی از جزایر گرمایی محلی و اثر وارونگی دمایی است. در شرق- غرب، مرکز شهر گرم‌تر از حاشیه است که به دلیل انتشار تدریجی گرمای ذخیره‌شده در سطوح سخت شهری می‌باشد. این الگوها اهمیت بررسی دقیق ویژگی‌های فیزیکی سطحی در تحلیل اقلیم میکروشهری را نشان می‌دهند. به طور کلی، در تابستان طی روز، حاشیه شهر به دلیل سطوح خاکی، نبود سایه و پوشش گیاهی ضعیف، گرمای بیشتری نسبت به مرکز متراکم شده دارد. اما در شب، مرکز شهر به دلیل ساختارهای ساختمانی و مصالحی که گرما را ذخیره و آزاد می‌کنند، دمای بالاتری نسبت به حومه دارد. همین الگو در زمستان هم تا حدی دیده می‌شود؛ به طوری که روزها حومه، کمی گرم‌تر است، اما شب‌ها مرکز شهر گرمای بیشتری نگه می‌دارد. این تفاوت ناشی از تفاوت در ظرفیت حرارتی، کاربری زمین و الگوی پوشش سطحی مناطق مختلف است. در نتیجه، توزیع دما کاملاً وابسته به زمان و ساختار کالبدی فضا است. این الگوها بیانگر تأثیر تفاوت در کاربری زمین، پوشش گیاهی، و ساختار شهری بر نگه‌داشت و انتشار گرما هستند.

اثر خنک‌کنندگی لکه‌های سبز (GSCEI)^۱

این شاخص میزان اثر خنک‌کنندگی لکه‌های سبز را روی مناطق اطرافشان بررسی می‌کند. کاهش دما که به آن ظرفیت خنک‌کنندگی^۲ گفته می‌شود، تحت تأثیر میزان پوشش گیاهی و کارایی خنک‌کنندگی آن قرار دارد. البته کارایی خنک‌کنندگی^۳ بسته به عواملی چون اقلیم منطقه‌ای، گونه‌های گیاهی و الگوی فضایی پوشش سبز شهری، بین شهرها تفاوت زیادی دارد. همچنین، میزان بهره‌مندی شهروندان از این مزیت، تحت عنوان سود خنک‌کنندگی^۴ نیز ارزیابی شده و مشخص شده است که ساکنان شهرهای

1- Green Space Cooling Effect Index

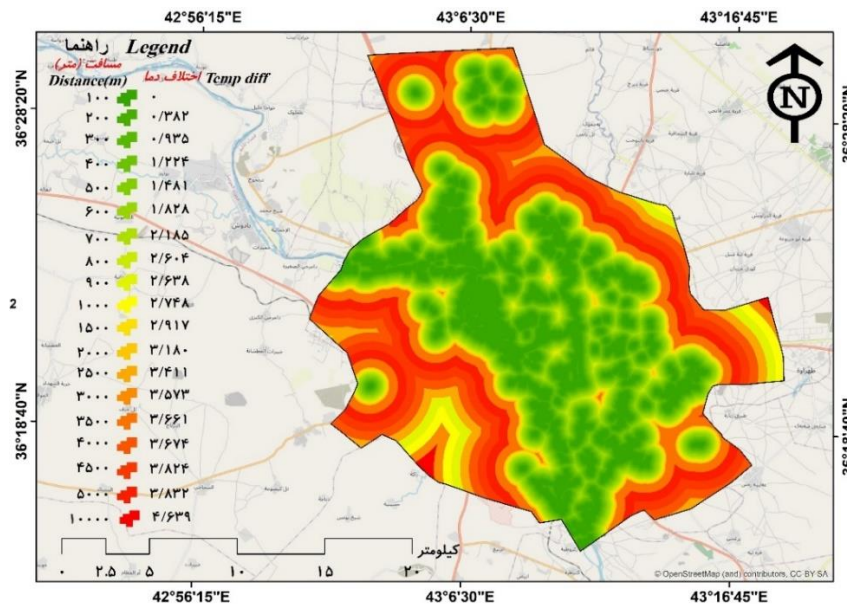
2- Cooling Capacity

3- Cooling Efficiency

1- Cooling Benefit

دارای فضای سبز کمتر، به‌ویژه در کشورهای کم‌درآمد، از این اثر کمتر برخوردار هستند. در مجموع، تقویت زیرساخت‌های سبز شهری یکی از مؤثرترین و عادلانه‌ترین روش‌ها برای مقابله با تنش حرارتی در آینده به‌شمار می‌آید (Li et al., 2020). شکل ۱۹ نقشه اثر خنک‌کنندگی لکه‌های سبز را نشان می‌دهد.

بررسی شاخص اثر خنک‌کنندگی فضای سبز^۱ در شهر موصل عراق نشان می‌دهد که فضای سبز به‌صورت معناداری باعث تعدیل دمای سطح زمین در مناطق شهری می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین دمای سطح فضای سبز (LST_Gr) حدود ۳۳/۴۳ درجه سلسیوس بوده است، در حالی که دمای بافرهای اطراف با افزایش فاصله از فضای سبز روند افزایشی نشان داده‌اند؛ به‌طوری‌که در فاصله ۱۰۰ متری، دمای بافر برابر با فضای سبز بوده و شاخص GSCEI صفر است. اما با افزایش فاصله، GSCEI رشد قابل توجهی یافته و در فواصل بین ۶۰۰ تا ۲۰۰۰ متر به بیشترین میزان خود یعنی بیش از ۳/۸ درجه رسیده است. این افزایش نشان‌دهنده بالاتر بودن دمای محیط اطراف نسبت به فضای سبز است و بیانگر قدرت خنک‌کنندگی فضای سبز در این ناحیه از شهر می‌باشد. نمودار حاصل از این شاخص نیز به‌خوبی این روند را نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که ابتدا شیب صعودی شدیدی تا حدود ۲۰۰۰ متر مشاهده می‌شود، که نشان‌دهنده افزایش سریع تفاوت دمایی با فاصله گرفتن از فضای سبز است. اما از فاصله ۲۵۰۰ متر به بعد، نمودار وارد فاز نوسانی می‌شود و در حدود ۴۰۰۰ متر افت نسبی در شاخص دیده می‌شود، که می‌توان آن را ناشی از وجود برخی فضاهای نیمه سبز، کاربری‌های باز یا سطوح کمتر متراکم و حتی رودخانه دانست که باعث کاهش دمای موضعی در برخی از بافرها شده‌اند. پس از آن، با افزایش فاصله تا ۱۰ کیلومتر، GSCEI مجدداً افزایش می‌یابد و در نهایت به بیش از ۴/۶ درجه می‌رسد. این مقدار به خوبی بیانگر نقش مؤثر فضای سبز در ایجاد جزایر حرارتی منفی است، به‌ویژه در مناطق پیرامونی که دارای بافت متراکم شهری، آسفالت، ساخت‌وساز و فعالیت انسانی بیشتری هستند. فضای سبز در شهر موصل تأثیر چشم‌گیری در کاهش دما دارد. با افزایش فاصله از لکه‌های سبز، دمای سطح به‌صورت پیوسته افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده نقش مهم این لکه‌ها در مقابله با پدیده جزیره حرارتی شهری است. بنابراین، این تحلیل ضرورت گنجاندن فضای سبز در هسته‌های شهری و پیرامون آن را به‌عنوان یک سیاست مؤثر در مقابله با تغییر اقلیم شهری و ارتقای کیفیت زیست‌محیطی به‌خوبی روشن می‌سازد.



شکل ۱۹- اثر خنک‌کنندگی فضای سبز (GSCEI)

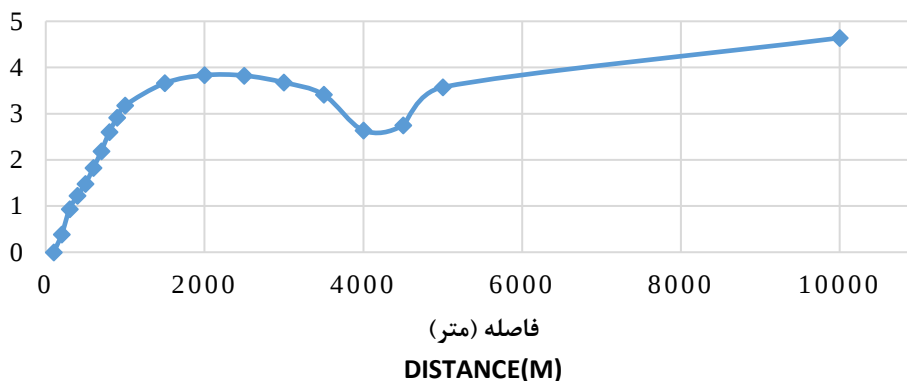
Fig. 19. Cooling Effect of Green Spaces (GSCEI)

جدول ۶- اثر خنک‌کنندگی فضای سبز در شهر موصل در فواصل مختلف

Table 6-Cooling Effect of Green Spaces in Mosul at Different Distances

GSCEI	میانگین دمای بافر Mean Temperature of Buffer	میانگین دمای فضای سبز Mean Temperature of Green Space	فاصله بافر (متر) Distance(m)
0	21/371532	21/371532	100
-0/277505	21/094027	21/371532	200
0/046549	21/418081	21/371532	300
0/250651	21/622183	21/371532	400
0/494141	21/865673	21/371532	500
0/658854	22/030386	21/371532	600
5/244042	26/615574	21/371532	700
8/04064	29/412172	21/371532	800
7/650324	29/021856	21/371532	900
7/714777	29/086309	21/371532	1000
8/819464	30/190996	21/371532	1500
10/298321	31/669853	21/371532	2000
9/213345	30/584877	21/371532	2500
9/544562	30/916094	21/371532	3000
11/09684	32/468372	21/371532	3500
11/206051	32/577583	21/371532	4000
11/365395	32/736927	21/371532	4500
11/63395	33/005482	21/371532	5000
14/76894	36/140472	21/371532	10000

GSCEI



شکل ۲۰- نمودار اثر خنک‌کنندگی فضای سبز در شهر موصل

Fig. 20. Graph of the Cooling Effect of Green Spaces in Mosul

نتیجه‌گیری

تحلیل‌های انجام شده در این تحقیق نشان می‌دهند که توزیع لکه‌های سبز شهری و ویژگی‌های بیوفیزیکی سطح به‌طرز قابل‌توجهی بر الگوهای جزایر حرارتی در شهر موصل تأثیرگذار هستند. نتایج به دست آمده از بررسی‌های میدانی و داده‌های تحلیلی در این مطالعه نشان‌دهنده ضرورت مدیریت بهینه فضای سبز و توجه به ویژگی‌های بیوفیزیکی در طراحی شهری می‌باشند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که توزیع ناهمگن لکه‌های سبز شهری منجر به ایجاد الگوهای فضایی ناهمگون جزایر حرارتی شده است. به طور خاص، نواحی با پوشش گیاهی کمتر و سطوح نفوذناپذیر بیشتر، دماهای بالاتری را تجربه می‌کنند.

در این راستا، یافته‌های تحقیق نشان می‌دهند که توزیع ناهمگن لکه‌های سبز باعث ایجاد الگوهای فضایی ناهمگون جزایر حرارتی شده و نواحی با پوشش گیاهی کمتر و سطوح نفوذناپذیر بیشتر دماهای بالاتری را تجربه می‌کنند. این نتایج با پژوهش‌های قبلی مانند سرور شاهی مهر و همکاران (Sarvarshahi Mehr, Alaei Taleghani & Maleki, 2015) و احمدی و همکاران (Ahmadi, Taheri Varki & Eskandari, 2019) همخوانی دارد، که بیان می‌کنند سطوح بازتابنده و پوشش گیاهی تأثیر قابل توجهی در کاهش دماهای سطحی دارند. همچنین، تحلیل‌های انجام شده نشان می‌دهد که ویژگی‌های بیوفیزیکی، به‌ویژه در نواحی با پوشش گیاهی کمتر، تأثیر زیادی بر افزایش دما و تشدید جزایر حرارتی دارند. نتایج مشابهی در پژوهش‌های هالدر و همکاران (Halder, Bandyopadhyay & Banik, 2021) و لیو و همکاران (Liu, Zhang, Zhang, Zhang & Teng, 2021) نیز مشاهده شده که بر تأثیر فضای سبز بر کاهش شدت جزایر حرارتی تأکید دارند. این توافق بین نتایج مطالعه حاضر و پژوهش‌های خارجی، اهمیت توجه به توزیع مناسب فضای سبز و مدیریت سطوح نفوذناپذیر در کاهش اثرات حرارتی و بهبود کیفیت زندگی ساکنان را نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شاخص NDVI در نواحی با پوشش گیاهی بیشتر به‌طور میانگین ۰/۴۵ و در نواحی با سطوح نفوذناپذیر به ۰/۷۸ کاهش می‌یابد. این رابطه معکوس بین NDVI و دما، که با همبستگی منفی قوی مقدار ۰/۸۳۳- همراه است، به وضوح نشان‌دهنده تأثیر مثبت پوشش گیاهی بر کاهش دماهای سطحی است. این یافته‌ها با مطالعات پیشین مانند امین‌زاده و قشلاق‌پور (Aminzadeh & Gheshlaghipour, 2020) و ثروتی و همکاران (Servati et al., 2021) که به رابطه مستقیم بین پوشش گیاهی و جزایر حرارتی اشاره دارند، همخوانی دارد. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان‌دهنده اهمیت بالای توزیع لکه‌های سبز و ویژگی‌های بیوفیزیکی در تأثیرگذاری بر دمای سطح زمین و شکل‌گیری جزایر حرارتی در شهر موصل است. این یافته‌ها می‌توانند مبنای ارائه راهکارهای مدیریتی جهت تعدیل اثرات جزایر حرارتی و بهبود شرایط زیست‌محیطی در شهرها قرار گیرند. پیشنهاد می‌شود که در برنامه‌ریزی‌های شهری، به‌ویژه در شهر موصل، افزایش فضای سبز و مدیریت سطوح نفوذناپذیر به عنوان یک استراتژی کلیدی برای کاهش دما و بهبود کیفیت زندگی ساکنان مورد توجه قرار گیرد.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

References

- Addas, A. (2023). Understanding the Relationship between Urban Biophysical Composition and Land Surface Temperature in a Hot Desert Megacity (Saudi Arabia). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 5025. <https://doi.org/10.3390/ijerph20065025>
- Ahmadi, M., Taheri Varki, A., & Eskandari, N. (2019). Monitoring urban heat islands using a fractal-based evolutionary approach (FNEA): Case study of Tehran metropolis. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 12, 95–114. [In Persian] <https://doi.org/10.52547/gisj.11.1.93>
- Almohamad, H., & Alshwesh, I. O. (2023). Evaluation of Index-Based Methods for Impervious Surface Mapping from Landsat-8 to Cities in Dry Climates; A Case Study of Buraydah City, KSA. *Sustainability*, 15(12), 9704. <https://doi.org/10.3390/su15129704>
- Aminzadeh, B., & Gheshlaghipour, S. (2020). Effect of urban green structure spatial patterns on urban heat island mitigation: Case study of Tehran. *Environmental Studies*, 46(2), 239–254. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jes.2021.308065.1008059>
- Ansari, M., & Norouzi, A. (2022). Spatial autocorrelation of land surface temperature and its relation to land use: Case study of Ahvaz city. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 34(3), 143–168. [In Persian] https://gep.ui.ac.ir/article_27325.html?lang=en
- Athick, A. M. A., Shankar, K., & Naqvi, H. R. (2019). Data on time series analysis of land surface temperature variation in response to vegetation indices in twelve Wereda of Ethiopia using mono window, split window algorithm and spectral radiance model. *Data in Brief*, 27, 104773. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104773>

- Barati, M. J., Farajzadeh Asl, M., & Borna, R. (2022). Analysis of temperature change properties in Tehran using satellite data. *Quarterly Scientific Journal of Rescue and Relief*, 14(1), 10-18. <http://dx.doi.org/10.32592/jorar.2022.14.1.2>
- Bartesaghi Koc, C., & Tschanz, H. (2018). Impact of Urban Green Spaces on Urban Climate: Lessons from a Global Review. *Urban Climate*, 24, 103-116.
- Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- Bouhennache, R., Bouden, T., Taleb-Ahmed, A., & Cheddad, A. (2019). A new spectral index for the extraction of built-up land features from Landsat 8 satellite imagery. *Geocarto International*, 34(14), 1531-1551. <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1497094>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L. M., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Dapke, P. P., Nagare, S. M., Quadri, S. A., Bandal, S. B., Gaikwad, R. M., & Baheti, M. R. (2025). Seasonal Analysis of Vegetation, Moisture, Urbanization, and Land Surface Temperature (LST) Using NDVI, NDMI, NDWI, and NDBI Indices: A Case Study of Sillod, Maharashtra. In 2025 International Conference on Computational, Communication and Information Technology (ICCCIT) (pp. 753-760). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCCIT62592.2025.10928110>
- Darbani, E. S., Raffieian, M., Parapari, D. M., & Guldmann, J. M. (2023). Urban design strategies for summer and winter outdoor thermal comfort in arid regions: The case of historical, contemporary and modern urban areas in Mashhad, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 89, 104339. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104339>
- Das, N., Mondal, P., Sutradhar, S., & Ghosh, R. (2021). Assessment of variation of land use/land cover and its impact on land surface temperature of Asansol subdivision. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(1), 131-149. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104339>
- Demisse Negesse, M., Hishe, S., & Getahun, K. (2024). LULC dynamics and the effects of urban green spaces in cooling and mitigating micro-climate change and urban heat island effects: a case study in Addis Ababa city, Ethiopia. *Journal of Water and Climate Change*, 15(7), 3033-3055. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.662>
- Gandomkar, E., & Salehi, K. (2022). Role of home garden tourism development in mitigating urban heat island effects: Case study of Isfahan city. *Geographical Journal of Tourism Space*, 11(42), 121-140. [In Persian] https://journals.iau.ir/article_692397.html
- Gislason, P. O., Benediktsson, J. A., & Sveinsson, J. R. (2006). Random forests for land cover classification. *Pattern Recognition Letters*, 27(4), 294-300. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.08.011>
- Guan, S., & Hu, H. (2025). Exploring the potential relationship between cooling green space and built-up area: Analysis of community green space characteristics based on GWPCA. *Building and Environment*, 267, 112190. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112190>
- Guha, S., Tiwari, R. K., & Zhang, G. (2024). A multifaceted look at Garhwal Himalayan glaciers: quantifying area change, retreat, and mass balance, and its controlling parameters. *Environment, Development and Sustainability*, 1-24. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-024-04917-7>
- Guillevic, P., Götsche, F., Nickeson, J., Hulley, G., Ghent, D., Yu, Y., ... & Camacho, F. (2018). *Land surface temperature product validation best practice protocol*. Version 1.1. Best practice for satellite-derived land product validation, 60.
- Halder, B., Bandyopadhyay, J., & Banik, P. (2021). Evaluation of the climate change impact on urban heat island based on land surface temperature and geospatial indicators. *International Journal of Environmental Research*, 15, 819-835. <https://link.springer.com/article/10.1007/s41742-021-00356-8>
- Kaimaris, D., & Patias, P. (2016). Identification and Area Measurement of the Built-up Area with the Built-up Index (BUI). *Int. J. Adv. Remote Sens. GIS*, 5(1), 1844-1858. <https://technical.cloud-journals.com/index.php/IJARSG/article/view/Tech-627>
- Kim, J., Khouakhi, A., Corstanje, R., & Johnston, A. S. (2024). Greater local cooling effects of trees across globally distributed urban green spaces. *Science of the Total Environment*, 911, 168494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168494>
- Leonardo, H. R. D. A. L., de Almeida, D. N. O., de Amorim, A. R., de Paiva, A. L. R., de Oliveira, L. M. M., & dos Santos, S. M. (2025). Remote sensing applied to biophysical parameters and land cover to identify urban heat

- islands in Recife (PE), Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 60, e2107-e2107. <https://doi.org/10.5327/Z2176-94782107>
- Li, X., Zhou, Y., Zhao, M., & Zhao, X. (2020). A harmonized global nighttime light dataset 1992–2018. *Scientific Data*, 7(1), 168. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12312125>
- Ling, C., Zhang, G., Deng, X., Jiao, A., Chen, C., Li, F., ... & Ling, H. (2022). A study on the drivers of remote sensing ecological index of Aksu Oasis from the perspective of spatial differentiation. *Water*, 14(24), 4052. <https://doi.org/10.3390/w14244052>
- Liu, J., Wu, J., Yang, Y., Zhang, B., & Yin, L. (2024a). Exploring the spatiotemporal impacts of urban green space patterns on the core area of urban heat island. *Ecological Indicators*, 166, 112254. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112254>
- Liu, J., Zhang, L., Zhang, Q., Zhang, G., & Teng, J. (2021). Predicting the surface urban heat island intensity of future urban green space development using a multi-scenario simulation. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102698. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102698>
- Liu, Y., Chen, H., Wu, J., Wang, Y., Ni, Z., & Chen, S. (2024b). Impact of urban spatial dynamics and blue-green infrastructure on urban heat islands: A case study of Guangzhou using Local Climate Zones and predictive modeling. *Sustainable Cities and Society*, 115, 105819. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105819>
- Lu, L., Guo, H., Weng, Q., Bartesaghi-Koc, C., Osmond, P., & Li, Q. (2024). A transferable approach to assessing green infrastructure types (GITs) and their effects on surface urban heat islands with multi-source geospatial data. *Remote Sensing of Environment*, 306, 114119. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114119>
- Lu, Y., He, T., Xu, X., & Qiao, Z. (2021). Investigation the robustness of standard classification methods for defining urban heat islands. *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 11386–11394. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3124558>
- Mahmoudzadeh, H., Naghdishi, A., & Momeni, S. (2018). The effect of urban land uses on the formation of heat islands (Case study: Mashhad City). *Geography and Environmental Hazards*, 7(3), 105–119. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.68150>
- Mohammadi, M., & Afifi, M. A. (2021). Occurrence of urban heat island phenomenon using ASTER satellite imagery: Case study of Shiraz city. *Journal of Geography and Environmental Studies*, 10(37), 21–44. [In Persian] https://journals.iau.ir/article_679987.html
- Moradi, S., & Rezaei Moghaddam, M. H. (2020). Spatio-temporal analysis of the urban heat island in Urmia city using remote sensing and geographic information system. *Geography and Environmental Hazards*, 9(2), 83–99. <https://doi.org/10.22067/geo.v9i2.87137>
- Rizwan, A. M., & Dennis, L. Y. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120–128. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)
- Sarvarshahi Mehr, M., Alaei Taleghani, K., & Maleki, S. (2015). Effect of reflective roofs on reducing urban heat island intensity using satellite imagery: Case study of Kermanshah city. *Urban and Regional Studies and Research*, 7(25), 101–108. [In Persian]
- Servati, Z., Latifi, G., Soltani, A., & Sanaeiyan, H. (2021). Spatial distribution patterns of urban heat islands based on socio-economic characteristics: Case study of Tehran. *Strategic Quarterly of Urban and Regional Development*, 6(16), 13–23. [In Persian] <https://doi.org/10.22054/urdp.2021.62607.1367>
- Shorabeh, S. N., Kakroodi, A. A., Firozjaei, M. K., Minaei, F., & Homaei, M. (2022). Impact assessment modeling of climatic conditions on spatial-temporal changes in surface biophysical properties driven by urban physical expansion using satellite images. *Sustainable Cities and Society*, 80, 103757. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103757>
- Sun, G., Huang, H., Weng, Q., Zhang, A., Jia, X., Ren, J., ... & Chen, X. (2019). Combinational shadow index for building shadow extraction in urban areas from Sentinel-2A MSI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 78, 53–65. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.01.012>
- Teimouri, E., Moharrampour, A., & Asghari Zamani, E. (2023). Impact of urban morphology on urban heat island intensity: Case study of Tabriz city. *Geographical Information (Sepehr)*, 33(126), 184–195. [In Persian] <https://doi.org/10.22131/sepehr.2023.540909.2801>
- Thammaboribal, P., Triapthti, N. K., & Lipiloet, S. (2025). Comparative Analysis of Land Surface Temperature (LST) Retrieved from Landsat Level 1 and Level 2 Data: A Case Study in Pathumthani Province, Thailand. *International Journal of Geoinformatics*, 21(4), 160–177. <https://doi.org/10.52939/ijg.v21i4.4089>

- U.S. Geological Survey. (2021). *Landsat Collection 2 Level-2 science products—Surface temperature product guide*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products>
- WeatherSpark. (n.d.). Average weather in Mosul, Iraq, year round. Retrieved May 14, 2025, from <https://weatherspark.com/y/102754/Average-Weather-in-Mosul-Iraq-Year-Round>
- Wesley, E. J., & Brunsell, N. A. (2019). Greenspace pattern and the surface urban heat island: A biophysically-based approach to investigating the effects of urban landscape configuration. *Remote Sensing*, 11(19), 2322. <https://doi.org/10.3390/rs11192322>
- Wu, Z., Zhou, Y., & Ren, Y. (2024). Green space-building integration for Urban Heat Island mitigation: Insights from Beijing's fifth ring road district. *Sustainable Cities and Society*, 116, 105917. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105917>
- Xiao, X. D., Dong, L., Yan, H., Yang, N., & Xiong, Y. (2018). The influence of the spatial characteristics of urban green space on the urban heat island effect in Suzhou Industrial Park. *Sustainable Cities and Society*, 40, 428-439. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.002>
- Xiong, Q., Chen, W., He, L., Luo, S., & Li, H. (2023). Study on the influencing factors and the spatiotemporal heterogeneity of Urban Heat Island effect in Nanchang City of China. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22(3), 1444-1457. <https://doi.org/10.1080/13467581.2022.2085723>
- Xu, C., Chen, G., Huang, Q., Su, M., Rong, Q., Yue, W., & Haase, D. (2022). Can improving the spatial equity of urban green space mitigate the effect of urban heat islands? An empirical study. *Science of The Total Environment*, 841, 156687. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156687>
- Yaghoobi, M., Vafaeenejad, A., Moradi, H., & Hashemi, H. (2022). Analysis of landscape composition and configuration based on LULC change modeling. *Sustainability*, 14(20), 13070. <https://doi.org/10.3390/su142013070>
- Yu, H., Yang, Q., Jiang, S., Zhan, B., & Zhan, C. (2024a). Detection and attribution of vegetation dynamics in the yellow river basin based on long-Term kernel NDVI data. *Remote Sensing*, 16(7), 1280. <https://doi.org/10.3390/rs16071280>
- Yu, H., Zhu, D., Wan, S., Jiang, Y., Lu, C., Zhang, R., & Jia, Y. (2024b). Detecting polder water surface dynamics using multi-source remote sensing data. *Proceedings*, 110(1), 19. <https://doi.org/10.3390/proceedings2024110019>
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>
- Zhang, X., Meng, C., Gou, P., Huang, Y., Ma, Y., Ma, W., & ... Hu, Z. (2024). Evaluating the reconstructed all-weather land surface temperature for urban heat island analysis. *Remote Sensing*, 16(2), 373. <https://doi.org/10.3390/rs16020373>